

Krom Kaplama Yapılmış Poliamid Malzemelerin Sıcaklık Yükü Altındaki Gerilme Dağılımlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi

Emre Esvet Müftüoğlu¹ ve Bahattin Kanber^{1*}

¹Makine Mühendisliği Bölümü/Mühendislik ve Doğa Bil. Fak., Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye

*Corresponding author: bahattin.kanber@btu.edu.tr

⁺Speaker: bahattin.kanber@btu.edu.tr

Paper Type: Full Paper

Özet –Bu çalışmada plastik malzemeler üzerine yapılan metalik kaplamalar incelenmiştir. Metalik kaplamalarda katman kalınlığıyla ilişkili olarak termal yük altında termal genleşme sebebiyle oluşan gerilme dağılımları araştırılmıştır. Çalışmada silindirik çubuk, kiriş ve açma kolu isimli modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller, ana malzeme poliamid olacak şekilde üzerine sırasıyla bakır, nikel ve kromdan oluşan katmanlar ilave edilerek elde edilmiştir. Poliamid ana malzeme katı elemanlarla modellenirken, kaplamalar için kabuk elemanlar kullanılmıştır. Her bir katmanın alt yüzeyle teması, ideal yapışık olarak varsayılmıştır. Modeller SolidWorks yazılımı ile oluşturulup, termal yükün uygulandığı analizler, ANSYS Workbench yazılımı ile yapılmıştır. Modellerde her bir katmanın (bakır, nikel ve krom) farklı kalınlık varyasyonları için farklı geometri ve analizler oluşturulup katman kalınlıklarındaki değişimin katmanlar üzerindeki gerilmelere olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak, sıcaklığın değişimine bağlı Von Mises gerilme grafikleri her bir model için verilmiştir. Sonuç olarak katman kalınlığına bağlı değişen gerilme dağılımında etkisi en büyük olan katman her bir model için belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kaplama kalınlığı arttıkça genel olarak gerilmelerin düştüğü, ancak geometride köşe veya eğri şeklinde şekiller varsa, gerilme yığılmalarının bu bölgelerde daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Sonlu elemanlar yöntemi, ANSYS, krom kaplama, poliamid, plastik.

I. GİRİŞ

Plastik malzeme üzerine elektro-kaplama yöntemiyle metalik kaplama uygulamalarının geçmişi 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Bu yöntem, genel olarak; plastik malzemenin hafifliğini, kolay şekillendirilme ve kolay üretilebilirlik yeteneğini metalin dayanım ve görsel özellikleriyle birleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Elektro-kaplama teknolojisi, hala gelişmekte olan ve gelecek vadeden bir teknoloji olarak görülmektedir. Geçmişten bu yana proses mantığı genel olarak aynı kalırken proseste kullanılan adımlardan bazılarının ve yine proseste kullanılan malzemelerin bir kısmının zamanla değiştiği ve geliştiği görülmektedir. Bu değişimde teknolojinin gelişimi, istek ve beklentilerin farklılaşması, kullanım, çevre ve sağlık şartları gibi faktörler etkili olmuştur.

Uygun şekilde kaplanmış olan ürünler, parçanın ağırlığında hafifletici etkiye sahiptir. Kaliteli kaplamalar daha dayanıklı parçaların daha ucuza üretilebilmesini sağlar. Krom elektro-kaplama ile ürüne kazandırılan parlak krom görüntüsü çekicidir ve müşteri talebini olumlu yönde etkilemektedir.

Yapılan çalışmalarda, akademik ve uygulama alanlarıyla kaplama ile ilgili çalışmaların oldukça aktif olduğu görülmüştür. Odaklanılan noktalardan bazılarının;

- Kaplama, iyi korozyon direncini korurken, altın ve benzeri değerleri metallerin kullanım miktarının azaltılmaya çalışılması,

- Proses dahilinde kullanılan toksik kimyasalların toksik olmayan alternatifleri ile değiştirilmesi,

- Kullanılan ağır metallerin azaltılması, proses sebebiyle oluşan atıkların azaltılması, yeni proses ve malzeme grupları için çalışmaların yapılması gibi konular olduğu görülmüştür.

Her alanda olduğu gibi, elektro-kaplama teknolojileri alanında da ucu açık, gelişime ve yeniliğe açık yönlere sahip bir teknoloji olduğu belirtilmiştir.

Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda, elektro-kaplama konusuyla ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalarda genel olarak; elektro-kaplama prosesi, proseste kullanılan bileşenler, kaplamanın korozyon direnci, elektro-kaplamaların görsel özellikleri, prosesin toksikolojisi, toksik olmayan elektrolit alternatiflerinin değerlendirilmesi, proseste kullanılan ağır metallerin azaltılması, ortam şartlarının prosese etkisi gibi konuların incelendiği görülmüştür.

Genel olarak elektro-kaplama prosesiyle ilgili çalışmalar barındıran literatürde, elektro-kaplama ürünlerin yüklemeye altındaki davranışı ya da kaplamayı oluşturan katman kalınlığının sıcaklık yüküne maruz kalan ürünün dayanımına etkisi gibi konularla ilgili çalışmalarla karşılaşmamıştır. Bu çalışma literatürdeki bu açığa katkı sağlamak ve benzer konularla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalara fikir vermesi amacıyla yapılmıştır.

Çalışma dahilindeki analizler sonlu elemanlar yöntemiyle sanal olarak gerçekleştirildiğinden, kaplama katmanları için pek çok farklı kalınlık kombinasyonu, yapılabilecek pratik çalışmalara oranla çok daha kısa sürede incelenmiştir.

II. PLASTİK KAPLAMA TEKNOLOJİLERİ

Günümüzde kaplama teknolojileri gelişmiş ve yüksek verimli kaplama ürünleri elde etmek oldukça mümkün olmuştur fakat teknolojinin gelişimi sırasında endüstri pek çok zorluk ile karşı karşıya gelmiş ve bu sorunları aşmak için çaba sarf etmiştir. Bu süreçte aşılması en büyük zorluk yalıtkan plastik malzeme üzerine iletken metal malzemeden oluşan ilk

katmanın yerleştirilmesi olmuştur. Bu katman geleneksel elektro-depozisyonun gerçekleştiği katman olmakla birlikte bu katmanın metal ile yapışma kabiliyeti plastik malzeme üzerine verimli ve sağlam bir kaplama yapmanın kilit noktasıdır. Teknolojinin gelişmeye başladığı zamanlarda bu iletken katmanın plastik ile yapışma özelliği yeterince iyi değildi. İletken katman olarak grafit ya da gümüş esaslı boyalar kullanılmaktaydı. Bu malzemelerden oluşan kaplamalar yüke maruz kaldığında ya da kimyasal ile temas ettiğinde bozulmaya uğruyordu. 1960larda kromik asit bazı kimyasalların geliştirilmesiyle plastik malzeme üzerinde daha efektif aşınma sağlanmış ve böylelikle plastik malzemenin metal ile yapışma özelliği muazzam şekilde gelişmiştir. Aynı zamanlarda krom ve nikel kaplamalarda da gelişmeler devam etmekteydi. Bu iki paralel gelişmeyle birlikte plastik malzeme üzerine metalin daha iyi yapıştığı ekonomik ve büyük ölçekli üretim sağlayabilen kaplama prosesleri ortaya çıkmıştır. Günümüzde uygulanan kaplama prosesleri bu tekniklere dayanmaktadır.

Proses incelendiğinde genel olarak plastikleri elektro kaplamaya hazırlama aşamaları üçe ayrılmaktadır;

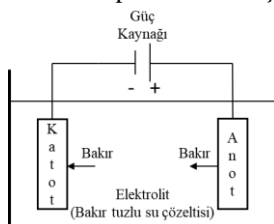
- Plastiğin yüzeyini aşındırarak sonraki adımlarda kullanılacak kimyasallarla etkileşime geçecek hale getirmek,
- Aşınmış yüzeyi aktive edip iletken olmayan plastik malzeme üzerinde katalizör alan oluşturarak nikel ya da bakırın elektriksiz kaplanmasına hazır hale getirmek,
- Elektriksiz kaplama yöntemiyle ince bir bakır ya da nikel katmanının plastik malzeme üzerinde oluşmasını sağlayarak daha sonra uygulanacak katmanlar için iletken bir taban katman meydana getirmek olarak sıralanabilir.

İletken katman oluşturulduktan sonra malzeme daha sonraki katmanların elektro kaplama yöntemiyle uygulanmasına hazırlanmış olur. Nikel çoğu kaplama modelinde uygulanmakta ve bakır katmanı da beraberinde gelmektedir. Nikel kullanımının ana sebepleri iyi korozyon dayanımı ve parlak metalik görünümüdür.

Plastik üzerine metal kaplama prosesinin kendine yer bulduğu en önemli uygulama alanlarının başında otomotiv endüstrisi gelmektedir. Zararlı atık miktarı ve dolayısıyla yakıt tüketiminde tasarrufa gitme trendi sektörü araçların hafifletilmesi ile ilgili çalışmaya yönlendirmiştir. Bu noktada otomotiv endüstrisi plastiklerin hafif, dayanıklı ve kolay üretilebilir olma özelliklerini göz önünde bulundurarak araç parçalarını metal yerine plastik malzemeyle üretme yoluna girmiştir. Plastik malzemelerden üretilen parçaların metalin görüntüsüne ve özelliklerine sahip olması için ise kaplama yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemle üretilen radyatör ızgaraları, ayna çerçeveleri, aydınlatma muhafazaları, amblemler ve araç iç ve dış trim aksesuarlarında kullanılan yansımali parlak yüzeyler araçlarda kullanılmaktadır [1].

Elektro-kaplama yönteminde kilit nokta kaplama ünitesidir. Kaplama ünitesi, anot, katot ve akımın geçtiği banyo olan elektrolitten oluşmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda genel olarak ön işlemler ve son işlemler de uygulanır[2].

Şekil 1’de temel elektro-kaplama ünitesi şeması verilmiştir.



Şekil 1. Temel elektro-kaplama ünitesi şeması.

Bu düzenekte kaplanacak parça katottur. Anot ise kaplama malzemesi olup iki türde olabilir, kalıcı anot ya da zamanla malzemesinden kaybeden anot [2].

Kaplama işleminin gerçekleşmesi için güç kaynağı ile sisteme elektrik akımı verilir. Akım dolaşımı sebebiyle kaplama ünitesi içerisindeki anot malzemeden parçacıklar kopartarak katot parçaya yapışır, böylece kaplama katman ve/veya katmanları oluşur [3].

Metalik kaplama türleri tipik örneklerle birlikte kabaca anodik kaplama, mühendislik kaplamaları, bu çalışmada kullanılan dekoratif kaplamalar ve diğer metalik kaplama türleri olarak gruplandırılabilir.

Dekoratif kaplamalar genel olarak ana malzeme üzerine görsel olarak daha çekici olan ve bazı koruyucu özelliklere sahip olan bir katmanın eklenmesi şeklinde uygulanır. Bu kategoride kullanılan metaller bakır, nikel, krom, kalay ve çinkodur.

Bu çalışmada, sırasıyla bakır, nikel ve krom katmanlardan oluşan dekoratif elektro-kaplama yöntemi uygulanmış poliamid malzeme ile modellenmiş geometriler değerlendirilmiştir.

Bakır katman iki önemli özelliği için tercih edilir. Bunlardan ilki aşındırılmış, mikro işlenmiş yüzeye iyi yapışma kabiliyeti, ikincisi ise sünekliliği sayesinde diğer kaplama katmanları ve plastik malzeme arasında tampon görevi görebilen sıcaklık sebebiyle oluşan etkiyi absorbe etme özelliğidir [4].

Nikel katman, kaplamadaki korozyon direnci ve aşınma direncini özelliğini sağlaması için kullanılmıştır [5].

Krom katman ise mükemmel sertlik ve matlaşma direncini sağlayan katmandır [6].

Ayrıca yapılan araştırmalarda bakırdan oluşan bir alt katman kullanıldığında nikelin korozyon direncinin arttığı görülmüştür [7].

Bu çalışmada uygulamada sıklıkla kullanılan ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren) yerine PA (Poliamid, Naylon) seçilmesinin sebebi; daha iyi çekme modülü ve daha iyi çekme dayanımına sahip olmasıdır. ABS malzeme, metal kaplama çatlamaya başladığında çatlarken PA malzemede bu davranış gözlenmez. PA malzeme, metal kaplamanın dayandığı gerilmenin iki katı değerindeki gerilme yüklerine kadar dayanabilir [8].

III. MATERYAL VE METOT

Sonlu elemanlar yöntemi, pek çok farklı analiz yönteminden biridir ve bu çalışmada da bu yöntem kullanılmıştır. Yöntem, aslında kısmi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerini bulmak için kullanılan bir tekniktir. İnşaat, Havacılık ve Makine Mühendisliği alanlarındaki karmaşık yapısal analiz ve elastisite problemlerini çözmek ihtiyacından doğmuştur. Yapısal simülasyonlarda sonlu elemanlar yöntemi, şekil değiştirme ve mukavemet görselleştirmelerinin oluşturulmasına yardımcı olur [9].

Ticari olarak kullanılmakta olan pek çok farklı sonlu elemanlar yöntemi paket programı mevcuttur. Bu tez çalışmasında, ANSYS paket programı kullanılmıştır. ANSYS, mühendislik çalışmalarında da en çok kullanılan programlardan biri olup, yapısal, dinamik, ısı transferi, akışkan dinamiği, akustik, elektromanyetik, modal gibi pek çok farklı türde analiz yapabilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca, paket program içerisinde iki ve üç boyutta modellemeyi sağlayan tasarım modelleme yazılımı da mevcuttur. Tez çalışmasında kullanılan modellerin tasarımlarının bir kısmında

bu yazılımdan yararlanılırken, ayrıca SOLIDWORKS modelleme programı da kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, sonlu elemanlar yöntemi altında Statik Yapısal (Static Structural) analiz tipi kullanılmıştır.

IV. SONLU ELEMANLAR ÇÖZÜMLERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Tüm analizler gerçekleştirilirken her bir malzeme için aynı malzeme özelliği değerleri kullanılmış olup, bu değerlerden oluşan mühendislik verileri tablosu Tablo 1’de verilmiştir.

Malzeme Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Termal Genleşme Katsayısı (°C ⁻¹)	Elastisite Modülü (Pa)	Poisson Oranı
Poliamid	1,22	7,80E-05	6,10E+09	0,350
Bakır	8,93	1,64E-05	1,10E+11	0,343
Nikel	8,88	1,31E-05	2,07E+11	0,310
Krom	7,19	6,20E-06	2,79E+11	0,210

Tablo 1. Analizlerde kullanılan mühendislik verileri.

Çalışmada silindir çubuk, giriş ve açma kolu isimli modeller oluşturulmuştur. Poliamid ana malzeme katı elamanlarla modellenirken, kaplamalar için kabuk elemanlar kullanılmıştır.

Plastik (Poliamid) malzeme ölçüleri sabit olup, her bir modelde katmanların kalınlıkları için 11 farklı kombinasyon kullanılmıştır (Tablo 2). Katmanlar, 3 boyutlu katı olarak modellenen ana malzeme üzerine öteleme yöntemi kullanılarak kabuk şeklinde oluşturulmuştur.

Model üzerinde kalınlığa sahip olmayan kabuk yapıları ANSYS yazılımında oluşturulan sonlu elemanlar analiz modeli içerisinde kabuk etkisi tanımlanarak kalınlık değerleri verilmiştir.

Model No	Katman kalınlıkları (mm)		
	Bakır	Nikel	Krom
1	0,0254	0,03302	0,001778
2	0,0127	0,03302	0,001778
3	0,0254	0,01524	0,001778
4	0,0127	0,01524	0,001778
5	0,0254	0,03302	0,000508
6	0,0127	0,03302	0,000508
7	0,0254	0,01524	0,000508
8	0,0127	0,01524	0,000508
9	0,01905	0,01524	0,000508
10	0,0127	0,02413	0,000508
11	0,0127	0,01524	0,001143

Tablo 2. Kaplama katman kalınlıkları.

V. TARTIŞMA

Üç modelde her bir katmanın (bakır, nikel ve krom) farklı kalınlık varyasyonları için farklı geometri ve analizler oluşturulup, katman kalınlıklarındaki değişimin katmanlar üzerindeki gerilmelere olan etkisi incelenmiştir.

Malzemeler, belirli bir yüklemeye maruz kaldığında, malzemenin durum ya da fiziksel yapısında değişiklik görülmesi beklenir. Bu; durağan bir haldeki malzemenin kuvvet etkisi altında belirli bir miktarda yer değiştirmesi ya da fiziksel olarak şeklinin değişmesi, çekme ile uzaması, basma ile kısılması ve deforme olması gibi pek çok farklı şekilde gerçekleşebilir. Bu çalışmada numuneler üzerine termal yük uygulanmıştır. Termal yüke maruz kalan numunelerde gerilme yükleri meydana gelmiştir. Numuneler üzerinde oluşan gerilme değerleri okunurken, Von Mises eşdeğer gerilme değerleri kullanılmıştır.

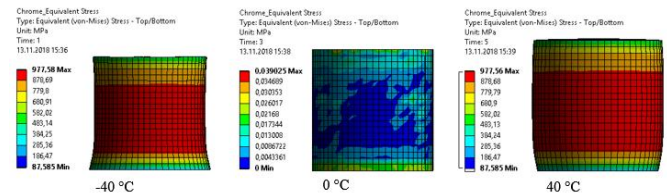
Her model için farklı malzemelerden oluşan katmanlar ve poliamid ana malzeme üzerinde, termal yük aynı adım ve

büyükliklerde uygulanmış olmasına rağmen, oluşan gerilme değerleri geometriye bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Malzeme maruz kaldığı termal yük kaynaklı gerilme ile şekil değişimine uğramış ve sıcaklık negatif değerlerdeyken özellikle plastik malzeme üzerinde büzüşme hali gözlemlenirken sıcaklık pozitif değerlerde yükseldikçe bu etki tersine dönerek malzemenin genişleme davranışı olarak gözlemlenmiştir. Ana malzeme olan poliamid ve katmanlarda kullanılan bakır, krom ve nikelin termal genişleme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla, genişleme ve büzüşme davranışı da her malzeme için farklı oranlarda gerçekleşmiştir. Birbirine ideal yapışık olarak kabul edilen katmanlar ve ana malzemedeki bu termal davranış farkı, gerilmelere sebep olmaktadır. Katman kalınlığı ve geometri gibi fiziksel özelliklerin değişmesi ile birlikte her bir malzeme üzerinde ortaya çıkan bu gerilme değeri, diğer katmanlar üzerinde oluşan gerilmeleri de doğrudan etkilemektedir.

Malzeme özelliklerinin farklı doğrulama yöntemleriyle doğrulandığı bu çalışmada, Von Mises gerilme değerlerinden oluşan sonuçlar kullanılarak malzemenin akma davranışının değerlendirilmesi mümkün kılınmıştır. Bu sayede, gerilme değeri ve bu değer in yoğunlaştığı bölgelerden hareketle numunelerin akma davranışı sergileyip sergilemeyeceği; sergileyecekse bu davranışın hangi bölgelerde oluşabileceğini öngörmek mümkün olacaktır.

Analiz sonuçları 7 adımlı olarak incelenmiş, Von Mises gerilme değerleri göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır. Daha önce belirtildiği üzere, bu çalışmada modellenen kaplama katmanları farklı kalınlık varyasyonlarına sahiptir. Silindir çubuk, giriş ve tutma kolu modelleri için bu değerler 11 farklı şekilde uygulanmıştır. Her bir katman (Örn. Bakır) üç farklı kalınlıkta modellenmiş ve benzer şekilde diğer katmanların kalınlıkları da her seferinde değiştirilerek uygulanmıştır. Her iki katmanın kalınlığı sabit tutulup üçüncü katman kalınlığının değişimi ve bu değişimin tüm katmanlardaki gerilme durumuna etkisi grafiklerle verilmiştir.

1 No.lu silindir çubuk model için sırasıyla -40 °C, 0 °C ve 40 °C’lik termal yük altında krom katmanda oluşan Von Mises gerilmeleri Şekil 2’de verilmiştir.

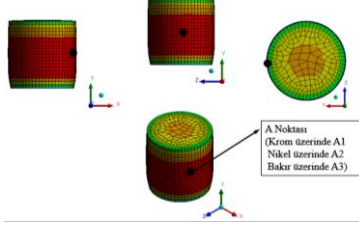


Şekil 2. 1 No.’lu silindir çubuk modelde -40 °C, 0 °C ve 40 °C’lik termal yük altında krom katmanda oluşan Von Mises gerilmeleri.

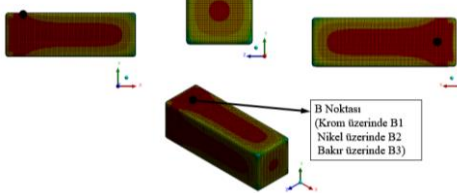
Şekilden de görüldüğü üzere negatif yüklemeye şartları altında büzüşme davranışı gösteren silindir çubuk modelde, pozitif termal yük uygulandıktan sonra ortaya çıkan gerilmelerle birlikte fiçi etkisi oluşmuştur. Diğer modellerde de benzer etki oluşmuştur. Bu etkiyle birlikte modelin silindirik yan yüzeyi genişlemiş, geometri bombeli bir görünüm kazanmıştır. Sonuçlar üzerinden oluşturulan grafikler için bu etki göz önünde bulundurulmuş ve kritik nokta seçilmiştir.

Gerilme değerleri değerlendirilirken, bu noktadan alınan veriler kullanılmıştır (Şekil 3). İlgili konum A noktası olarak adlandırılırken, krom üzerinde bu nokta A1, nikel üzerinde A2 ve bakır üzerinde A3 olarak adlandırılmıştır. Tüm A noktaları çakışık ve silindir çubuk modelin değerlendirilmesi yapılırken gerilme değerleri bu noktalardan ya da bu noktalara en yakın konumdaki düğüm noktalarından okunmuştur. Tüm

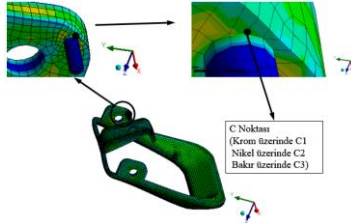
modeller için benzer şekilde tanımlama yapılmıştır (Kiriş model için kritik nokta B (Şekil 4), tutamak model için ise kritik nokta C noktası olarak tanımlanmıştır (Şekil 6)).



Şekil 3. Silindir çubuk model üzerinde gerilmelerin okunduğu A noktası.

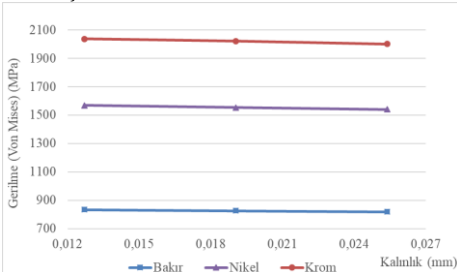


Şekil 4. Kiriş model üzerinde gerilmelerin okunduğu B noktası.



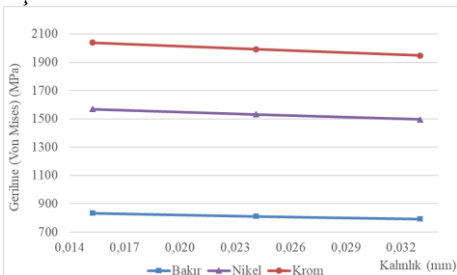
Şekil 5. Tutamak model üzerinde gerilmelerin okunduğu C noktası.

Silindir model için 7, 8 ve 9 No.'lu modellerde krom ve nikel katman kalınlığı sabit tutulmuş, bakır katman için farklı değerler uygulanmıştır. Şekil 6'da, bakır katman kalınlığının değişimine bağlı olarak bakır, nikel ve krom katmanlar üzerinde oluşan Von Mises gerilmelerinin A noktasındaki değerleri verilmiştir.



Şekil 6. 7, 8 ve 9 nolu silindir çubuk modellerde bakır katman kalınlığı değişimine bağlı olarak A noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

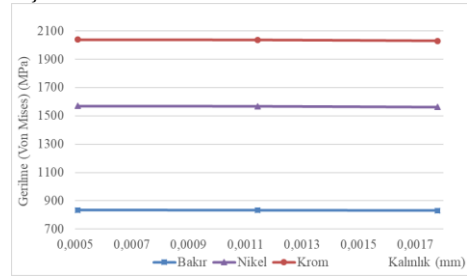
Nikel katman kalınlığı değişirken krom ve bakır katman kalınlıklarının sabit tutulduğu 6, 8 ve 10 No.'lu modellerde oluşan gerilme değişimlerinin A noktasındaki değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. 6, 8 ve 10 nolu silindir çubuk modellerde nikel katman kalınlığı değişimine bağlı olarak A noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

Krom katman kalınlığı değişirken nikel ve bakır katman kalınlıklarının sabit tutulduğu 4, 8 ve 11 No.'lu modellerde

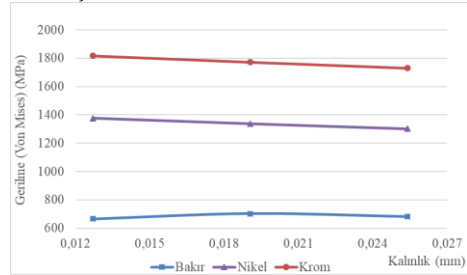
oluşan gerilme değişimlerinin A noktasındaki değerleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. 4, 8 ve 11 nolu silindir çubuk modellerde krom katman kalınlığı değişimine bağlı olarak A noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

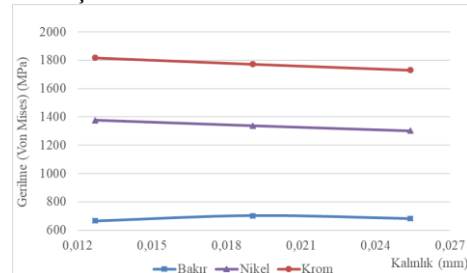
Her bir malzeme için (bakır, nikel ve/veya krom) bir katmanın kalınlığı değişirken diğer katmanların kalınlıklarının sabit tutulmasıyla oluşturulan modeller üzerinde yürütülen analizlerle elde edilen grafiklerden de görülmektedir ki; silindir çubuk model için en büyük eğim, nikel kalınlığının değişimini gösteren grafikte meydana gelmektedir.

Kiriş model için 7, 8 ve 9 No.'lu modellerde krom ve nikel katman kalınlığı sabit tutulmuş, bakır katman için farklı değerler uygulanmıştır. Şekil 9'da, bakır katman kalınlığının değişimine bağlı olarak bakır, nikel ve krom katmanlar üzerinde oluşan Von Mises gerilmelerinin B noktasındaki değerleri verilmiştir.



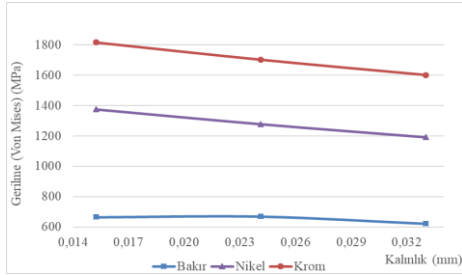
Şekil 9. 7, 8 ve 9 nolu kiriş modellerde bakır katman kalınlığı değişimine bağlı olarak B noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

Kiriş model için 7, 8 ve 9 No.'lu modellerde krom ve nikel katman kalınlığı sabit tutulmuş, bakır katman için farklı değerler uygulanmıştır. Şekil 10'da, bakır katman kalınlığının değişimine bağlı olarak bakır, nikel ve krom katmanlar üzerinde oluşan Von Mises gerilmelerinin B noktasındaki değerleri verilmiştir.



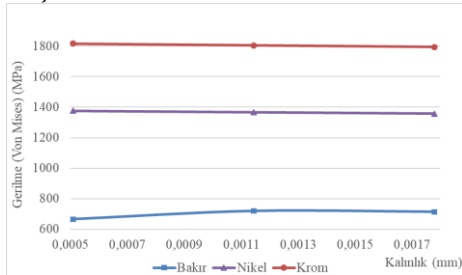
Şekil 10. 7, 8 ve 9 nolu kiriş modellerde bakır katman kalınlığı değişimine bağlı olarak B noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

Nikel katman kalınlığı değişirken krom ve bakır katman kalınlıklarının sabit tutulduğu 6, 8 ve 10 No.'lu modellerde oluşan gerilme değişimlerinin B noktasındaki değerleri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. 6, 8 ve 10 nolu kiriş modellerde nikel katman kalınlığı değişimine bağlı olarak B noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

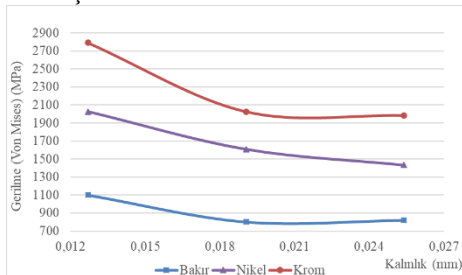
Krom katman kalınlığı değişirken nikel ve bakır katman kalınlıklarının sabit tutulduğu 4, 8 ve 11 No.'lu modellerde oluşan gerilme değişimlerinin B noktasındaki değerleri Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. 4, 8 ve 11 nolu kiriş modellerde krom katman kalınlığı değişimine bağlı olarak B noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

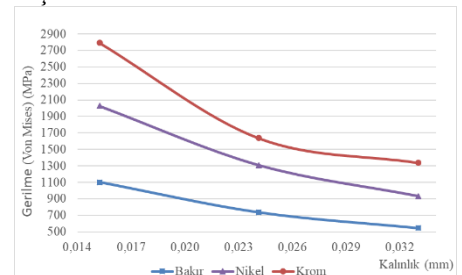
Grafiklerden de görülmektedir ki; kiriş model için en büyük eğim, nikel ve ardından bakır kalınlığının değişimini gösteren grafikte meydana gelmektedir.

Tutamak model için 7, 8 ve 9 No.'lu modellerde krom ve nikel katman kalınlığı sabit tutulmuş, bakır katman için farklı değerler uygulanmıştır. Şekil 13'de, bakır katman kalınlığının değişimine bağlı olarak bakır, nikel ve krom katmanlar üzerinde oluşan Von Mises gerilmelerinin C noktasındaki değerleri verilmiştir.



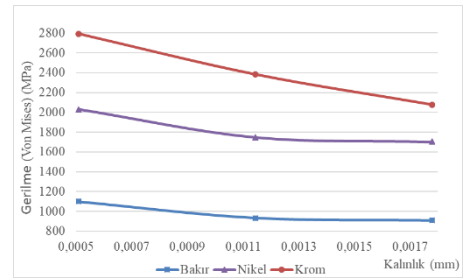
Şekil 13. 7, 8 ve 9 nolu tutamak modellerde bakır katman kalınlığı değişimine bağlı olarak C noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

Nikel katman kalınlığı değişirken krom ve bakır katman kalınlıklarının sabit tutulduğu 6, 8 ve 10 No.'lu modellerde oluşan gerilme değişimlerinin C noktasındaki değerleri Şekil 14'de verilmiştir.



Şekil 14. 6, 8 ve 10 nolu tutamak modellerde nikel katman kalınlığı değişimine bağlı olarak C noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

Krom katman kalınlığı değişirken nikel ve bakır katman kalınlıklarının sabit tutulduğu 4, 8 ve 11 No.'lu modellerde oluşan gerilme değişimlerinin C noktasındaki değerleri Şekil 15'de verilmiştir.



Şekil 15. 4, 8 ve 11 nolu tutamak modellerde krom katman kalınlığı değişimine bağlı olarak D noktasında tüm katmanlar üzerinde oluşan gerilme durumu.

Grafiklerden de görülmektedir ki; tutamak model için en büyük eğim, nikel ve ardından bakır kalınlığının değişimini gösteren grafikte meydana gelmektedir.

VI. SONUÇLAR

Dekoratif kaplama yöntemiyle poliamid malzeme üzerine bakır, nikel ve krom kaplanmış parçalar termal yük altında incelenmiştir. Analizler sonucunda kalınlığına bağlı değişen gerilme dağılımında etkisi en büyük olan katman, her bir model için nikel ve ardından bakır olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; kaplama kalınlığı arttıkça katmanlar üzerinde oluşan gerilmelerin genel olarak düştüğü, ancak geometride köşe veya eğri şeklinde yapılar varsa, gerilme yığılmalarının bu bölgelerde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

REFERANSLAR

- [1] T. Hart ve R. Parkinson, *Electroplating on Plastics*, Nickel Development Institute, Canada: NiDI Nickel Development Institute, 1995.
- [2] H. H. Lou ve Y. Huang, "Electroplating" *Encyclopedia of Chemical Processing*, 2006.
- [3] C. Woodford (2009/2017) explainthatstuff da Electroplating açıklama sayfası [Online]. Erişim linki: <https://www.explainthatstuff.com/electroplating.html>
- [4] H. M. Smith, D. L. Snyder, R. Tremmel ve diğ., *Quality Metal Finishing Guide*, Metal Finishing Suppliers Association (MFSA), Wisconsin, Amerika, 1973.
- [5] S. Olivera, "Plating on acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) plastic: a review" *Journal of Materials Science*, Ocak 2016.
- [6] Holzapfel Group. (2018) Holzapfel Group clever coating'de Copper-nickel-chrome uygulama sayfası. [Online] Erişim linki: <https://holzapfel-group.com/en/applications/automotive/copper-nickel-chrome.html>
- [7] P. C. Crouch ve A. C. Hart, "The Corrosion Resistance of Nickel-Chromium and Copper-Nickel-Chromium Coatings on Mild Steel Substrates" *The International Journal of Surface Engineering and Coatings*, Ocak 2018.
- [8] D. A. Thompson, "Durability of Decorative Electroplated Plastics for Exterior Automotive Use-A Review" *SAE International, SAE Transactions*, Vol. 88, Section 1: 790003-790266 (1979), pp. 798-807, Ekim 2018.
- [9] I. Kharagpur, NPTEL. (2012) NPTEL'de Introduction to Finite Element Analysis (Web) ders sayfası. [Online]. Erişim linki: <https://nptel.ac.in/courses/105105041/>