T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI MALZEMELER KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ BİMETALİK MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

IŞIK ÇETİNTAV

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: PROF. DR. YILMAZ ÇAN

EDİRNE-2014

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Taner TIMARCI
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI
İkinci Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yılmaz ÇAN
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Prof. Dr. Yılmaz ÇAN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Mümin ŞAHİN

Yrd. Doç. Dr. İlhan UMUT

Tarih: 24/06/2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

24/06/2014

Işık ÇETİNTAV

Yüksek Lisans Tezi
IŞIK ÇETİNTAV
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu tez çalışmasında farklı iki malzemeler kullanılarak tek bir parça olarak elde edilen bimetalik silindirik malzemelere açık kalıpta dövme işlemi uygulanarak davranışları incelenmiş ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Pirinç, bakır ve 1020 çeliği farklı boyutlarda kullanılarak üretilen 2 farklı model bimetalik malzeme örnekleri deneysel olarak hidrolik pres yardımıyla %15, %30 ve %40 redüksiyon ile dövme işlemine tabi tutulduktan sonra analitik hesaplama ve FEM simülasyonu ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Malzeme akışı, dövme işlemi boyunca etkiyen kuvvet ve malzeme ara yüzlerinin etkileşimi gibi parametreler önerilen malzeme kombinasyonlarının uygun olduğu yönünde sonuçlar vermiştir.

Yıl : 2014
Sayfa Sayısı : 58
Anahtar Kelimeler : bimetalik malzeme, dövme işlemi

Master's Thesis
IŞIK ÇETİNTAV
Trakya University Institute of Natural Sciences
Deparment of Mechanical Engineering

ABSTRACT

This study examines behaviour and mechanical properties of cylindirical bimetallic materials that produced as a single part using two different materials during cold upsetting process. Two models are considered with the combination of pure copper, brass and 1020 steel. At first these bimetallic materials have been apllied cold upsetting process using a hydraulic press with %15, %30 ve %40 reduction and then results are compared with FEM simulation and analytical approach. Material flow, upsetting load and interface conditions have yielded considerable insight into the process of producing bimetallic parts with these material combinations.

Year : 2014
Number of Pages : 57
Keywords : bimetallic materials, upsetting

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar emeği geçen, teknik bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen ve bana yol gösteren saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Yılmaz ÇAN'a tüm katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1
1.1. Tezin konusu ve önemi 1
1.2. Tezin Kapsamı 2
BÖLÜM 2 4
GENEL BİLGİLER 4
2.1. Üretim ve İmalat 4
2.2. Dünden Bugüne Üretim Yöntemleri ve Sınıflandırılması 4
2.3. Plastik Şekil Verme 6
2.3.1. Plastik şekil verme yöntemlerinin sınıflandırılması 7
2.4. Dövme 8
2.4.1. Dövme işleminin sınıflandırılması 9
2.4.1.1. Kalıp takımı tipine göre sınıflandırma 9
2.4.1.2. Sıcaklığa göre sınıflandırma 10
2.4.1.3. Dövme makinasına göre sınıflandırma 11
2.4.1.4. Dövme işlemi uygulanacak malzemeye göre sınıflandırma 11
2.5. Bimetalik Malzemeler 12
BÖLÜM 3 14
KAYNAK ARAŞTIRMASI 14
BÖLÜM 4 23
MATERYAL VE METOD 23
4.1 Kullanılan deney malzemesinin boyutları ve özellikleri 23
4.2. Deneysel Çalışma 25
4.3. Analitik hesaplama 28
4.4. FEM Simulasyonu 32
BÖLÜM 5 37
SONUÇLAR VE TARTIŞMA 37
KAYNAKLAR 45
ÖZGEÇMİŞ 47

SİMGE VE KISALTMALAR

v	vektörel hız
ε^p	plastik genleme
$\dot{\varepsilon}^p$	plastik genleme oranı
$\dot{h}$	dövme hızı
h	parçanın anlık uzunluğu
h_0	parçanın ilk uzunluğu
σ	gerilme tensörü
s	fark gerilme tensörü
τ	takım ile iş parçası ara yüzündeki sürtünmeden dolayı meydana gelen teğetsel gerilme
μ_i	kalıp malzemesi ile içteki malzeme arasındaki sürtünme katsayıları
μ_d	kalıp malzemesi dıştaki malzeme arasındaki sürtünme katsayıları
μ	ortak sürtünme katsayısı
e	bimetalik malzemenin dış halkasının kalınlığı
R	içteki silindirin yarıçapı
σ_i	içteki malzemenin akma gerilmesi
σ_d	dıştaki malzemenin akma gerilmesi

ŞEKİLLER VE TABLOLAR LİSTESİ

Şekil 1.1:	Bimetalik 1 lira ve 50 kuruş	2
Şekil 2.1:	Basit bir parça üretimi için çeşitli üretim yöntemleri: (a) döküm, (b) plastik şekil verme(dövme), (c) plastik şekil verme(ekstrüzyon), (d) talaşlı şekil verme, (e)kaynak	5
Şekil 2.2:	Üretim yöntemlerinin genel gruplandırılması	6
Şekil 2.3:	İş parçasının maruz kaldığı gerilmeye göre plastik şekil verme yöntemleri	7
Şekil 2.4:	Dövme işlemi	8
Şekil 2.5:	Açık kalıpta dövme	9
Şekil 2.6:	Kapalı kalıpta dövme	10
Şekil 2.7:	Çeşitli bimetalik ürün örnekleri	12
Şekil 2.8:	Çeşitli bimetalik bozuk para örnekleri, (a) Gümüş-Niyobyum, (b) Pirinç-Nikel	13
Şekil 3.1:	'Upsetting of bi-metallic ring billets' isimli çalışmada bimetalik malzemenin soğuk şekil verme işlemine maruz kalmış hali ve FEM analizi ile karşılaştırılması	15
Şekil 3.2:	'A new method for producing bimetallic rods' adlı çalışmadaki açısal ekstrüzyon ile üretilen bimetalik malzeme	15
Şekil 3.3:	'Compression of bimetallic components-analytical and experimental investigation' isimli çalışmada geliştirilen analitik yaklaşım modelleri	16
Şekil 3.4:	'Upsetting of Bimetallic Components in Closed Die' isimli çalışmada kapalı kalıpta dövme işlemi için tasarlanan modeller	17
Şekil 3.5:	'Study of the hot forging of weld cladded work pieces using upsetting tests' isimli makalede üretilen bimetalik malzeme benzeri parça; (a) Parçanın bimetalik malzeme davranışı gösteren kısmının kesidi, (b), (c), (d) sırasıyla yivli, düz ve yağlanmış düz kalıpta 1050 C sıcaklıkta %70 boy azalması sonrasındaki görünümler	18
Şekil 3.6:	'A generalized spherical velocity field for bi-metallic tube extrusion	19

through dies of any shape' isimli çalışmada; (a) ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi, (b) ekstrüzyon işleminin simülasyon programında tasarımı

Şekil 3.7: (1)'Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes: some experiments using hollow billets and the application of a generalised slab method of analysis' isimli çalışmada üretilen bimetalik borular, (2) 'Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes from solid circular billets: application of generalised upper bound analysis and some experiments' isimli çalışmada üretilen bimetalik borular 20

Şekil 3.8: 'Numerical analysis of bi-metallic extrusion of gear-like components' isimli çalışmada çelik-alüminyum dişli benzeri bimetalik parçanın oluşumu 21

Şekil 3.9: 'Bi-metal rod extrusion- process and product optimization' isimli çalışmada sert dış kabuk ve yumuşak iç malzemeden oluşan bimetalik borunun parçalı ekstrüzyonunun modellemelerinin karşılaştırılması, (a) plastisin ile modelleme, (b) alüminyum alaşımları ile modelleme, (c) Deform 3D programında modelleme 21

Şekil 3.10: 'A numerical criterion for quality prediction of bimetal strands' isimli çalışmada iki farklı kalıp modeline göre yapılan hidrostatik ekstrüzyon işlemi sonucu elde edilen ara yüz kalitesinin karşılaştırılması 22

Şekil 4.1: Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri 23

Şekil 4.2: Tasarlanan bimetalik malzeme modelleri 24

Şekil 4.3: Deneysel çalışma için sıkı geçme yöntemi ile üretilen bimetalik malzemeler 25

Şekil 4.4: Deneyin yapıldığı hidrolik pres 26

Şekil 4.5: Hidrolik presin kontrol panosu 27

Şekil 4.6: Parçanın kalıp arasına konumlandırılması 27

Şekil 4.7: Parçaya Slab metodunun uygulanması 28

Şekil 4.8: Deform programında parçanın iki boyutta modellenmesi 33

Şekil 4.9: İçteki ve dıştaki parçaların meshlenmesi 34

Şekil 4.10: Yüzeyler arası ilişkilerin tanımlanması 35

Şekil 4.11: Programı koşturmadan önce yapılan işlemler 35
Şekil 5.1: Sol baştan itibaren basılmamış, %15; %30 ve %40 basılmış durumda bimetalik malzemelerin görünüşleri 38
Şekil 5.2: Sol baştan itibaren %15, %30 ve %40 redüksiyon sonucu parça ara yüzlerinin durumu 39
Şekil 5.3: Hidrolik pres hızına bağlı olarak malzemede oluşan yırtılma 39
Şekil 5.4: FEM simülasyonu ile deneysel çalışma sonucu elde edilen malzeme akışlarının karşılaştırılması 40
Şekil 5.5: Model 1 ve Model 2'nin %15 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları 41
Şekil 5.6: Model 1 ve Model 2'nin %30 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları 42
Şekil 5.7: Model 1 ve Model 2'nin %40 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları 43

Tablo 4.1: Analitik hesaplamada kullanılacak değerler 32

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Tezin konusu ve önemi

Üretim teknolojilerinin doğduğu ve hızla büyümeye başladığı yıllarda mühendislerin başlıca hedefi ortaya istenilen ürünü zamanında ve çizilen teknik resime uygun bir şekilde üretmekti. Üretilen malzemenin kullanılacağı sisteme göre tasarımının yapılması, dayanım hesapları, sünek veya gevrek olması, darbe tokluğu gibi mekanik özelliklerinin düşünülmeye başlamasının ardından günümüze kadar bitmek bilmeyen, hatta halen devam eden araştırma geliştirme faaliyetleri farklı mühendislik dallarının ortaya çıkmasına ve üretim teknolojilerinin neredeyse mükemmelleşmesine ortam hazırlamıştır. Mevcut durumda üretim teknolojilerindeki bu iyileşmenin yanısıra malzemelerin kimyasal birleşiminde yapılan değişiklikler de daha iyi ve istenen özelliklere sahip yeni malzemelerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Son yıllarda ise araştırmalar ürünlerin ağırlıklarından tasarruf edip, daha düşük maliyetle yorulmaya ve korozyona dirençli malzemelerin nasıl üretileceği üzerine yoğunlaşmaktadır. İşte bu noktada bu tez çalışmasına da konu olan Bimetalik malzemeler devreye girmektedir. Bimetalik malzeme basit olarak farklı mekanik özelliklere veya mühendislik özelliklerine sahip iki malzemenin fiziksel veya metalurjik olarak birbirine bağlanması sonucu elde edilen malzemedir. Bu malzemelerin tercih sebebi olmasını sağlayan başlıca özelliklerden biri homojen ve dayanıklı bir birleşim ara yüzüne sahip olması, diğeri ve en önemlisi ise bu malzemeyi oluşturan her bir metalin kendi özelliklerini koruyup nihai bir ürün oluşturmalarıdır. Radyatörler, mil yatakları, motor başı contaları, kağıt sanayi kesme takımları, ağaç, metal, tekstil, gıda endüstrileri, ısı değiştirgeçleri, mutfak eşyaları ve günlük hayatımızda belki de en çok kullandığımız

alan olan Şekil 1.1'de de gösterilen 1 lira ve 50 kuruşluk demir paralar bimetalik malzemelere verilecek en iyi örneklerdir.



Şekil 1.1: Bimetalik 1 lira ve 50 kuruş

Bimetali oluşturacak metallerin seçimi yapılırken, korozyona karşı direnci, aşınma dayanımı, ısıl iletkenliği ve genleşmesi, yapısal özellikleri gibi hem fiziksel hem de mekanik özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında çelik, pirinç ve bakır malzemelerin değişik kombinasyonları ile oluşturulan 2 farklı bimetalik malzeme açık kalıpta dövme işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlemin sonucunda oluşan kuvvetler, malzeme akışı, ara yüz koşulları gibi parametreler irdelenmiş ve iki malzeme için karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneysel analiz sonucunda elde edilen değerler analitik çözüm ve sonlu elemanlar metodu temelli yazılım(Deform 3D) yardımı ile desteklenmiştir[1].

1.2. Tezin Kapsamı

Kalıplar arasında parçanın basma gerilmelerine maruz kaldığı dövme işlemi aksine prensipte çalışan çekme deneyinden sonra malzemelerin birçok mekanik özelliklinin belirlendiği en önemli mekanizmalardan biridir. Özellikleri farklı iki malzemeden oluşan bimetalik malzemelerdeki bu iki malzemenin ara yüzünde oluşacak merkez yönünde gerilmelerin yerine dışarı yöndeki radyal gerilmeler ara yüz

bağlantılarında belirleyici rol oynayacaktır. Bu sebeple bimetalik malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde genellikle dövme işlemi kullanılmaktadır.

Bölüm 2'de sırasıyla üretim kavramı, plastik şekil verme yöntemleri, dövme işlemi ve bimetalik malzemeler hakkında kısa ve temel bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler tez ile ilgili bir öngörü sağlamayı ve tezin ilerleyişi hakkında fikir vermeyi amaçlar.

Bölüm 3'de bu tez çalışmasında yararlanılan bimetalik malzemelerin ekstrüzyonu, dövme işlemi ve kaplama yöntemi ile üretilen bimetalik malzemeler hakkında bugüne kadar yayınlanmış makale ve çalışmalar kısaca açıklanmıştır. Bu sayede önceki çalışmalarda yapılanlar gösterilerek teze konu olan problem için ön hazırlık yapılmıştır.

Bölüm 4'de bu tez çalışmasında kullanılan bimetalik parçanın nasıl üretildiği, malzeme özellikleri, parça boyutları tanımlanmış ve ardından bu bimetalik parçaya açık kalıpta dövme işleminin deneysel olarak, analitik hesaplama ile ve simülasyon programı yardımıyla nasıl uygulandığı detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm 5'te ise bir önceki bölümde elde edilen veriler irdelenerek bu tez çalışmasında varılan sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. Üretim ve İmalat

Üretim, mevcut hammaddenin belirli işlemlere tabi tutularak istenilen özellik ve şekildeki son ürün haline getirilirken hammadde, işlem ve üründen oluşan süreç olarak tanımlanabilir. İmalat ise, üretimden farklı olarak sadece bir ürünün sayısını veya sağladığı faydayı artırmaya yönelik bir çabadır.

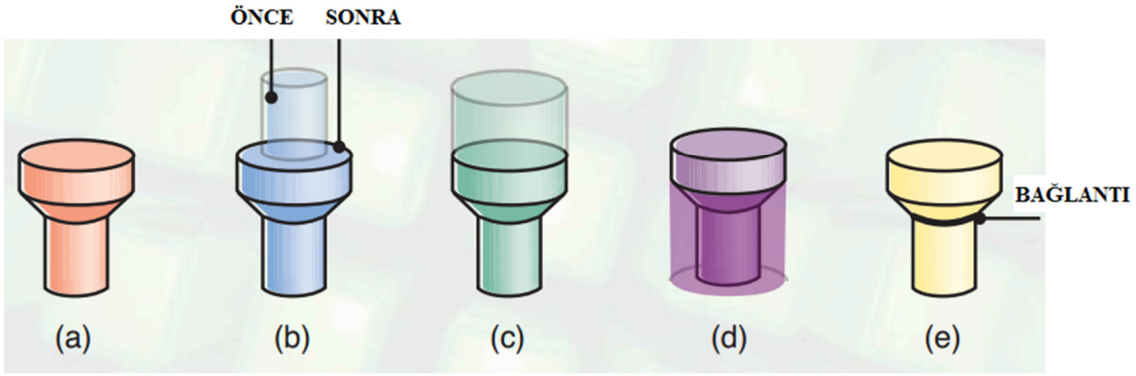
Üretim denildiğinde çok geniş bir alan akıllara gelmektedir. Ancak detayı ile birlikte anlaşılması sadece makine mühendislerine değil, amacı insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamak olan tüm mühendislik dallarına da yardımcı olur. Başlangıçta üretime enerji, insan ve zaman kaynakları yönünden yeterli düzeyde araştırma yapıldığında işlem aşamasına geçilebilir. İlk sırada tasarım vardır. Tasarım temel seçilerek planlar gerçekleştirilir ve işlem aşamasında bu planlar yürürlüğe konur. Elde bulunan kaynakların ve işlemin düzgün yönetimi verim ve üretkenlik üzerinde pozitif etki yaratıp bu olguların artışı bakımından çok önemlidir. Daha sonrasında ürünün uygun pazarlama yöntemleri ile alıcıya en karlı ve memnuiyet olarak en üst derecede ulaşması bundan önceki aşamaların tamamlayıcısı olacaktır. Son aşama olan sonuç aşamasında ise eldeki ürünün alıcıya iletilmesi, bu ürün ile bağlantılı başka ürünler ile destek verilmesi ve ürünün kullanımı ile ilgili diğer bilgiler ile ilk kullanım karmaşıklığından kaynaklanacak pürüzlerin giderilmesi amaçlanır.

2.2. Dünden Bugüne Üretim Yöntemleri ve Sınıflandırılması

Teknoloji ilerledikçe beraberinde daha kaliteli ürünlerin tasarımı yapılmış ve bu ürünlerin hızlı ve daha ucuz üretimini sağlayacak yöntemlerin gelişimi de mümkün

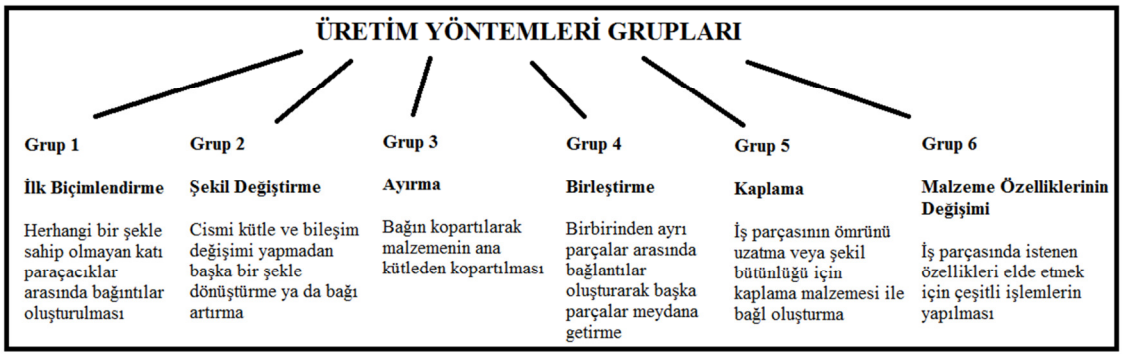
olmuştur. Geçen her gün de yaşam kalitesi yükselmekte ve insanlar gün geçtikçe daha iyi veya daha kaliteli ürünleri talep etmektedirler. Bu sebeplerden ötürü de memnuniyeti artırma görevi mühendislere ve onların yaratıcı düşüncelerine bırakılmıştır. En ucuz ve doğru tasarımı yapabilmek için mühendisler bütün üretim yöntemlerini en iyi şekilde öğrenip bu yöntemlerin olanaklarını, birbirlerine göre üstünlüklerini ve sınırlamalarını tanımlayıp amaçlarına ulaşmalıdırlar.

Esasen üretim yöntemlerini iç ve dış değişimler olarak ikiye ayırmak mümkün olmaktadır. İç değişimler cevherin özünün çıkarılması, temizlenmesi ve ısıl işlem uygulanması şeklinde sıralanırken, dış dönüşümler ise malzemeye fiziksel olarak şekil verilmesi olarak tanımlanabilir. İç ve dış değişimler Şekil 2.1'de bazı örneklerinin gösterildiği gibi kendi içlerinde 4 adet başlık altında toplanmıştır; bunlar döküm, plastik şekil verme, kaynak, talaşlı şekil verme olarak sıralanmaktadır.



Şekil 2.1: Basit bir parça üretimi için çeşitli üretim yöntemleri: (a) döküm, (b) plastik şekil verme(dövme), (c) plastik şekil verme(ekstrüzyon), (d) talaşlı şekil verme, (e)kaynak

Üretim yöntemlerini bazı kaynaklara göre Şekil 2.2'teki gibi 6 grupta genel ifadelerle sınıflandırmak da bu yöntemlerin iyi anlaşılması açısından faydalı olmaktadır.



Şekil 2.2: Üretim yöntemlerinin genel gruplandırılması

Mevcut tez çalışması 2. Gruptaki Şekil Değiştirme başlığı altında bulunan ve bir sonraki konuda açıklanacak olan Açık Kalıpta Dövme konusu ile ilgilidir[2].

2.3. Plastik Şekil Verme

Malzeme birleşiminde ve toplam kütlesinde herhangi bir değişiklik olmaksızın bir katı cismin şeklini istenilen başka bir şekle dönüştürmek amacıyla kullanılan üretim yöntemlerine plastik şekil verme yöntemleri denir. Plastik şekil verme yöntemleri, günümüzde evlerimizde kullandığımız mutfak aletlerinden motorlu taşıtlar, havacılık ve denizcilikte kullanılan malzemelere kadar çok geniş bir kullanım ve uygulama alanına sahiptir. Bakır, çinko, alüminyum, karbonlu ve alaşımlı çelikler gibi demir olmayan malzemelere plastik şekil verme uygulanabilir.

Plastik şekil verme yöntemlerinin malzeme üzerindeki en önemli etkisi, bu malzemelerin istenilen uygulama alanında kullanımı için gerekli mekanik özellikleri sağlamalarıdır. Aynı zamanda karmaşık şekilli parçaların mükemmel yüzey kalitesi ile üretimi, çok küçük tolerans aralıkları, hızlı üretim ve parça başı maliyetlerin azlığı bu yöntemleri en çok tercih edilen üretim yöntemleri arasında ilk sıraya koymaktadır.

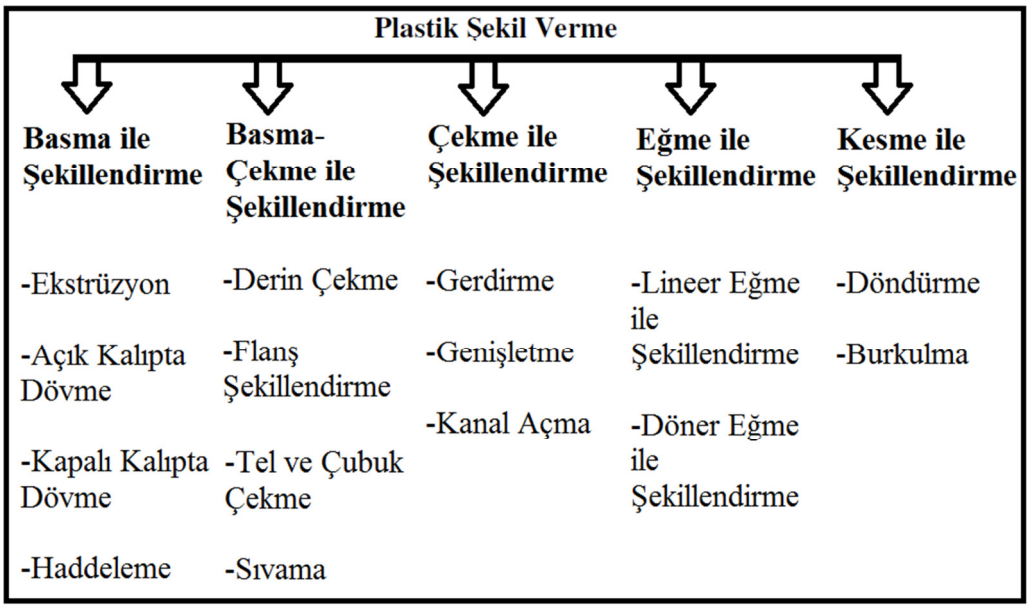
Plastik şekil verme yöntemleri uygulanırken parçanın tamamının deforme olması sebebi ile şekil değişimi için gereken kuvvet ve sonucunda oluşan gerilme değerleri çok büyüktür. Bundan dolayı bu yöntemlerin karakteristik özellikleri parçanın büyüklüğüne, karmaşıklığına ve malzemesine göre değişkenlik göstermektedir. Çok yüksek miktarda kuvvetlere ihtiyaç olduğundan sistemlerinin kurulumu pahalı, ağır ve boyutları büyüktür. Üretilen parçaların tolerans aralığının darlığından ötürü kalıp tasarımı ve üretimi için ayrı bir atölyeye ve kalifiye elemanlara ihtiyaç vardır. Plastik şekil verme

yöntemleri için gerekli sistemler ya da makineler kurulurken üretilecek parça sayısı göz önünde bulundurularak kar-zarar dengesinin tutarlı olmasına dikkat edilmelidir.

2.3.1. Plastik şekil verme yöntemlerinin sınıflandırılması

Plastik şekil verme yöntemlerini sac şekillendirme ve kütle biçimlendirme olmak üzere temel olarak 2 gruba ayırabiliriz. İçi boş ince ve eşit kalınlıkta cidarlı parçaların üretiminde sac şekillendirme, her doğrultuda büyük miktarlarda deformasyon gerektiren ve yüksek miktarda kesit değişikliğine ihtiyaç olan parçaların üretiminde ise kütle biçimlendirme kullanılır.

Gerilme türüne göre de plastik şekil verme yöntemlerini 5 gruba ayırmak mümkündür. Şekil 2.3'te bu gruplar ve bazı örnekleri verilmiştir.

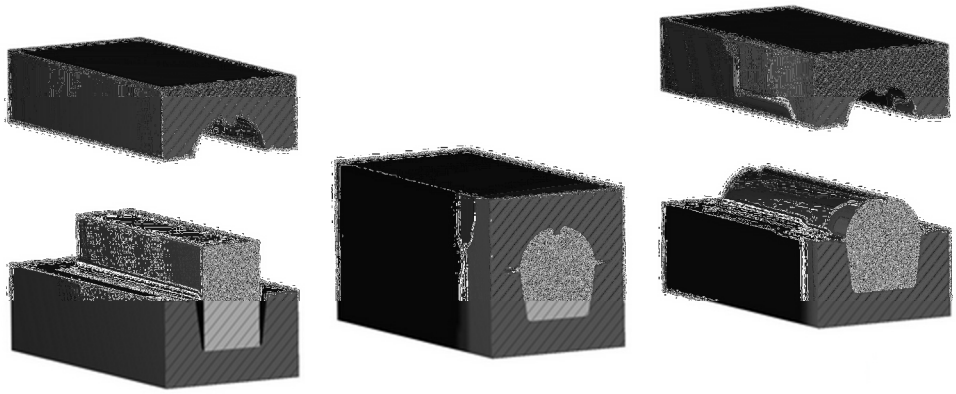


Şekil 2.3: İş parçasının maruz kaldığı gerilmeye göre plastik şekil verme yöntemleri

Mevcut tez çalışması Basma ile Şekillendirme grubu içinde bulunan Açık Kalıpta Dövme işlemi ile ilgili olup bir sonraki başlık altında bu yöntem geniş bir şekilde açıklanacaktır[3].

2.4. Dövme

Dövme, iş parçasını şekillendirmek ve malzemede geometrik değişiklik yaparak arzu edilen şekli oluşturmak amacıyla basma kuvvetleri uygulamayı içeren bir plastik şekil verme yöntemidir. Dövme işlemi endüstriyel metal üretiminde, özellikle de demir ve çelik endüstrisinde çok önemlidir. Civata başları, krank milleri, dişliler, kancalar ve bunlara benzer daha birçok ürün dövme işlemi yardımıyla üretilir. Bu işlem sonunda malzemenin mekanik özellikleri iyileştirilerek istenilen parça şekline ulaşılır. Dövme işlemi ürünü istenilen hale bir ya da birkaç basma ya da çekiç kuvveti ile çok kısa süre içinde getirir ve sonrasında genellikle ıskarta yani hatalı ürün sayısı çok azdır. Şekil 2.4'te basit bir dövme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Dövme işlemi

Farklı tipteki metaller dövme işlemine maruz kaldıklarında çok çeşitli faktörler etkili olur, örneğin bazıları diğerlerinden daha yüksek dövülebilirliğe sahiptir, yani daha kolay bir şekilde dövme işlemi uygulanabilir. Bu faktörleri belirlemek için farklı malzemelere çeşitli testler uygulanır. Alüminyum, magnezyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları dövme işleminde sıklıkla kullanılan malzemelerdir.

Ayrıca, dövme işlemi uygulanan malzeme içinde boş alanlar kapanarak ve çatlaklar dolarak bu malzeme daha dayanıklı hale gelmektedir. Sıcak dövme işlemi sonucunda malzemenin sahip olduğu bozuklukları veya tane dağılımındaki sıkıntıları düzeltmek amacıyla bu malzeme içinde bulunan kalıntıları azaltır veya yok eder. İşlem esnasında malzeme akışına bağlı olarak tane yapısı değişir ve diğer plastik şekil verme

işlemlerinde olduğu gibi tane yapısı malzemeyi daha dayanıklı yapmak için elverişli hale getirilir.

2.4.1. Dövme işleminin sınıflandırılması

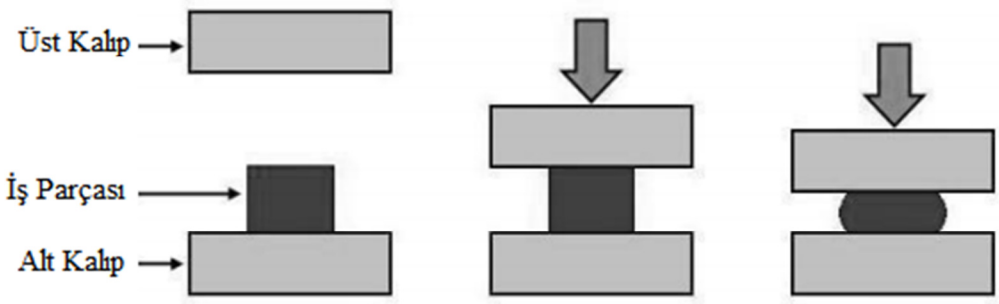
Dövme işlemi geçmişten günümüze üzerine etkiyen birkaç faktöre göre sınıflandırılır. Bunlar;

- Kalıp takımı tipi
- Sıcaklık
- Dövme makinası
- Dövme işlemi uygulanacak malzeme şeklindedir.

2.4.1.1. Kalıp takımı tipine göre sınıflandırma

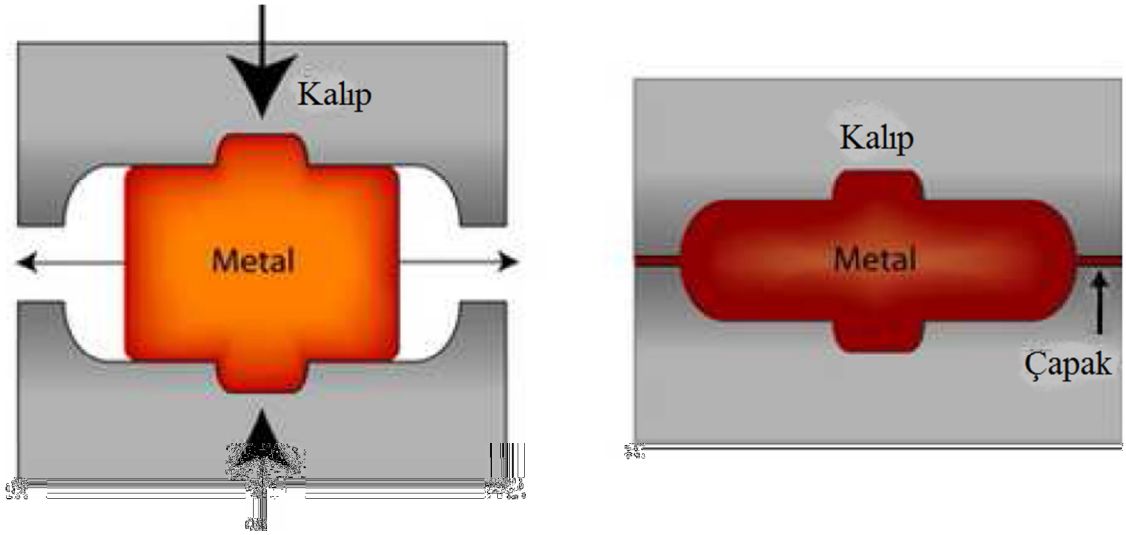
Kalıp takımı tipine göre dövme işlemini açık kalıpta dövme ve kapalı kalıpta dövme şeklinde iki gruba ayırabiliriz.

Açık kalıpta dövme işleminde, iş parçasının yüzeylerinden en az biri Şekil 2.5'teki gibi serbest bir şekilde deforme olur ve bunun sonucu olarak açık kalıpta dövme işlemi kapalı kalıpta dövme işlemine göre daha az hassasiyette ve daha küçük boyutsal toleransta parçalar üretir. Bu işlem operatör kontrollü olacak şekilde tekrarlı vuruşlar halinde de olabilir. Biçimlendirme esnasında iş parçasının yüksekliği azalırken, malzeme hacminin korunumu kuralı sebebiyle kesit alanı da artar. İş parçası ile kalıp arasındaki sürtünme nedeniyle malzeme yığılması fıçı şeklinde olur. Fıçı oluşumunu engellemek amacıyla sıcak kalıplar kullanılabilir ya da iş parçası ile kalıp arasında etkin bir yağlama yapılmalıdır.



Şekil 2.5: Açık kalıpta dövme

Kapalı kalıpta dövme Şekil 2.6'da gösterildiği gibi kalıp boşluklarını doldurma yolu ile karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılan en yaygın dövme tipidir. Kapalı kalıpta dövme işleminde, çapak yani kalıp dışında malzeme fazlası oluşabilir ve yüksek takım gerilmeleri meydana gelir. Yüksek miktardaki gerilmeyi azaltmak ve kalıp boşluklarını hasara uğratmadan doldurmak için işlemler sıralı bir şekilde planlanmalıdır.



Şekil 2.6: Kapalı kalıpta dövme

2.4.1.2. Sıcaklığa göre sınıflandırma

Dövme işlemi sıcaklığa göre sıcak dövme, ılık dövme ve soğuk dövme şeklinde üçe ayrılır. Sıcak dövme işleminde iş parçası yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bunun işlem sonucunda daha büyük deformasyonlar elde edilir, kalıp aşınması azaltılır ve boyutsal hassasiyet düşüktür. Ilık dövme işleminde, iş parçası yeniden kristalleşme sıcaklığı ile pekleşme sıcaklığı arasındaki bir değere kadar ısıtılır. Bu işlemde dövme kuvveti yüksek ve kalıp aşınması daha fazla olmasına rağmen sıcak dövme işlemine göre daha iyi boyutsal toleranslar sağlar. Bunlara karşılık, soğuk şekil verme işleminde iş parçası oda sıcaklığında dövme işlemine tabi tutulur. Soğuk şekil verme mekanik özellikleri artırır ve daha büyük boyutsal hassasiyet sağlar. Ancak bu işlem için daha yüksek kuvvetler gereklidir.

2.4.1.3. Dövme makinasına göre sınıflandırma

Dövme işlemi makine tipine göre pres, çekiç ve merdaneli dövme olmak üzere 3 ana gruba ayrılabilir. Bazı dövme parçaları hem çekiç hem de pres kullanılarak üretilebilir, fakat her bir makinenin işlem karakteristiklerinin dövme işlemi uygulanan parça üzerinde ayrı etkisi olacaktır.

Pres makinesi iş parçası üzerinde basma etkisi oluşturmaktadır. Presler hidrolik ve mekanik olmak üzere iki gruba ayrılır. Hidrolik presler yüksek basınçlı hidrolik veya hidro-pnömatik sistemler kullanılarak büyük pistonların büyük silindirler içinde hareketi vasıtası ile kontrol edilir. Mekanik presler kranklar, kamlar ve diğer rijit bağlantılar vasıtasıyla kuvvet uygulayarak birbirlerine bağlı çalışan iki çalışma yüzeyine sahip olması bakımından hidrolik preslerden ayrılır. Mekanik presin strok değerleri çekiç ve hidrolik preslerden daha kısadır.

Dövme çekiçleri ise büyük bir koçun darbesi vasıtası ile kuvvet uygulanması prensibi ile çalışır. Çekiç genellikle hava basıncı veya buhar yardımı ile yükseltildiği en yüksek noktadan serbest bırakılır. Çekiç ile dövme işlemi uygulanan metaller genellikle hızlı deformasyon süresince gözle görülür bir sıcaklık artışı gösterirler. Bu da alüminyum gibi erime noktaları düşük metallerde problem yaratmaktadır. Sıcaklık artışı diğerlerine nazaran pres makinesinde daha az olduğundan bu makineler dövme işlemlerinde daha çok kullanılmaktadır.

2.4.1.4. Dövme işlemi uygulanacak malzemeye göre sınıflandırma

Bu başlık altında da dövme işlemini karbon ve alaşım çeliklerinin dövülmesi ve alüminyum alaşımları, magnezyum alaşımları ve titanyum alaşımları gibi demir içermeyen metallerin dövülmesi olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Karbon ve alaşım çelikleri en yaygın olarak kullanılan dövme malzemeleridir. Bununla beraber, demir dışı malzemelerin dövülmesi talebi gün geçtikçe artmaktadır ve bu malzemeler için uygun dövme tasarımları yapılmalıdır.

Bu tez çalışmasında dövme makinesi olarak hidrolik pres, kalıp takımına göre açık kalıpta dövme işlemi başlığı altında yapılan çalışmalar anlatılacaktır[4].

2.5. Bimetalik Malzemeler

Bimetalik malzemeler basit olarak farklı karakteristik özelliklere sahip iki farklı metalin fiziksel olarak birleştirilerek üretilen daha iyi özelliklere sahip malzemelerdir. Genel olarak kaplama ve sıkı geçme yöntemleri ile üretilir. Tel ve benzeri ince kesitli ürünlerde kaplama yöntemi, daha büyük ve kütleli parçalar içinse sıkı geçme ya da ısıtma yöntemi kullanılır. Bu metalurjik birliktelik birtakım üstün özelliklere sahiptir. Bunlar:

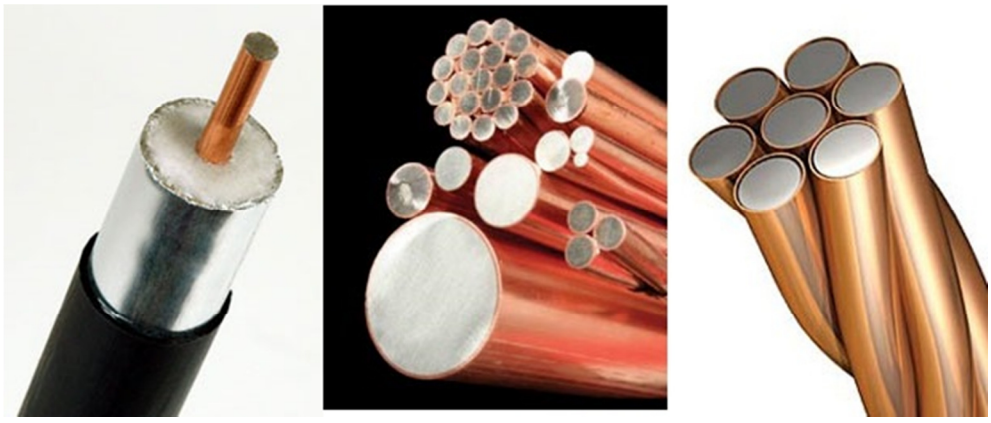
-Ağırlık tasarrufu; bimetalik malzemeler aynı boyuttaki tek bir malzemeden daha hafif olabilir.

-Düşük maliyet; bimetalik malzemeler aynı özelliklere sahip bir malzemeden daha ucuza üretilebilir.

-Yorulma dayanımı; bimetalik malzemeler yüksek yorulma dayanımı gösterebilirler.

-Korozyon dayanımı; özellikle kaplama yöntemi ile üretilen bimetalik malzemeler yüksek korozyon direncine sahiptir.

Bimetalik malzemelerin üretiminde kullanılacak metaller seçilirken yukarıdaki özelliklere dikkat edilmelidir. Alüminyum, bakır, pirinç, titanyum ve çelik bimetalik malzeme üretiminde en çok kullanılan metal ve alaşımlardır. Şekil 2.7'de bazı bimetalik malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Çeşitli bimetalik ürün örnekleri

Bimetalik malzemeler günümüzde birçok alanda mükemmel bir alternatif malzeme olarak yerini almaya başlamıştır. İletken tel endüstrisi başta olmak üzere, buhar tutucular yani kondenstoplar, motor yatak sacları, perçin endüstrisi, sensörler, termometreler, termostatlar çeşitli kullanım alanlarıdır. Ayrıca Bölüm 1'de de anlatılmış olan bimetalik bozuk paralar en yaygın görülen bimetalik ürünlerdir.(Şekil 2.8)



Şekil 2.8: Çeşitli bimetalik bozuk para örnekleri, (a) Gümüş-Niyobyum, (b) Pirinç-Nikel

Mevcut tez çalışmasında çelik-pirinç ve çelik-bakır şeklinde üretilen iki ayrı tipteki silindirik parçalara açık kalıpta dövme işlemi uygulanmış, elde edilen sonuçlar irdelenerek analitik yaklaşım ve bilgisayar destekli analizlerle karşılaştırılmıştır.

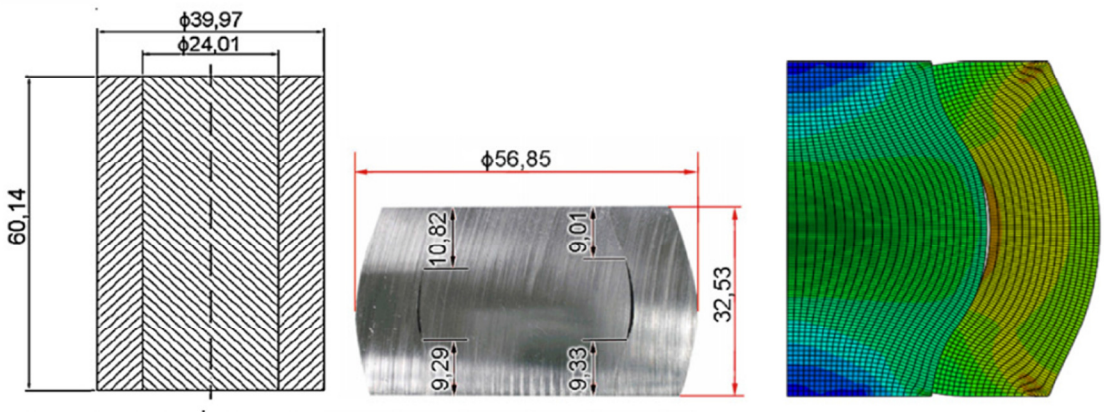
Bir sonraki bölümde yukarıda verilen genel bilgiler ile alakalı ve bu tez çalışmasına referans olan çalışmalar kısaca açıklanacaktır[5].

BÖLÜM 3

KAYNAK ARAŞTIRMASI

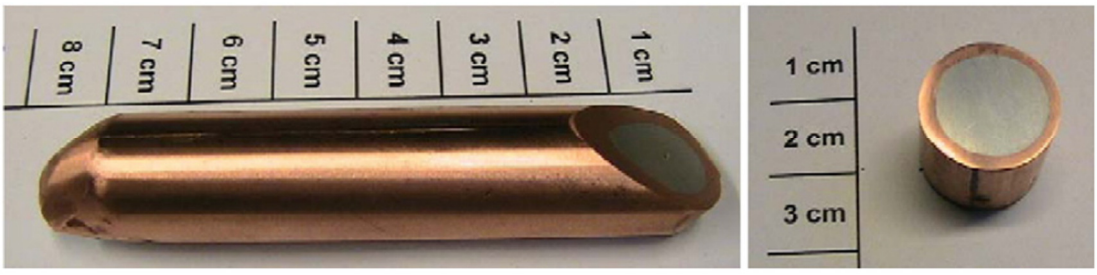
İçi boş bir silindirik parça ile dolu bir silindirik parçanın sıkı geçme yöntemi ile birbiri içine geçerek oluşturduğu bimetalik malzemelerde pres yükü bu iki parçanın birleşme ara yüz düzlemine paralel biçimde etki etmektedir. Bunun sonucunda ara yüz basıncı bazı durumlarda basma olarak, bazı durumlarda ise çekme olarak görülmektedir ve bu çekme etkisi ara yüzde ayrılmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple iki farklı malzemenin tek bir operasyon ile dövme işlemine veya genel olarak herhangi bir plastik şekil verme yöntemine maruz bırakıldığı bilimsel çalışma sayısının literatürde çok az olduğu görülmektedir. Fakat son yıllarda bimetalik malzemelerin üstünlükleri fazlasıyla ön plana çıkmış ve bu malzemelerin uygulama alanlarının genişletilmesi için geçen her gün yeni çalışmalar ortaya çıkmaktadır.

'Upsetting of bi-metallic ring billets' isimli çalışmada içi dolu bir silindir etrafına sıkı geçme yöntemi ile geçirilen başka bir malzemeden yapılmış silindirik bir halka şeklinde yekpare bir parça gibi üretilen bimetalik malzemenin soğuk şekil verme sürecindeki davranışı incelenmiştir. Çalışmada orta karbonlu C45E çeliği ve daha yumuşak C15E çeliği iç ve dışta yer değiştirilerek kullanılmış, deneysel çalışmalara ek olarak FEM analizi ile de sonuçlar doğrulanmıştır. Ayrıca FEM analizi için kullanılan yazılım vasıtası ile farklı malzeme geometrileri ve kombinasyonları denenerek çalışmanın geniş bir yelpazede geçerli olabileceği gösterilmiştir.(Şekil 3.1)Bu çalışmanın sonucunda belirli koşullar altında belli geometrik koşullarda bimetalik silindirik parçaların çok iyi ara yüz koşullarında açık kalıpta dövme işlemine tabi tutulabileceği görülmüştür[6].



Şekil 3.1: 'Upsetting of bi-metallic ring billets' isimli çalışmada bimetalik malzemenin soğuk şekil verme işlemine maruz kalmış hali ve FEM analizi ile karşılaştırılması

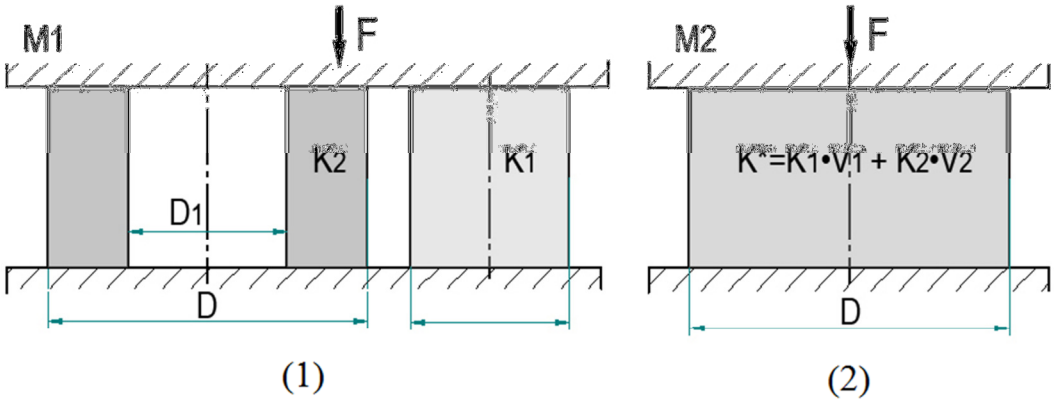
'A new method for producing bimetallic rods' adlı çalışmada bimetalik çubukların imalatında kullanılan yeni bir metot ele alınmıştır. Bu metot eşit kanallı açısal ekstrüzyon işleminin yeni bir uygulaması olarak açıklanmıştır. Hem çekirdekte hem de kaplama malzemesinde yüksek düzeyde boyutsal kontrol, birden fazla ekstrüzyon işlemi sonucunda daha büyük bağ kuvveti imkanı, bimetalik malzemeyi oluşturan metaller için kritik olan farklı sıcaklıklarda işleme imkanı gibi avantajları bulunmaktadır. Alüminyum ve bakır bu metotun üstünlüklerini göstermek amacıyla bu çalışmada kullanılmıştır.(Şekil 3.2)[7].



Şekil 3.2: 'A new method for producing bimetallic rods' adlı çalışmadaki açısal ekstrüzyon ile üretilen bimetalik malzeme

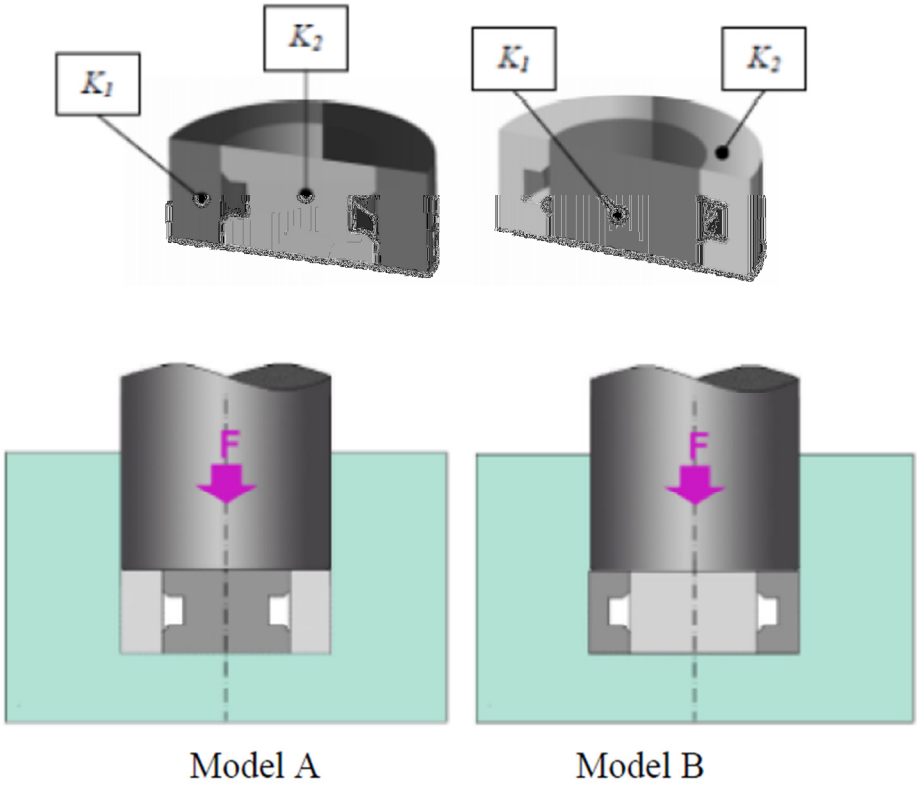
'Compression of bimetallic components-analytical and experimental investigation' isimli çalışmada ise yine C45 ve C15 çelikleri kullanılarak üretilen bimetalik malzeme dövme işlemine tabi tutulmuş ve deneysel işlem sonucu elde edilen kuvvet değerleri geliştirilen analitik yaklaşım sonucu bulunan değerler ile

karşılaştırılmıştır. Bu analitik yaklaşımda iki model düşünülmüştür. Birincisinde bimetalik malzemeyi oluşturan malzemeler ayrı ayrı düşünülmüş, diğerinde ise yekpare parça olarak hesaplama yapılmıştır. (Şekil 3.3)[8]



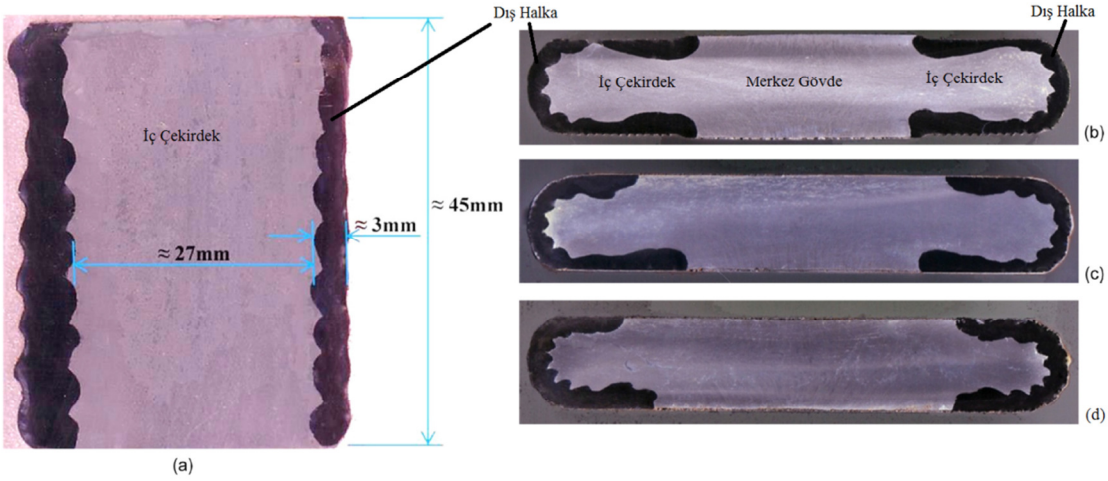
Şekil 3.3: 'Compression of bimetallic components-analytical and experimental investigation' isimli çalışmada geliştirilen analitik yaklaşım modelleri

'Upsetting of Bimetallic Components in Closed Die' isimli çalışmada kapalı kalıpta dövme işlemi yardımıyla farklı malzemelerin birleştirilerek bimetalik malzemelerin oluşturulması işlemi ele alınmıştır. İki farklı malzemenin kapalı bir kalıpta dövme işlemine maruz kalması sonucunda, ayrılmaz yekpare bir parça elde edilmiştir. Bu sebeple Şekil 3.4'de gösterildiği gibi iki farklı geometrik model düşünülmüştür. Birincisinde, profilli bir silindirik parça etrafına profilsiz bir silindirik parça, ikincisinde ise tam tersi olarak profilsiz bir silindirik parça etrafına profilli bir silindirik parça şeklinde tasarım yapılarak dövme işlemi uygulanmıştır. Şekillendirme kuvveti, malzeme akışı ve profillerin değişimi iki model için karşılaştırılmıştır[9].



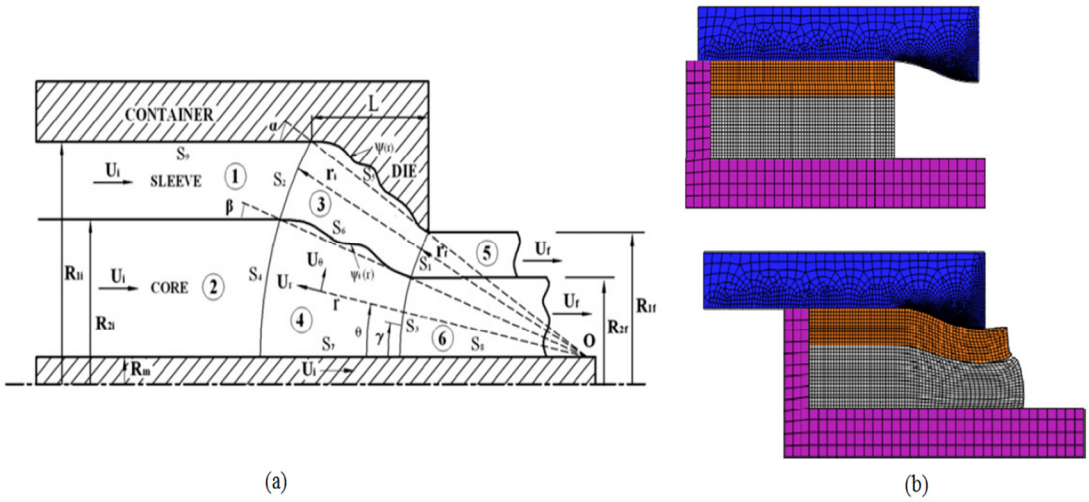
Şekil 3.4: 'Upsetting of Bimetallic Components in Closed Die' isimli çalışmada kapalı kalıpta dövme işlemi için tasarlanan modeller

'Study of the hot forging of weld cladded work pieces using upsetting tests' isimli çalışmada bir iş parçasının üzerine yapılan çok malzemeli kaplama işlemi sonucu oluşan bimetalik malzeme benzeri parçaya sıcak dövme işlemi uygulanmıştır. İş parçası olarak C15 düşük karbonlu çeliği kullanılmış ve bu malzemenin gazaltı kaynağı uygulanarak SS316L malzemesi ile kaplanmıştır. Sonrasında bu yeni bimetalik malzeme benzeri parçaya hem deneysel olarak sıcak dövme işlemi uygulanmış, hem de simülasyon programı kullanılarak ve slab metodu yardımıyla analitik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.(Şekil 3.5) Dövme sonrası çatlak oluşumu, kaplama malzemesinin kalınlığı, kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmenin çatlak oluşumuna etkisi, malzeme akışı ve şekillendirme kuvveti bu çalışmada ön plana çıkan parametrelerdir[10].



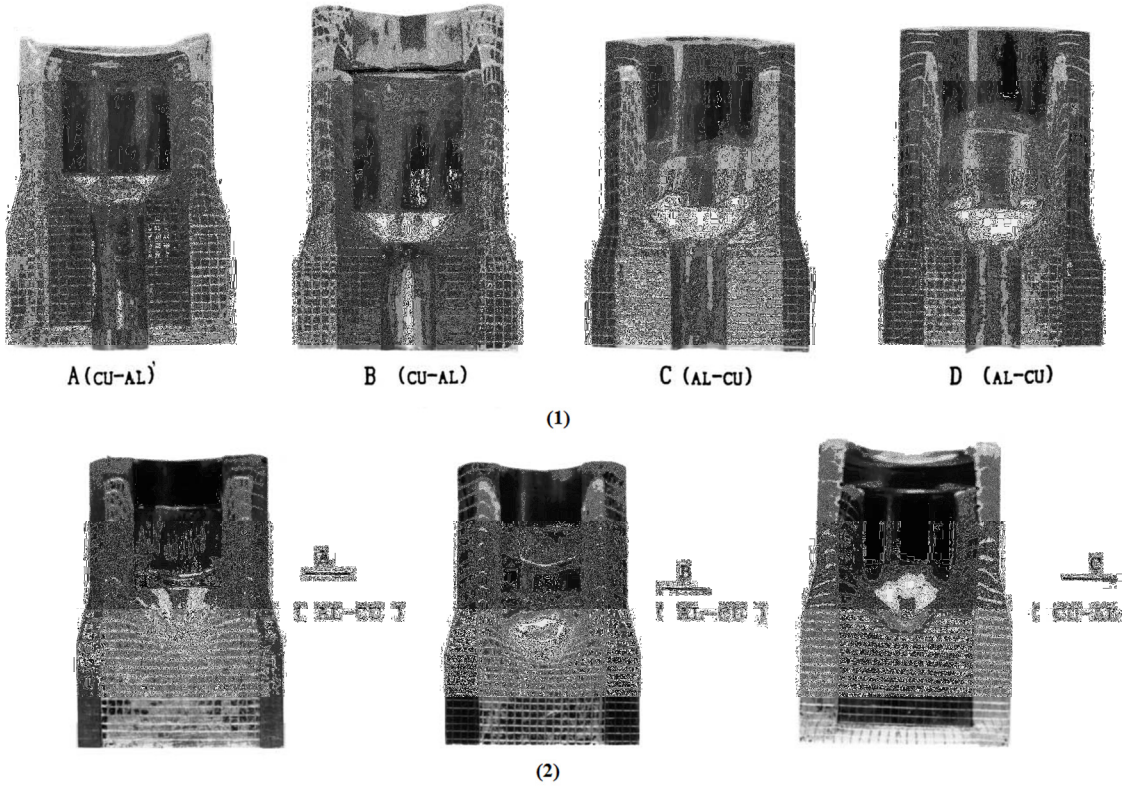
Şekil 3.5: 'Study of the hot forging of weld cladded work pieces using upsetting tests' isimli makalede üretilen bimetalik malzeme benzeri parça; (a) Parçanın bimetalik malzeme davranışı gösteren kısmının kesidi, (b), (c), (d) sırasıyla yivli, düz ve yağlanmış düz kalıpta 1050 C sıcaklıkta %70 boy azalması sonrasındaki görünümleri

'A generalized spherical velocity field for bi-metallic tube extrusion through dies of any shape' adlı çalışmada dönen silindirik şekilli bir merdane ile herhangi bir şekle sahip kalıp boyunca bimetalik boruların ekstrüzyon işlemini analiz etmek için üst sınır yaklaşımı kullanılmıştır. İç güç, toplam güç, sürtünme ve hız düzensizlik yüzeylerine giden gücü değerlendirmek için küresel koordinat sistemleri kullanılarak genelleştirilmiş kinematik olarak izin verilen hız alanları geliştirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi ayrıca sonlu elemanlar analizi yapan bir simülasyon programında da tasarlanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. (Şekil 3.6)[11]



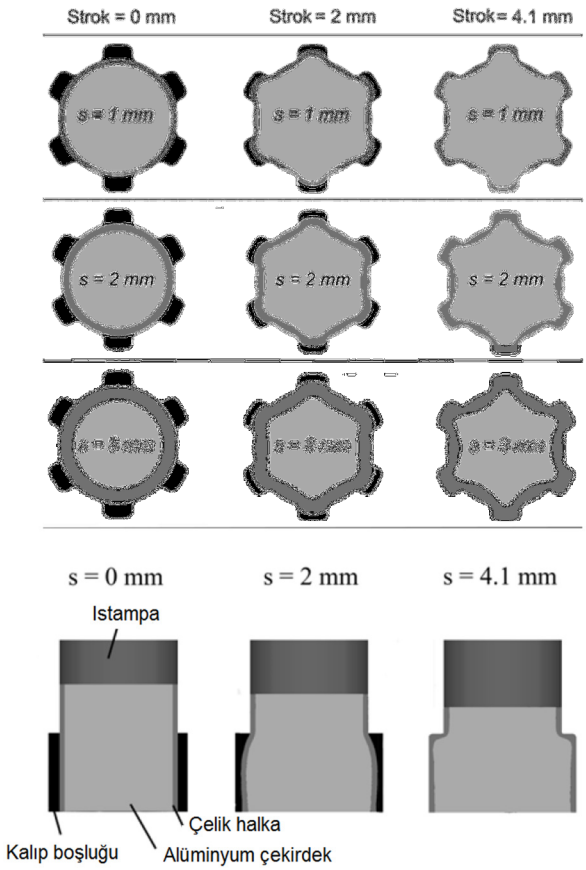
Şekil 3.6: 'A generalized spherical velocity field for bi-metallic tube extrusion through dies of any shape' isimli çalışmada; (a) ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi, (b) ekstrüzyon işleminin simülasyon programında tasarımı

'Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes: some experiments using hollow billets and the application of a generalised slab method of analysis' ve 'Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes from solid circular billets: application of generalised upper bound analysis and some experiments' isimli benzer çalışmaların birincisinde, alüminyum ve bakır kullanılarak profilli şekillendirilmiş kalıplar boyunca bimetalik boruların üretilmesi sırasında oluşan basınç, malzeme akışı ve şekil değiştirme karakteristiği hem slab metodu hem de deneysel olarak araştırılmıştır. İkincisinde ise birinci çalışmaya farklı bir açıdan yaklaşılmış ve üst sınır tekniği kullanılarak içi boş borular elde etmek amacı ile içi dolu silindirik parçaların ekstrüzyonu için gerekli basınç elde edilmiştir. İlk çalışmada slab metodu ile bulunan değerler ile üst sınır metodu ile bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar yine deneysel çalışma ile desteklenmiştir. Sonuç olarak her iki çalışmada da makul değerler elde edilmiştir.(Şekil 3.7)[12, 13]



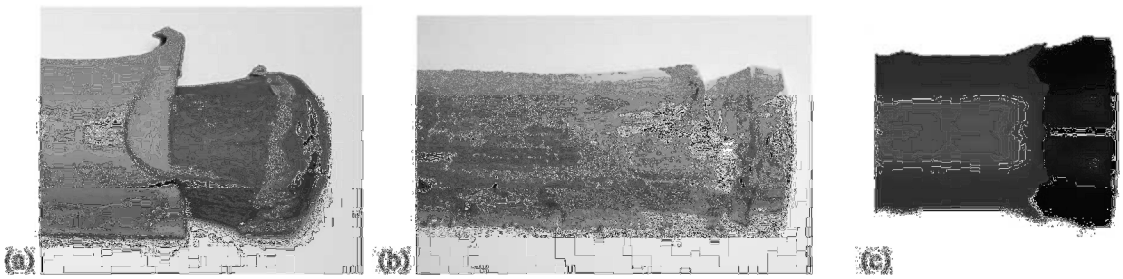
Şekil 3.7: (1)'Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes: some experiments using hollow billets and the application of a generalised slab method of analysis' isimli çalışmada üretilen bimetalik borular, (2) 'Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes from solid circular billets: application of generalised upper bound analysis and some experiments' isimli çalışmada üretilen bimetalik borular

'Numerical analysis of bi-metallic extrusion of gear-like components' isimli çalışmada çelik ve alüminyum kullanılarak üretilen dişli benzeri bimetalik parçaların simülasyon programı yardımı ile nümerik analizi gerçekleştirilmiştir. Çelik dış halkanın kalınlığı değiştirilerek malzeme akışına ve şekillendirme kuvvetine etkisi araştırılmıştır. (Şekil 3.8)[14]



Şekil 3.8: 'Numerical analysis of bi-metallic extrusion of gear-like components' isimli çalışmada çelik-alüminyum dişli benzeri bimetalik parçanın oluşumu

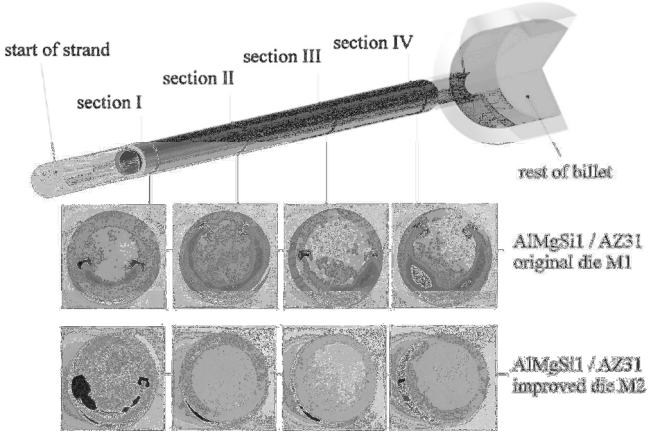
'Bi-metal rod extrusion- process and product optimization' isimli çalışmada bimetalik boru ekstrüzyonu işlemi esnasında parça geometrisinin ilk durumunun ürün geometrisi üzersert indeki etkileri hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılmıştır. Bimetalik bir parçanın içteki malzeme uzunluğunun ekstrüzyon öncesi hali optimize edilmiştir.(Şekil 3.9)[15]



Şekil 3.9: 'Bi-metal rod extrusion- process and product optimization' isimli çalışmada sert dış kabuk ve yumuşak iç malzemeden oluşan bimetalik borunun parçalı

ekstrüzyonunun modellemelerinin karşılaştırılması, (a) plastisin ile modelleme, (b) alüminyum alaşımları ile modelleme, (c) Deform 3D programında modelleme

'A numerical criterion for quality prediction of bimetal strands' isimli çalışmada dış malzeme olarak alüminyum, iç malzeme olarak magnezyum kullanılan bimetalik parçanın hidrostatik ortak ekstrüzyon işlemine maruz kalması ve sonucunda elde edilen ürünün kalitesi araştırılmıştır. Özellikle Şekil 3.10'de gösterilen ürünün ara yüzündeki mekanik kararlılık bu çalışmada özellikle üzerinde durulan konu olmuştur[16].



Şekil 3.10: 'A numerical criterion for quality prediction of bimetal strands' isimli çalışmada iki farklı kalıp modeline göre yapılan hidrostatik ekstrüzyon işlemi sonucu elde edilen ara yüz kalitesinin karşılaştırılması

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

4.1 Kullanılan deney malzemesinin boyutları ve özellikleri

Bimetalik malzemeler mevcut üretim dünyasında kullanılan tüm metal ve alaşımlardan elde edilebilir. Akma ve maksimum gerilmeleri, süneklik ve gevreklikleri göz önüne alınarak çeşitli malzeme kombinasyonları yapılmaktadır. Bakır, nikel, çelik ve pirinç en çok kullanılan metal ve alaşımlar arasındadır. Bu tez çalışmasında da özellikleri Şekil 4.1'de verilen 1020 çeliği, saf bakır ve pirinç(CuZn40Pb2) kullanılarak iki farklı model bimetalik malzeme üretilmiştir.

1020 çeliği (SAE 1020)	**C(%)**	**Fe(%)**	**Mn(%)**	**P(%)**	**S(%)**
	0,17-0,23	99,08-99,53	0,3-0,6	≤0,04	≤0,05

Pirinç(CuZn40Pb2)	**Cu%**	**Zn**	**Pb%**	**Al%**	**Fe%**	**Ni%**	**Sn%**	**Diğer**
	57-59	K	1,6-2,5	0,05	0,3	0,3	0,3	0,2

Bakır(Cu)	**Cu%**	**O%**
	99,9	0,04

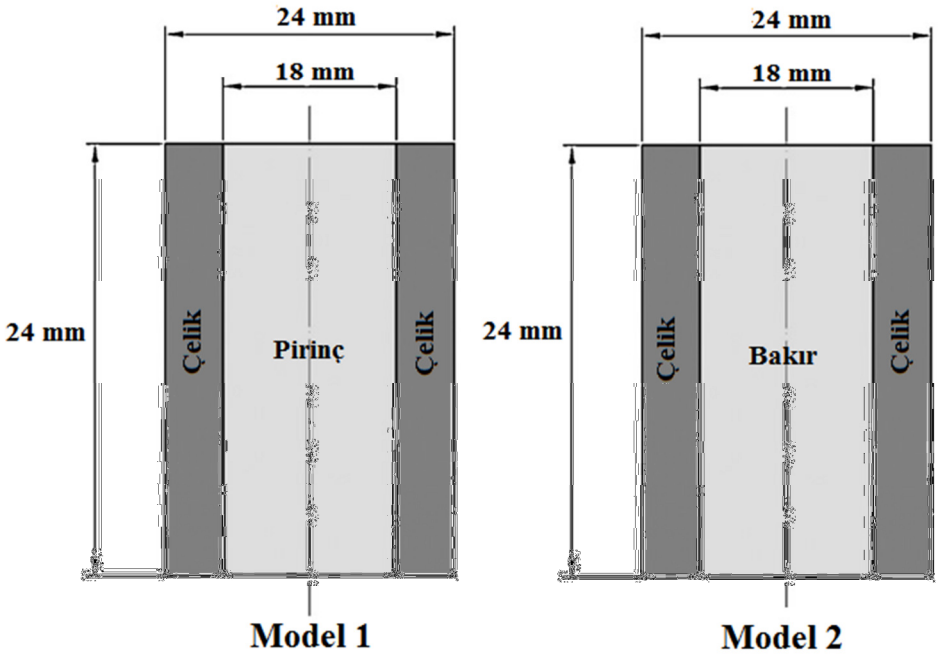
Şekil 4.1: Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

Mevcut tez çalışması için yukarıda özellikleri verilen malzemelerin seçilmesinin nedenlerine gelince; 1020 çeliği düşük karbon oranı ve akma sınırının diğer çeliklere nazaran daha küçük olması sebebiyle kolay şekil verilebilen bir malzemedir. Ancak

1020 çeliğini bu deney için elverişli yapan en önemli etmen ucuzluğu ve piyasada kolaylıkla bulunabilir olmasıdır.

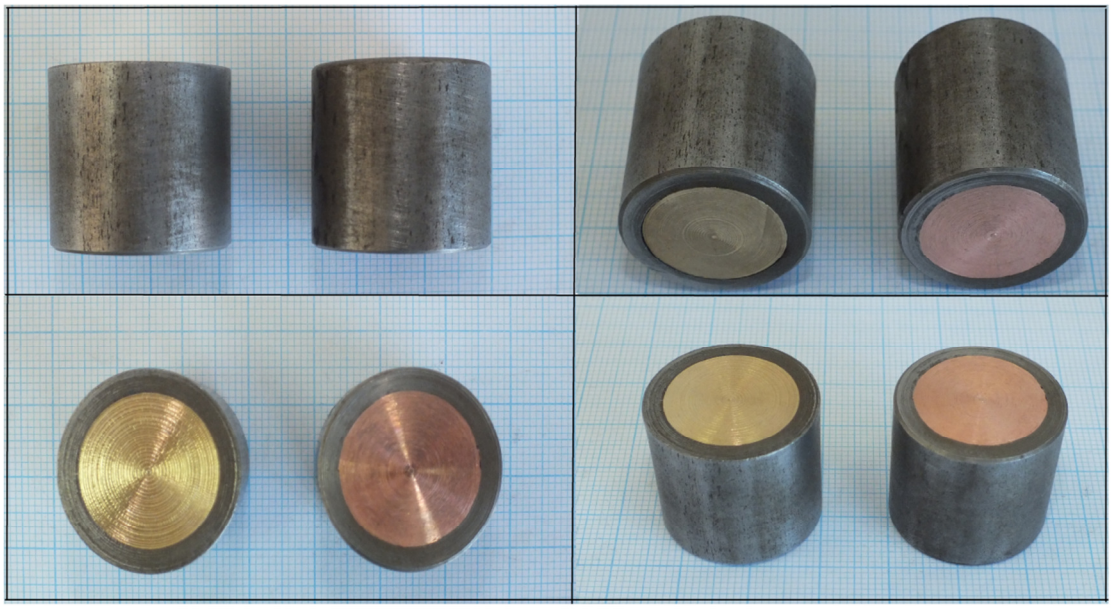
Bakır ve pirinç ise benzer özellikleri söylemek mümkündür. Pirincin bir bakır alaşımı olması sebebiyle mekanik özellikleri genellikle bakır gibidir. Tahmin edilebileceği gibi bu iki malzemenin seçim kriteri olarak en başta kolay işlenebilirlik özellikleri gelmektedir. Korozyon direnci, elektrik ve ısı iletkenliği, kayma sürtünme özelliğinden ötürü yatak vb. ürün olmaya yatkınlıkları diğer önemli özellikleridir. İki malzemeyi birbirinden ayıran etken ise süneklik ve gevreklikleridir. Bakır oldukça sünek, bir bakır alaşımı olan pirinç ise bakıra nazaran gevrek bir malzemedir. Bu sebeple akma gerilmeleri birbirinden çok farklı ayrıca çekme eğrileri değişkenlik göstermektedir. Bu özellikleri her iki malzemeyi farklı uygulamalar için talep edilir yapmaktadır.

Malzemelerin bir önceki paragrafta anlatılan özelliklerinden yola çıkılarak iki farklı model Şekil 4.2'de verilen teknik resimdeki ölçülere ve malzeme kombinasyonlarına göre tasarlanmıştır. Tezin amaçlarından biri içte kalan malzemenin dıştaki(ring) malzeme ile etkileşimi olduğundan akma gerilmeleri ve süneklikleri birbirinden farklı bakır ve pirinç malzemeler iç kısımda, çelik malzeme ise dışta bırakılmıştır.



Şekil 4.2: Tasarlanan bimetalik malzeme modelleri

Yukarıda özellikleri verilen malzemelerden 24 mm çapa sahip profiller 24 mm uzunluğunda testere yardımı ile kesilerek kabaca 3 farklı içi dolu silindirik numuneler oluşturulmuştur. Model 1 için 1020 çeliği içine bakır malzeme, Model 2 için ise yine 1020 çeliği için pirinç malzeme tasarlandığından çelik silindirik numunelere 18 mm çapında delikler açılmıştır. Torna yardımı ile bakır ve pirinç silindirik numunelerin çapları 18 mm' ye düşürülmüştür. Gerekli toleranslar verildikten sonra bakır ve pirinç numuneler pres yardımıyla sıkı geçme yöntemi ile birleştirilerek deney için gerekli bimetalik numuneleri oluşturmuşlardır. Son işlem olarak kalıplar ile bimetalik malzeme arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek amacıyla çapta ve boyda çok büyük bir değişiklik yapmayacak şekilde ince tornalama işlemi yapılmıştır. Elde edilen iki farklı modelin dövme işlemi uygulanmadan önceki son hali Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

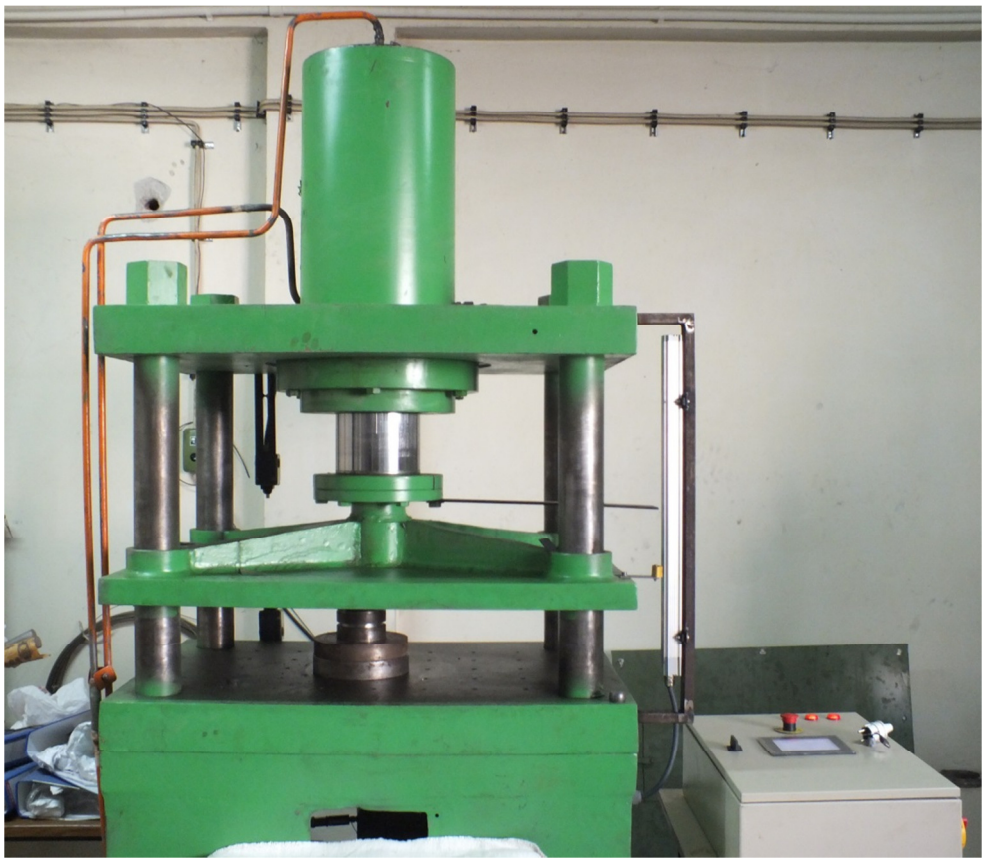


Şekil 4.3: Deneysel çalışma için sıkı geçme yöntemi ile üretilen bimetalik malzemeler

4.2. Deneysel Çalışma

Yukarıda üretimi anlatılan bimetalik malzemelerin deneysel olarak dövme prosesinin uygulanması için hidrolik pres kullanılmıştır. Hidrolik presler yük kısıtlı makineler grubunda olup, dövme işlemi kabiliyetleri yük ile maksimum yük ile kısıtlanmıştır. Strok boyunca her durumda maksimum yük elde edilebileceğinden bütün strok boyunca sabit yük gerektiren dövme tipi şekillendirme işlemleri için en uygun

cihazlardır. Elle kontrol edilen preslerde genellikle, hidrolik motorun çalışmasını sağlayan iki adet buton bulunur. Öncelikle ana motor çalıştırılır. Sonrasında hareketli olan üst koçu aşağı ya da yukarı hareket ettiren butonlar kullanılarak, koç uygun konuma getirilir. Koçun hareketini sağlayan pistona iletilen hidrolik yağın basınç değeri bir manometre ile okunarak uygulanan kuvvet ile ilgili fikir sahibi olunur. Bu tez çalışmasında elle kontrol sağlanan Mühendislik Fakültesi atölyesinde bulunan 150 ton kapasiteli 5 mm/sn koç sabit hıza sahip hidrolik pres kullanılmıştır. Kullanılan hidrolik presin resmi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Deneyin yapıldığı hidrolik pres

Mevcut pres bilgisayar kontrollü olup kuvvet-strok değerleri gibi deney parametrelerini her deney için ayrı ayrı dosyalara kaydedip deneyin güvenli bir şekilde gerçekleşmesini ve değerlerin doğru bir şekilde okunmasını sağlamaktadır. Presin kontrol panosu Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Hidrolik presin kontrol panosu

Deney parçalarının kalıplar arasına konumlandırılması Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Kuvvetin parça üzerinde daha rahat bir şekilde dağılması için alt kalıp desteklenmiştir. Prese 0.1 mm step kontrollü stroklarda 5 mm/sn sabit hızla dövme işlemi uygulanmıştır. Kalıplar arasındaki sürtünme katsayısını olabildiğince düşürmek adına kalıplar ince tornalama işleminden geçirilmiş ve ince zımpara uygulanmıştır.

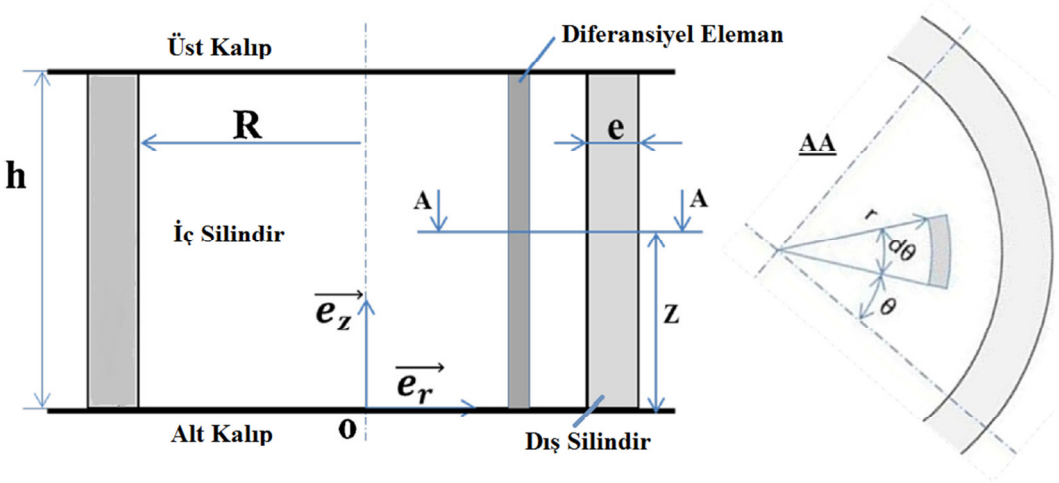


Şekil 4.6: Parçanın kalıp arasına konumlandırılması

Deneysel çalışma için 3 farklı redüksiyon değeri düşünülmüştür. Parçalar %15 yani 3,6 mm, %30 yani 7,2 mm ve %40 yani 9,6 mm uzunlukta azalma olacak şekilde dövme işlemine maruz bırakıldıktan sonra elde edilen malzeme akışı ve kuvvet değerleri sonuçlar bölümünde tartışılmıştır.

4.3. Analitik hesaplama

Mevcut tez çalışmasında açık kalıpta dövme işlemi analitik ve numerik olarak da incelenmiştir. Dövme yükünü tahmin etmek ve diğer parametrelerin etkisini görmek amacıyla slab metodu uygulanarak analitik çözümleme yapılmıştır. Şekil 4.7'de bimetalik bir malzemeye slab metodunun uygulanması için gerekli ön hazırlıklar gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Parçaya Slab metodunun uygulanması

Slab metodu uygulanırken parça silindirik olarak simetrik kabul edilmiş ve bu sebeple aşağıdaki gibi bir hız alanına ihtiyaç duyulmuştur.

$$\vec{v}(r,z) = v_r(r,z)\overrightarrow{e_r} + v_z(r,z)\overrightarrow{e_z} \quad (4.1)$$

Parçanın dövme işlemi boyunca da silindirik olarak simetrik olduğu kabul edilmiş olduğundan yanal genişleme ihmal edilmiştir. Parça sıcaklığı işlem boyunca sabit ve uniform varsayılmıştır. Kalıpların ısıl değişimi ve enerji dağılımı da ihmal edilmiştir. Bu kabul ve ihmallere göre, kütlenin korunumu kanununa göre hız alanı aşağıdaki hale gelmiştir.

$$\vec{v}(r,z) = -\frac{r}{2}.\frac{\dot{h}}{h}\overrightarrow{e_r} + z.\frac{\dot{h}}{h}\overrightarrow{e_z} \tag{4.2}$$

Plastik genleme $\boldsymbol{\varepsilon^p}$ ve plastik genleme oranı $\boldsymbol{\dot{\varepsilon}^p}$ parça boyunca uniformdur ve ilgili denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\boldsymbol{\varepsilon^p} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \ln\left(\frac{h}{h_0}\right) \tag{4.3}$$

$$\boldsymbol{\dot{\varepsilon}^p} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left(\frac{\dot{h}}{h}\right) \tag{4.4}$$

Burada h ve h_0 sırasıyla parçanın anlık ve ilk uzunluğudur. $\boldsymbol{\dot{h}}$ ise dövme hızıdır. Analitik çözüm için Von Mises plastisite kriteri benimsenmiştir. Bu durum için, fark gerilmeleri genleme oranına benzemekte ve eşdeğer gerilme malzemenin akma gerilmesine eşittir. Gerilme tensörü σ ve fark gerilme tensörü s aşağıda silindirik koordinatlar referans alınarak verilmiştir.

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\sigma_{rr}} & \boldsymbol{\tau_{r\theta}} & \boldsymbol{\tau_{rz}} \\ \boldsymbol{\tau_{r\theta}} & \boldsymbol{\sigma_{\theta\theta}} & \boldsymbol{\tau_{\theta z}} \\ \boldsymbol{\tau_{rz}} & \boldsymbol{\tau_{\theta z}} & \boldsymbol{\sigma_{zz}} \end{pmatrix} \tag{4.5}$$

$$\mathbf{s} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3}\boldsymbol{\sigma_{rr}} - \frac{1}{3}(\boldsymbol{\sigma_{\theta\theta}} + \boldsymbol{\sigma_{zz}}) & \boldsymbol{\tau_{r\theta}} & \boldsymbol{\tau_{rz}} \\ \boldsymbol{\tau_{r\theta}} & \frac{2}{3}\boldsymbol{\sigma_{\theta\theta}} - \frac{1}{3}(\boldsymbol{\sigma_{rr}} + \boldsymbol{\sigma_{zz}}) & \boldsymbol{\tau_{\theta z}} \\ \boldsymbol{\tau_{rz}} & \boldsymbol{\tau_{\theta z}} & \frac{2}{3}\boldsymbol{\sigma_{zz}} - \frac{1}{3}(\boldsymbol{\sigma_{rr}} + \boldsymbol{\sigma_{\theta\theta}}) \end{pmatrix} \tag{4.6}$$

Plastisite kriterine göre s matrisinin plastik genleme oranı $\boldsymbol{\dot{\varepsilon}^p}$ ile orantılı olduğu kabul edilir. Bu sebeple;

$$\boldsymbol{\tau_{r\theta} = \tau_{rz} = \tau_{\theta z} = 0} \text{ ve } \boldsymbol{\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta}} \tag{4.7}$$

Bunun sonucunda gerilme tensörü aşağıdaki gibi basitleştirilir.

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\sigma_{rr}} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{\sigma_{rr}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \boldsymbol{\sigma_{zz}} \end{pmatrix} \tag{4.8}$$

Plastisite kriterine göre eşdeğer gerilme malzemenin akma sınırı olan σ_0 değerine eşit olmalıdır. Böylece bir önceki matris aşağıdaki hale gelir.

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\sigma_{rr}} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \boldsymbol{\sigma_{rr}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \boldsymbol{\sigma_{rr} - \sigma_0} \end{pmatrix} \tag{4.9}$$

Burada σ_0 malzemenin akma gerilmesi ve σ_{rr} de $\overrightarrow{e_r}$ yönünde normal gerilmedir. Bu ilişki parçanın yataydaki yüzeyinin serbest halde olduğu(σ_{rr}=0) düşünüldüğünde ve $\overrightarrow{e_z}$ yönündeki normal gerilme σ_{zz} nin negatif olduğu durumda geçerlidir.

Statiğin temel prensibi slab metotu tarafından belirlenen alana uygulanırsa;

$$\mathbf{r \in [r;\ r+dr],}$$
$$\mathbf{\theta \in [\theta - d\theta/2;\ \theta + d\theta/2],} \tag{4.10}$$
$$\mathbf{z \in [0,\ h]}$$

kabulleri için $\overrightarrow{e_r}$ yönündeki denge durumu düşünüldüğünde;

$$(\boldsymbol{\sigma_{rr} + d\sigma_{rr}})(\boldsymbol{r + dr}).\boldsymbol{h}.\boldsymbol{d\theta} - \boldsymbol{\sigma_{rr}}.\boldsymbol{r}.\boldsymbol{h}.\boldsymbol{d\theta} -$$
$$\mathbf{2}\boldsymbol{\sigma_{rr}}\boldsymbol{h}.\boldsymbol{dr}.\boldsymbol{sin}\frac{\boldsymbol{d\theta}}{\mathbf{2}} - \mathbf{2}\boldsymbol{\tau}.\boldsymbol{r}.\boldsymbol{dr}.\boldsymbol{d\theta} = \mathbf{0} \tag{4.11}$$

elde edilir. Burada τ takım ile iş parçası ara yüzündeki sürtünmeden dolayı meydana gelen teğetsel kuvvettir. τ negatif ve malzemenin kalıp üzerindeki harketine ters yöndedir. Yukarıdaki denklem düzenlenirse;

$$\boldsymbol{d\sigma_{rr}} = -\mathbf{2}\frac{\boldsymbol{\tau}}{\boldsymbol{h}}\boldsymbol{dr} \tag{4.12}$$

haline gelir. Bu iki boyutlu analiz için Coulomb sürtünmesi olduğu varsayılmıştır. Bu sebeple sürtünmeden dolayı meydan gelen teğetsel kuvvetin karşılığı aşağıdaki gibidir.

$$\boldsymbol{\tau} = -\mu\boldsymbol{\sigma_n} \tag{4.13}$$

Slab metotunda gerilme alanı parça boyunca üniform kabul edilir. σ_{zz} gerilmesi temas basıncının tersine etkir. Bu koşullar düşünüldüğünde ve yukarıdaki iki denklem birleştirildiğinde bimetalik silindirik parçanın hem içindeki hem de dışındaki malzeme için aşağıdaki genel denklem elde edilir.

$$\frac{\boldsymbol{d\sigma_{zz}}}{\boldsymbol{\sigma_{zz}}} = -\mathbf{2}\frac{\mu}{\boldsymbol{h}}\boldsymbol{dr} \tag{4.14}$$

Her iki malzeme için de aşağıda verilen aralıklar için bu genel denklem çözülürse;

$$\boldsymbol{r\epsilon[0, R]} \qquad \boldsymbol{\sigma_{zz}} = \mathbf{C_1}.\boldsymbol{e}^{\left(-\mathbf{2}\frac{\mu_i}{\boldsymbol{h}}\boldsymbol{r}\right)}$$
$$\boldsymbol{r\epsilon[R, R+e]} \quad \boldsymbol{\sigma_{zz}} = \mathbf{C_2}.\boldsymbol{e}^{\left(-\mathbf{2}\frac{\mu_d}{\boldsymbol{h}}\boldsymbol{r}\right)} \tag{4.15}$$

Burada e bimetalik malzemenin dış halkasının kalınlığı, R ise içteki silindirin yarıçapıdır. μ_i ve μ_d ise kalıp malzemesi ile sırasıyla içteki malzeme ve dıştaki malzeme arasındaki sürtünme katsayılarıdır. C_1 ve C_2 ise denklemlerin çözümlerinden elde edilen integrasyon sabitleridir.

Dış yüzeydeki ve iç silindir ile dış silindir arasındaki sınır koşulları yazılacak olursa;

$$\boldsymbol{\sigma_{rr}(R+e)=0}$$
$$\boldsymbol{\|\sigma_{rr}\|_{r=R}=0} \tag{4.16}$$

$\boldsymbol{\|\sigma_{rr}\|_{r=R}}$ iç ve dış silindirik parça ara yüzündeki süreksizlik fonksiyonudur. Bu iki sınır şartını kullanarak C_1 ve C_2 sabitlerini;

$$\mathbf{C_2} = -\boldsymbol{\sigma_d}.\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu_d}{h}(R+e)\right)}$$
$$\mathbf{C_1} = (\boldsymbol{\sigma_d}\left(\mathbf{1}-\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu_d}{h}e\right)}\right)-\boldsymbol{\sigma_i})\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu_i}{h}R\right)} \tag{4.17}$$

olarak bulunur. Burada σ_i ve σ_d sırasıyla içteki ve dıştaki malzemenin akma gerilmeleridir.

Dövme yükü, kalıplar ile parça arasındaki alan boyunca temas basıncının integrali alınarak aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\boldsymbol{F=2\pi\int_0^{R+e}-\sigma_{zz}rdr=2\pi\int_0^{R}-\mathbf{C_1}.e^{\left(-2\frac{\mu_i}{h}r\right)}dr+}$$
$$\boldsymbol{2\pi\int_R^{R+e}-\mathbf{C_2}.e^{\left(-2\frac{\mu_d}{h}r\right)}} \tag{4.18}$$

Sürtünme katsayıları μ_i ve μ_d'nin birbirine eşit olduğu ve μ değerini aldığı kabul edilecek olursa F dövme kuvveti aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\boldsymbol{F=\frac{\pi h}{2\mu^2}\Big\{h\mathbf{C_1}+e^{\left(-2\frac{\mu R}{h}\right)}(\mathbf{C_1}+\mathbf{C_2})(h+2\mu R)}$$
$$\boldsymbol{-e^{\left(-2\frac{\mu(R+e)}{h}\right)}\mathbf{C_1}(h+2\mu(R+e))\Big\}} \tag{4.19}$$

R ve e değerleri parçanın ilk boyutlarının(h_0, e_0, R_0) birer fonksiyonudur. Kütlenin korunumu kanununa göre aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\boldsymbol{R=R_0\sqrt{\frac{h_0}{h}}} \qquad \boldsymbol{e=e_0\sqrt{\frac{h_0}{h}}} \tag{4.20}$$

Bu tez çalışmasında deneysel olarak hesaplanan maksimum dövme kuvveti değerini teorik olarak da hesaplamaya yardımcı olan yukarıdaki denklemde kullanılacak değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1: Analitik hesaplamada kullanılacak değerler

μ	0.1
h_0	24 mm
R_0	9 mm
e_0	3 mm
σ_i(bakır)	275 MPa
σ_i(pirinç)	250 MPa
σ_d(çelik)	295 MPa

Verilen bu değerlere göre hesaplanan kuvvet değerleri sonuçlar bölümünde deneysel çalışmadan alınan değerler ile karşılaştırılacaktır.

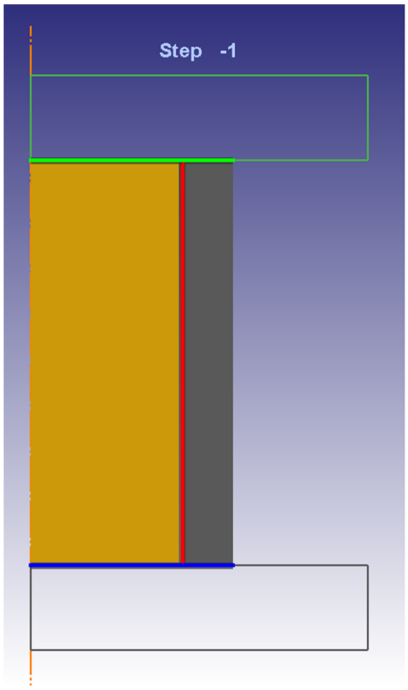
Elde edilen son denkleme göre dövme yükü aşağıdaki 3 faktörün fonksiyonudur.

- Parçanın ilk boyutları(h_0, e_0, R_0)
- Kalıp ile parça arasındaki sürtünme katsayısı
- Bimetalik malzemeyi oluşturan her iki malzemenin de akma gerilmesi

4.4. FEM Simulasyonu

Mevcut tez çalışmasında dövme işlemi uygulanan bimetalik malzemenin şekil değiştirme davranışının tahmini için Deform 3D programı kullanılarak problem modellenmiş ve sonuçlar deneysel çalışmada elde edilen yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Dövme işlemi parçanın silindirik olmasından dolayı eksenel simetrik olduğundan parçanın yarısı modellenmiştir. İki boyutlu olması problemi hem basit hale getireceğinden hem de üç boyutta mesh oluşturmada dolayısıyla programın sağlıklı sonuçlar vermesinde sorunlara yol açacağından parça iki boyutlu olarak Şekil 4.8'de gösterildiği gibi modellenmiştir. Sarı renkli kısım içteki malzemeyi, gri renkli kısım dıştaki malzemeyi, üst ve alttaki şeffaf çerçeveler ise kalıpları temsil etmektedir.

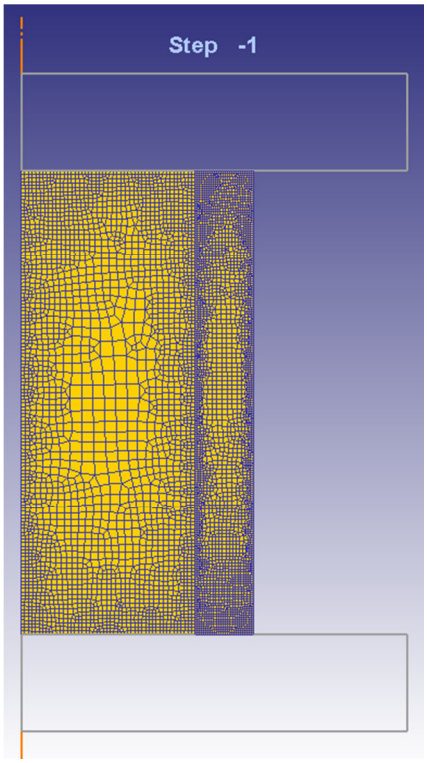


Şekil 4.8: Deform programında parçanın iki boyutta modellenmesi

İki boyutta modellenen parçaya sonrasında özellik atamaları yapılır. Programın malzeme kütüphanesinden deneysel çalışmada kullanılan değerlere yakın değerde olan malzemeler seçildikten sonra geometri üzerinden bu malzemeler eşlenir. Kalıp için herhangi bir malzeme kullanılmamış, kalıplar rijit kabul edilmiştir.

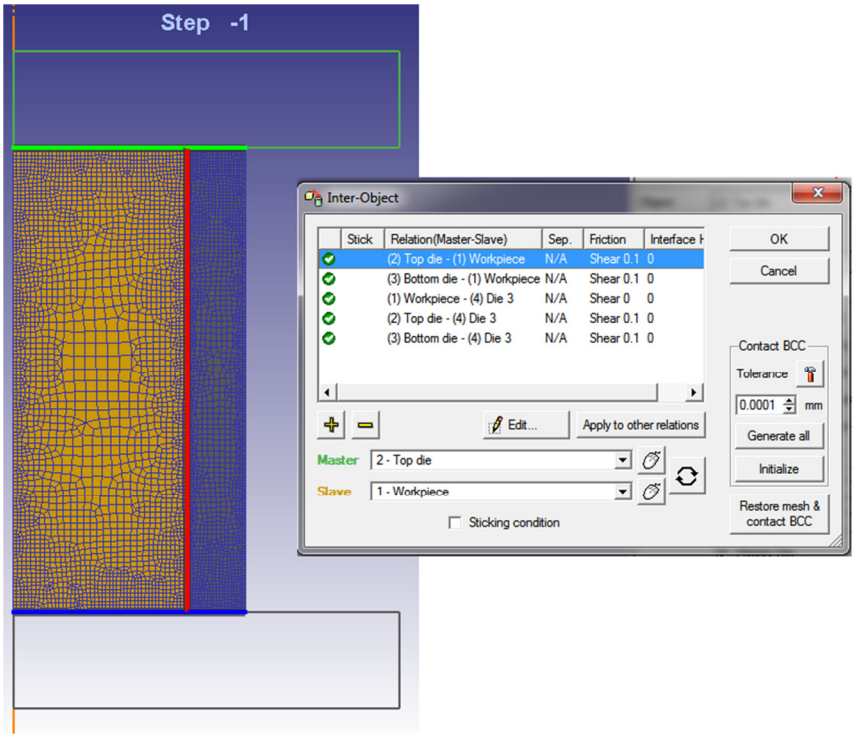
Üst kalıbın hız kontrollü olacağı seçilerek deneysel çalışma ile aynı ortamı yaratmak adına üst kalıbın hızı 5 mm/s olarak girilir.

Malzeme atamasının ardından parçaların meshlenmesi işlemine geçilmiştir. Mesh için Deform programının içinde mevcut bulunan genelde eksenel simetrik parçalar için kullanılan 8-noktalı kuadratik CAX8R modeli kullanılmıştır. Element sayısı 3000 olarak belirlenmiştir. Parçaların meshlenmiş halleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



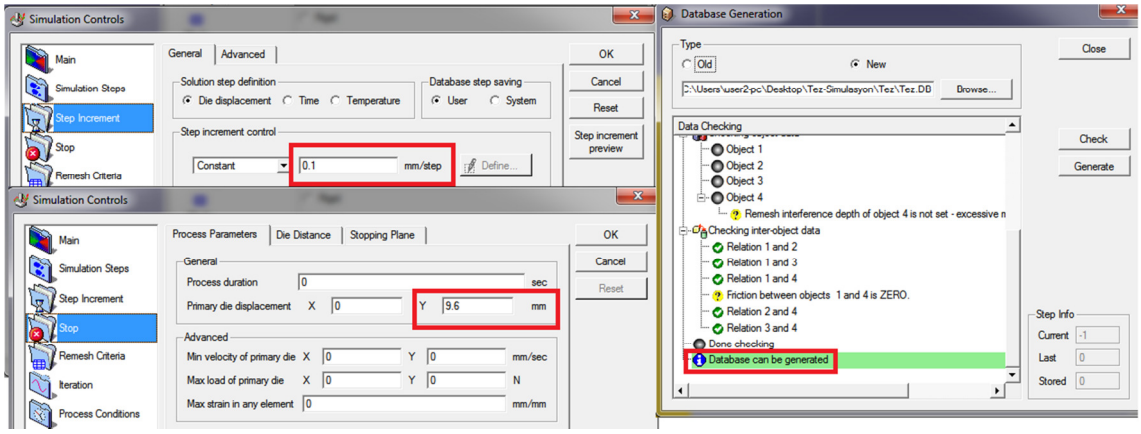
Şekil 4.9: İçteki ve dıştaki parçaların meshlenmesi

Meshleme işleminden sonra kalıp ile parça yüzeyleri ve parçaların ara yüzeylerindeki ilişkiler tanımlanır. Kalıp ile parçalar arasındaki sürtünme katsayısı 0.1 olarak kabul edilmiştir. İçteki ve dıştaki parça arasında sürtünme olmadığı kabul edilerek değer 0 alınmıştır. Sürtünmelerin tanımlanmış hali Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Yüzeyler arası ilişkilerin tanımlanması

En son işlem olarak step kontrolü, stop sınır değeri ve program çalışması için veri kontrolü gibi programın çalışmasını tamamlayan kriterler ayarlanır. Step kontrolü olarak üst kalıbın hareketi baz alınarak her 0.1 mm redüksiyonda programın kuvvet değerlerini kaydetmesi sağlanır. Stop sınır değeri olarak istenen redüksiyon değerine karşılık gelen mm değeri girilerek programın o değere ulaştığında durması için komut verilmiş olur. En son işlem olarak da bu zamana kadar girilen verilerin kontrolü yapılır ve kaydedilir. Bu işlemlerin yapılması Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: Programı koşturmadan önce yapılan işlemler

Bütün bu işlemler yapıldıktan sonra program koşturulur. Deform programı malzeme akışı hakkında genel bir bilgi verirken aynı zamanda kuvvet değişimleri, gerilme dönüşümleri ve dövme işlemi boyunca ortaya çıkan bütün durumları analiz eder. Bu tez çalışması için birçok program denedikten sonra en iyi sonuçları Deform programının verdiği görülmüş ve bu program tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde geniş bir şekilde açıklanacaktır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

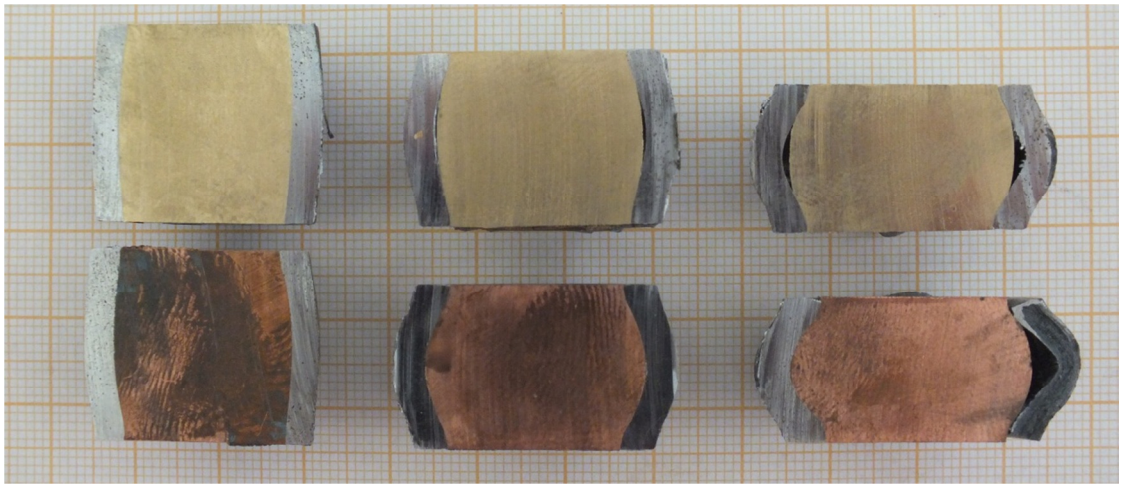
Bir önceki bölümde bu tez çalışmasına konu olan bimetalik parçalar 2 farklı model olarak tasarlanarak üretilmiş, dövme işlemi deneysel olarak uygulanmış, aynı koşullar ile analitik hesaplama ve FEM simülasyonu yaklaşımları yapılmıştır.

5 mm/s sabit hıza sahip hidrolik presin yardımı ile kalıplar arasında dövme işlemine tabi tutulan 2 farklı model olarak tasarlanıp üretilen bimetalik malzemelerin %15, %30 ve %40 redüksiyon sonucu görünüşleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Malzeme akışlarının daha iyi incelenebilmesi için parçalar orta düzlemlerinden ince testere yardımı ile kesilmiştir. Tüm redüksiyon değerleri için parçaların malzeme akışları Şekil 5.2'de gösterilmiştir. İçte bakır malzemenin bulunduğu Model 2'de malzeme akışının daha iyi olduğu ve içteki bakırın dıştaki çelik malzemeyi %40 redüksiyonda bile neredeyse tam olarak sıvadığı görülmektedir. Bunun aksine içte pirinç malzemenin bulunduğu Model 1'de ise malzeme akşının rahatlıkla sağlanmadığı ve pirinç ile çelik arasında boşluk meydana geldiği görülmüştür. Bu durumun meydana gelmesinin başlıca sebebinin pirinç malzemenin bakır malzemeden daha gevrek olması söylenebilir. Bakırın akma gerilmesi değerinin çeliğin akma gerilmesi değerine daha yakın olduğundan Model 2'de bakır ile çelik dövme kuvvetine bağlı olarak yakın değerde plastik şekil değişimine başlar ve şekildeki gibi bir malzeme akışı elde edilir. Tersi olarak da pirinç ile çelik malzemelerin akma gerilme değerleri arasında büyük bir fark olduğundan daha erken plastik şekil değişimine başlayan pirinç malzeme ara yüzde erken etkileşime girecek ve bunun sonucunda şekildeki gibi boşluklar ortaya çıkmaktadır.

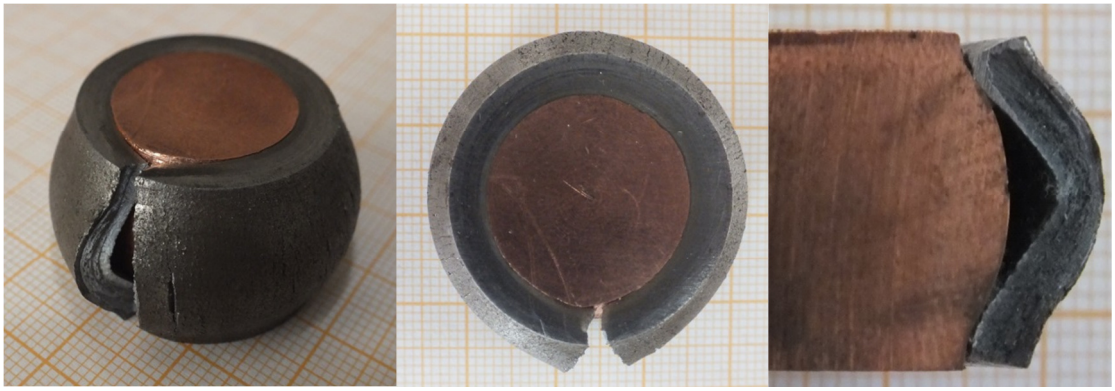


Şekil 5.1: Sol baştan itibaren basılmamış, %15; %30 ve %40 basılmış durumda bimetalik malzemelerin görünüşleri



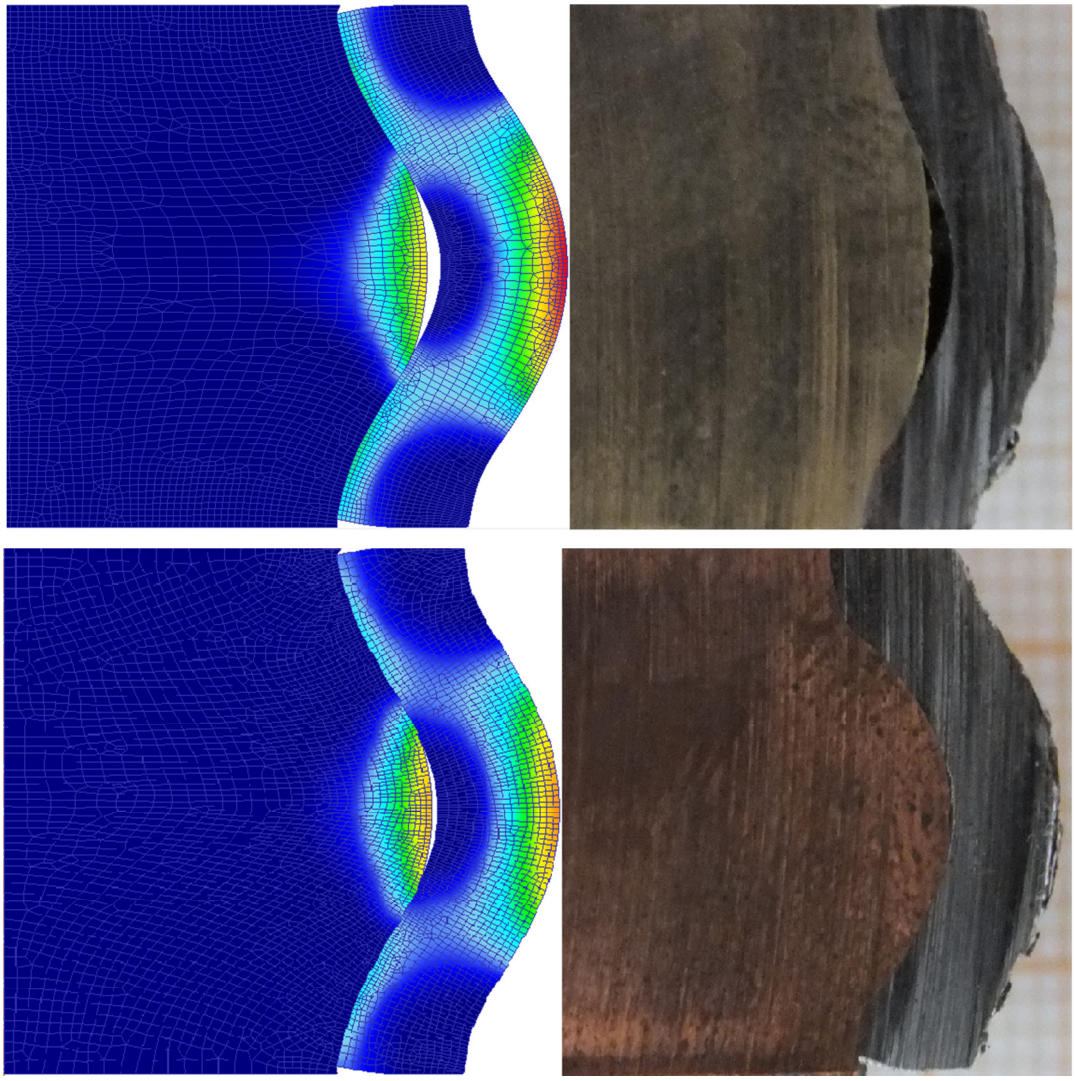
Şekil 5.2: Sol baştan itibaren %15, %30 ve %40 redüksiyon sonucu parça ara yüzlerinin durumu

Şekil 5.3'te dövme hızının şekil değişimine etkisi gösterilmektedir. %40 redüksiyon sonucunda Model 2 bimetalik malzemesinde dövme hızının yüksek olmasından ötürü dıştaki çelik malzemede yırtılma ve ayrılma meydana gelmiştir.

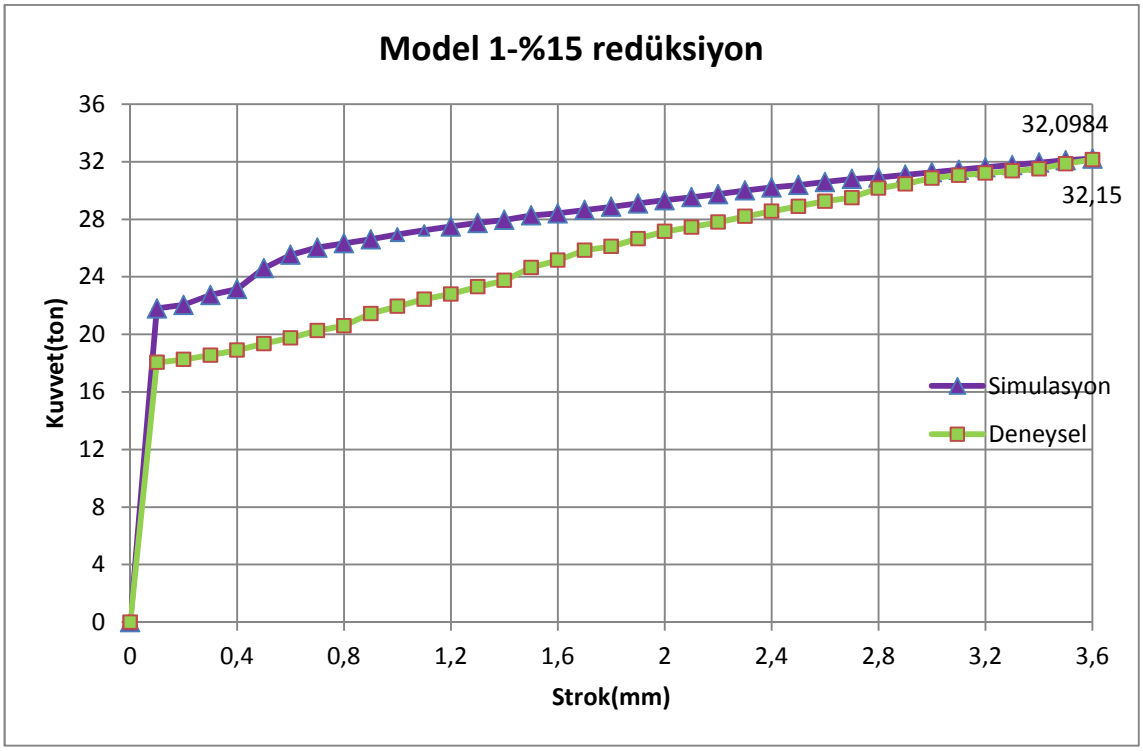


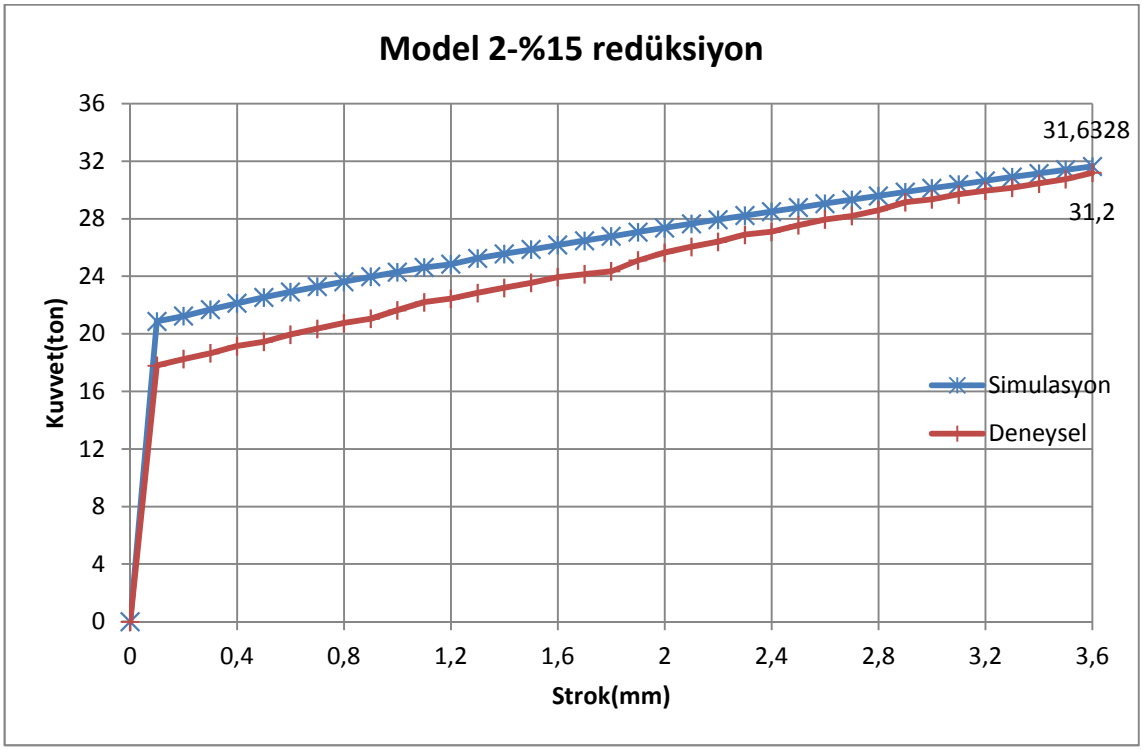
Şekil 5.3: Hidrolik pres hızına bağlı olarak malzemede oluşan yırtılma

Şekil 5.4'te ise FEM simülasyonu sonucu elde edilen şekil değişimi ile deneysel çalışma sonucu elde edilen malzeme akışı karşılaştırılmıştır. Görüleceği üzere FEM simülasyonu her iki model bimetalik malzeme için de deneysel çalışmaya çok yakın sonuçlar ve benzer malzeme akışları elde edilmiştir.

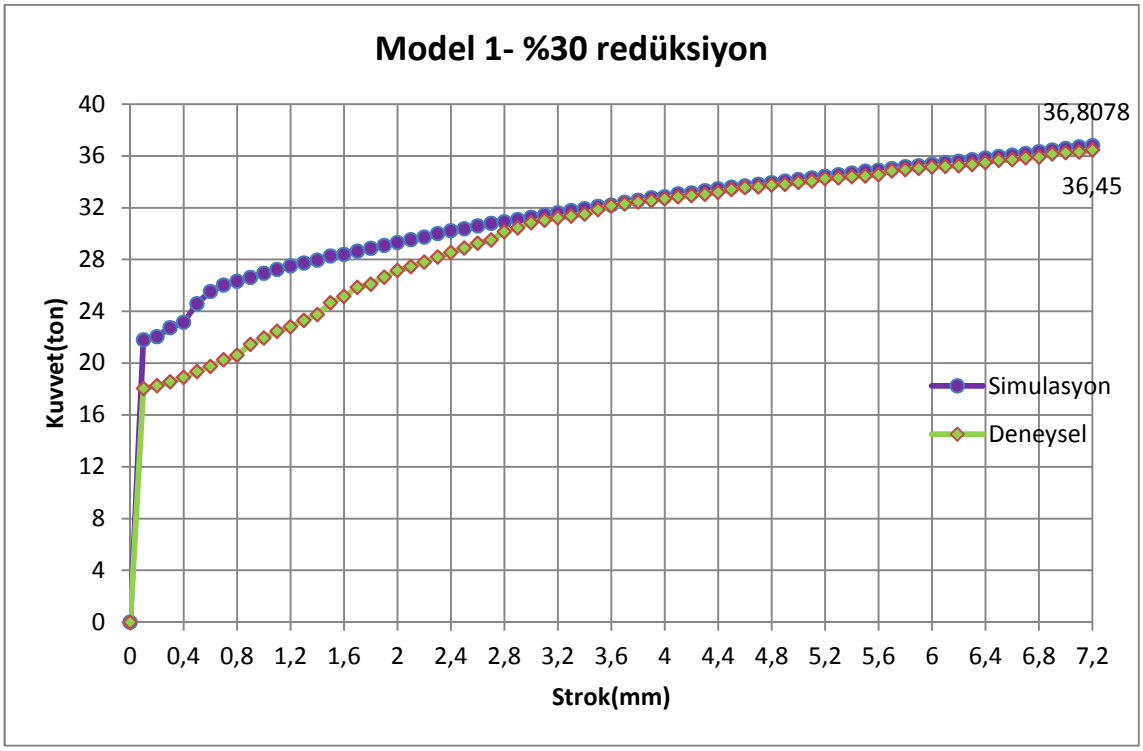


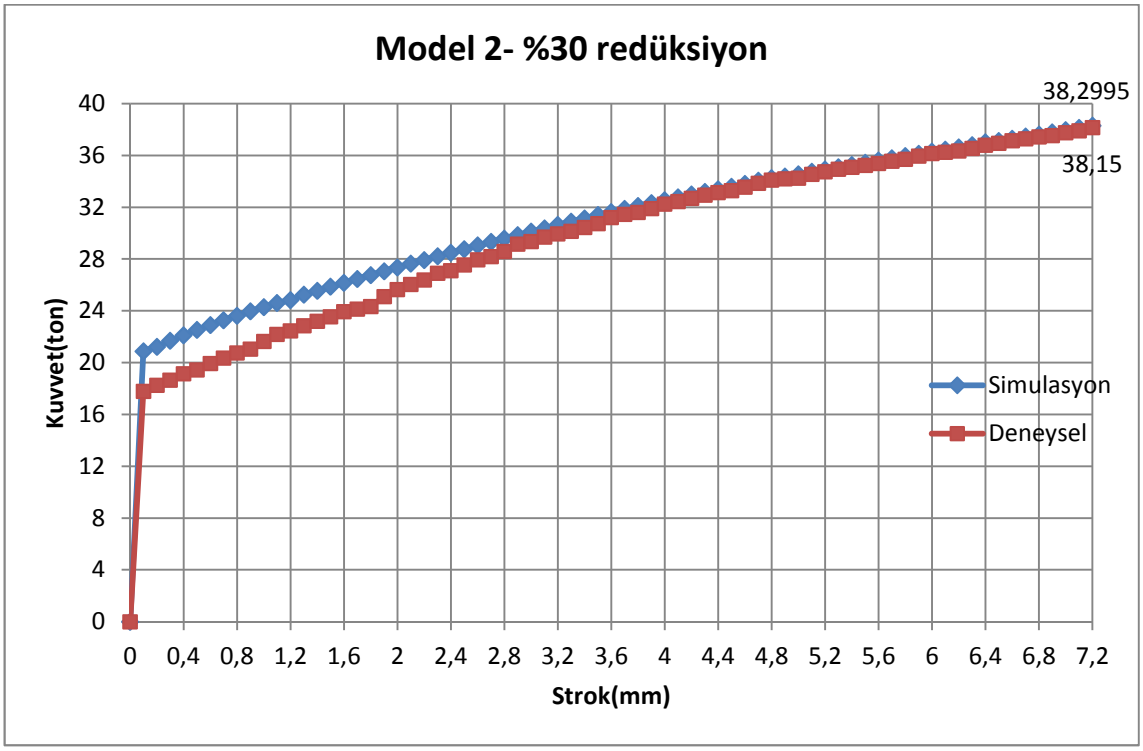
Şekil 5.4: FEM simülasyonu ile deneysel çalışma sonucu elde edilen malzeme akışlarının karşılaştırılması



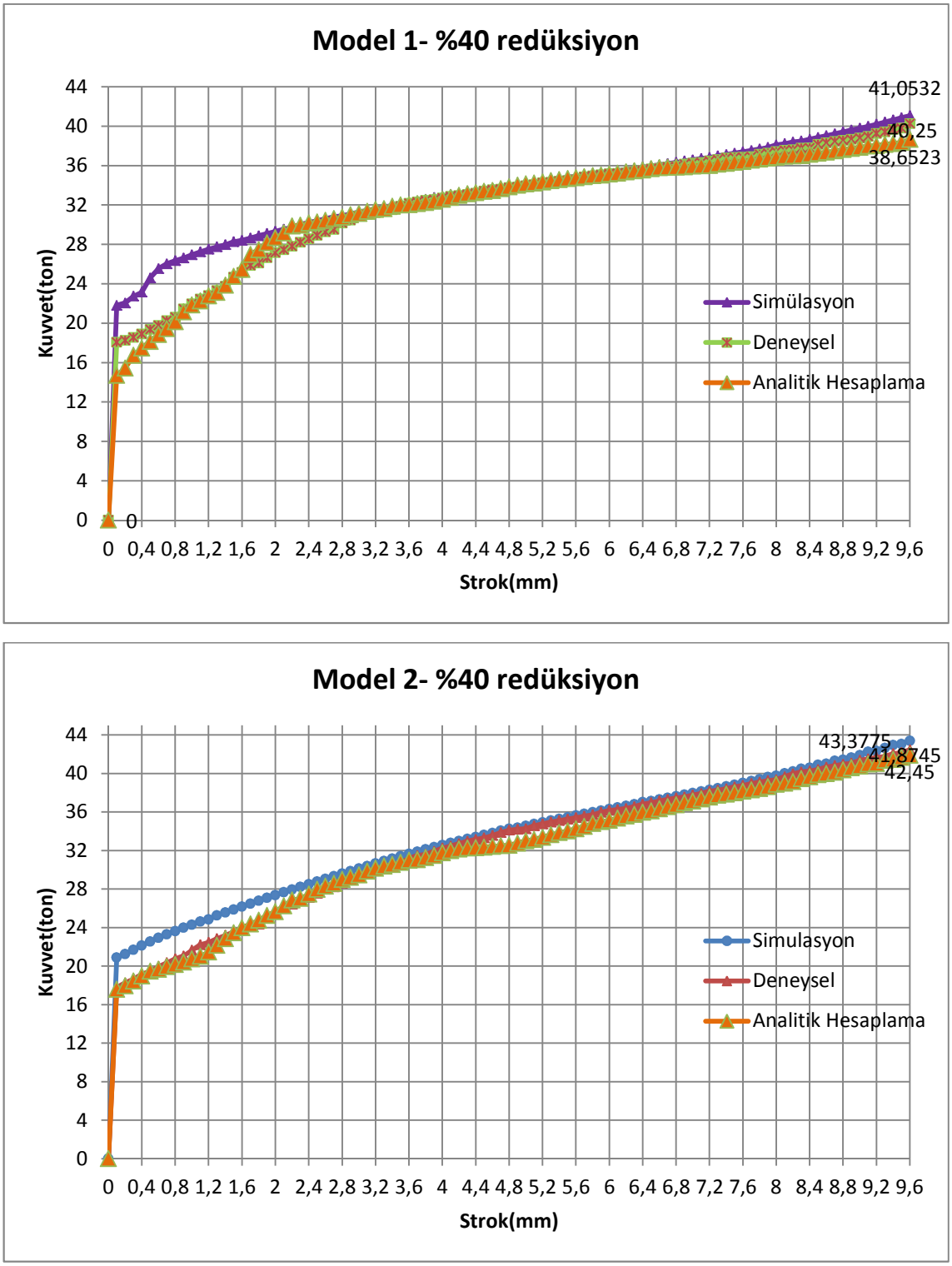


Şekil 5.5: Model 1 ve Model 2'nin %15 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları





Şekil 5.6: Model 1 ve Model 2'nin %30 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları



Şekil 5.7: Model 1 ve Model 2'nin %40 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları

Bütün bu şekil ve grafiklerden görüleceği üzere yeni malzeme alternatifleri olan bimetalik malzemeler akma gerilmeleri birbirine yakın olan metal veya metalik

malzemeler arasında yapılan kombinasyonlarda çok iyi sonuçlar vermektedir. Deneysel çalışmaya ek olarak yapılan FEM analizi ve analitik çözüm gerçeğe çok yakın değerler vermiştir. Bu durum bimetalik malzemelerle ilgili yapılacak daha ileri çalışmalar için bir öngörü sağlayacaktır. Deneysel çalışmalar yapılmadan önce o kombinasyonların ya da geometrik ve malzeme bakımından bimetalik malzemelerin üretilebilirliği üzerinde tartışma imkanı verecektir.

Daha ileri çalışmalar için malzeme çeşitlerinin artırılması ve içerideki ve dışarıdaki malzemelerin çaplarının değiştirilerek etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Cenk MISIRLI, Yılmaz ÇAN, ***An Investigation of Upsetting of Bimetallic Metals***, ModTech International Conference-New face of TMCR-Modern Technologies, Quality and Innovation, 2011

[2] Cenk MISIRLI, ***Yanal Ekstrüzyon ile Dişli Benzeri Parçaların İmalatı: Analiz ve Deneyler***, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006

[3] Önder AYER, ***Dişli Benzeri Parçaların İleri Ekstrüzyonunda Teorik Kuvvet Analizi***, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006

[4] Hüseyin ÖZTÜRK, ***Analysis and Design For Aluminum Forging Process***, A thesis submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2008

[5] http://fushicopperweld.com/en/bimetallics.html

[6] K. Essa, I. Kacmarcik, P. Hartley, M. Plancak, D. Vilotic, ***Upsetting of bi-metallic ring billets***, Journal of Materials Processing Technology 212, 817– 824, 2012

[7] A.R. Eivani, A. Karimi Taheri, ***A new method for producing bimetallic rods***, Materials Letters 61, 4110–4113, 2007

[8] Miroslav PLANCAK, Igor KACMARCIK, Dragiša VILOTIC, Marko KRSULJA, ***Compression of bimetallic components-analytical and experimental investigation***, Annals of Faculty Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering, ISSN 1584-2665, 2012

[9] Miroslav PLANČAK, Zlatan CAR, Dragiša VILOTIĆ, Dejan MOVRIN, Marko KRŠULJA, ***Upsetting of Bimetallic Components in Closed Die***, Engineering Review Vol. 31, Issue 2, 105-109, 2011

[10] Jingcai Wang, Laurent Langloisa, Muhammad Rafiq, Régis Bigot, Hao Lu, ***Study of the hot forging of weld cladded work pieces using upsetting tests***, Journal of Materials Processing Technolog, 214, 365– 379, 2014

[11] H. Haghighat, G.R.Asgari, ***A generalized spherical velocity field for bi-metallic tube extrusion through dies of any shape***, International Journal of Mechanical Sciences 53, 248–253, 2011

[12] N.R. Chitkara, A. Aleem, ***Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes: some experiments using hollow billets and the application of a generalised slab method of analysis***, International Journal of Mechanical Sciences 43, 2857–2882, 2001

[13] N.R. Chitkara, A. Aleem, ***Extrusion of axi-symmetric bi-metallic tubes from solid circular billets: application of a generalised upper bound analysis and some experiments***, International Journal of Mechanical Sciences 43, 2833–2856, 2001

[14] Kačmarčik I, Plančak M., Vilotić D., Tolnai M., Movrin D. , Ivanišević A., ***Numerical analysis of bi-metallic extrusion of gear-like components***, The 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology, T.10-1.3, pp. 1-4, ICET-2013

[15] Pawel Kazanowski, Mario E. Epler, Wojciech Z. Misiolek, ***Bi-metal rod extrusion—process and product optimization, Materials Science and Engineering***, A369, 170–180, 2004

[16] Andreas Feuerhack, Carolin Binotsch, Alexander Wolff, Birgit Awiszus, Kai Kittner, ***A numerical criterion for quality prediction of bimetal strands***, Journal of Materials Processing Technology, 214, 183– 189, 2014

ÖZGEÇMİŞ

Işık Çetintav 1987 yılında Edirne'de doğdu. 2006 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans eğitimine ve Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Trakya Üniversitesi'nde Araştırma Görevliliği'ni sürdürmektedir.