T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA PROSESİNDE KULLANILAN FARKLI YAĞLAYICILARIN Bİ-METALİK MALZEMELERİN MALZEME AKIŞINA ETKİSİ

NÜKET ANDAÇ KARAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: YRD. DOÇ. DR. CENK MISIRLI

EDİRNE-2017

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Ayşegül ÖZTÜRK
Anabilim Dalı Başkanı

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

Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI
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	
Yrd.Doç.Dr. Cenk MISIRLI	
Yrd.Doç.Dr. Olcay EKŞİ	

28 ŞUBAT 2017

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.

28/02/2017

Nüket Andaç KARAN

Yüksek Lisans Tezi

Yığma Prosesinde Kullanılan Farklı Yağlayıcıların Bi-Metalik Malzemelerin Malzeme Akışına Etkisi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bi-metalik malzeme üretimi son zamanlarda ilgi çeken bir araştırma sahası haline gelmiştir. Yapılacak olan çalışma ile bi-metalik malzemelerin oluşumu için kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri ile üretimi yapılan bi-metalik malzemenin mekanik özellikleri karşılaştırılıp, farklı yağlayıcılar kullanımının malzeme akışları irdelenecektir. Ayrıca bu tezde farklı malzemeler kullanılarak üretilecek olan bi-metalik malzemelerin farklı yağlayıcılar kullanılarak mekanik özellikleri incelenecektir. Üretimi yapılacak olan bi-metalik malzeme ile farklı yağlayıcıların avantajları ve dezavantajları hakkında yaklaşımda bulunulacaktır.

Yıl : 2017

Sayfa Sayısı : 57

Anahtar Kelimeler : bi-metallic, experiment, upsetting,lubricants

Master's Thesis

Investigation of Effect of Different Lubricants During Upsetting on Bimetallic Components Matterial Flow

Trakya University Institute of Natural Sciences

Mechanical Engineering

ABSTRACT

Bi-metallic material production has recently become an interesting research field. The mechanical properties of the materials to be used for the formation of bi-metallic materials and the mechanical properties of the bi-metallic materials produced will be compared and the material flows of the use of different lubricants will be examined. Furthermore, in this thesis, the mechanical properties of bi-metallic materials produced using different materials will be examined by using different lubricants. The advantages and disadvantages of different lubricants will be approached with the bi-metallic material to be produced.

Year : 2017

Number of Pages : 57

Keywords : bi-metallic, experiment, upsetting, lubricants

TEŞEKKÜR

Tez araştırmanın konusu, deneysel çalışmalarının yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasına, tezde kullanılan kaynaklara, kullanılan araştırma olanaklarının kurulmasına ve çalışmasına; doğrudan ve dolaylı yoldan emeği geçen herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması Trakya Üniversitesi BAP birimi tarafından 2016/105 numaralı proje ile desteklenmiştir. Proje desteği için Trakya Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1 3
GİRİŞ 3
1.2 Tezin konusu ve önemi 3
1.2. Tezin Kapsamı 5
BÖLÜM 2 6
GENEL BİLGİLER 6
2.1. Üretim ve İmalat 6
2.2. Dünden Bugüne Üretim Yöntemleri ve Sınıflandırılması 7
2.3. Plastik Şekil Verme 9
2.3.1. Plastik Şekil Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması 9
2.4. Dövme 10
2.4.1. Dövme İşleminin Sınıflandırılması 11
2.4.1.1. Kalıp Takımı Tipine Göre Sınıflandırma 12
2.4.1.2. Sıcaklığa Göre Sınıflandırma 13
2.4.1.3. Dövme Makinasına Göre Sınıflandırma 13
2.4.1.4. Dövme İşlemi Uygulanacak Malzemeye Göre Sınıflandırma 14
2.5. Bimetalik Malzemeler 14
BÖLÜM 3 17
KAYNAK ARAŞTIRMASI 17
BÖLÜM 4 26
MATERYAL VE METOD 26
4.1 Kullanılan Deney Malzemesinin Boyutları Ve Özellikleri 26
4.2. Deneysel Çalışma 29

4.3. Analitik Hesaplama 31
4.4. FEM Simulasyonu 36
BÖLÜM 5 38
ELDE EDİLEN VERİLER 38
BÖLÜM 6 45
SONUÇLAR VE TARTIŞMA 45

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 through dies of any shape' isimli çalışmada; (a) ekstrüzyon	19

	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

1.2 Tezin Konusu ve Önemi

Üretim teknolojilerinin gücünün tek bir noktada birleşmesi fikri, üretim teknolojilerinin doğmasına ve mühendislerin modern üretim hedeflerini gözetmesine neden olmuştur. Mühendisler için üretim teknolojisi demek; çalışmaların verimliliğini arttırabilmek, zamanında ve teknik resimlere uygun olarak üretim gerçekleştirebilmek demekti.

Üretilen malzemelerin içinde yer alacağı sisteme göre şekillendirilmesi, dayanım hesapları, sünek ve gevrek olması, darbe tokluğu gibi teknik detayların göz edilmesiyle birlikte günümüzde dek süregelen ve devamlılığı sağlanan bir olgu meydana gelmiştir. Mühendislerin bu teknik detayların üzerinde durması sadece üretimi kolaylaştırmak ve hızlandırmakla kalmayıp, tüm bunlar araştırma geliştirme faaliyetlerinin mühendislik kollarına ayrılmasına ve üretim teknolojilerinin gelişmesine de temel hazırlamıştır.

Üretim teknolojilerinde meydana gelen tüm bu olumlu ıslahat ve gelişimler tek başına teknolojinin ilerlemesiyle sınırlı kalmamıştır. Mühendislerin malzemelerin kimyasal birleşimi üzerinde meydana getirdiği değişikler yeni ve daha iyi özelliklere sahip, dikkat çeken malzemelerin ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur.

Yıllarca gelişen bu olgunun gelinen son noktasındaysa artık ürünlerin ağırlıklarının düşürülerek düşük maliyet ve yüksek tasarrufla hem yorulmaya hem de korozyona dirençli malzemelerin nasıl üretileceği üzerine eğilinmektedir. Tam bu aşamada da düşük maliyet ve yüksek tasarruf sağlama potansiyeli olan bimetalik malzemeler konuya dâhil olmaktadır.

Bimetalik malzemeler; temelde aynı olmayıp farklı mekanik ve mühendislik özelliklerine sahip iki malzemenin fiziksel ya da metalürjik olarak birbirine bağlanması işlemiyle elde edilebiliyor. Bimetalik malzemelerin en büyük avantajı homojen dayanıklı bir bileşim ara yüzüne sahip oldu, bu maddeyi meydana getiren her bir metalin kendi özelliklerini muhafaza ettiği ürünler olmalarıdır. Tüm bu özellikleri sebebiyle bimetalik malzemeler daha makul bir tercih sebebi haline geliyor.

Şekil 1.1'de gösterilen demir paralar başta olmak üzere radyatörler, mil yatakları, motor başı contaları, kâğıt sanayi kesme takımları, ağaç, metal, tekstil, gıda endüstrileri, ısı değiştirgeçleri, mutfak eşyaları gibi birçok alanda ve günlük yaşantımızda bimetalik malzeme örneklerini görebilmek mümkündür.



Şekil 1.1: Bi-metalik paralar

Bimetalik ürünlerin üretilmesi aşamasında kullanılacak metaller seçilirken, korozyona direnci, aşınma dayanımı, ısı iletkenliği ve genleşmesi gibi hem yapısal hem de fiziksel ve mekanik özelliklerinin göz önüne alınması gerekiyor.

Bu tezde yer alan çalışmada pirinç, çelik ve bakır malzemelerinin farklı kombinasyonlarıyla meydana getirilen 2 farklı bimetalik malzeme açık kalıpta dövme işleminden geçirilmiş, işlemin sonucu olarak oluşan kuvvetler, malzeme akışı, ara yüzü koşulları gibi değerler irdelenerek iki malzeme için karşılaştırmalar yapılmıştır. Deney analizi sonucunda elde edilen sonuç parametreleri de çözüm ve sonlu elemanlar metodu tabanlı yazılımıyla desteklenmiştir.

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. Ara yüz bağlantılarında önemli bir faktör olan dışarı yöndeki radyal gerilmeler, özellikleri farklı iki malzemeden oluşan bimetalik malzemelerdeki bu iki malzemenin ara yüzünde oluşacak merkez yönünde gerilmelerin yerine 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 farklı yağlayıcılar kullanılarak yığılan 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 deneyler simülasyon sonucu elde edilen veriler sunulmuştur.

Bölüm 6'da 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 eski dildeki imalatın karşılığı zannedilir. İki kelimenin birbirlerinin yerine kullanılabilecekleri durumların olması kafa karışıklığına çanak tutar. İmalat kelimesi mal kökünden gelir ve mal yapmak anlamındadır. Üretim ekonomik anlamda fayda yaratacak her şeyin; malların yanı sıra hizmetlerin, fikirlerin meydana getirilmelerini de içerir. Dolayısıyla üretim imalattan çok daha kapsamlıdır.

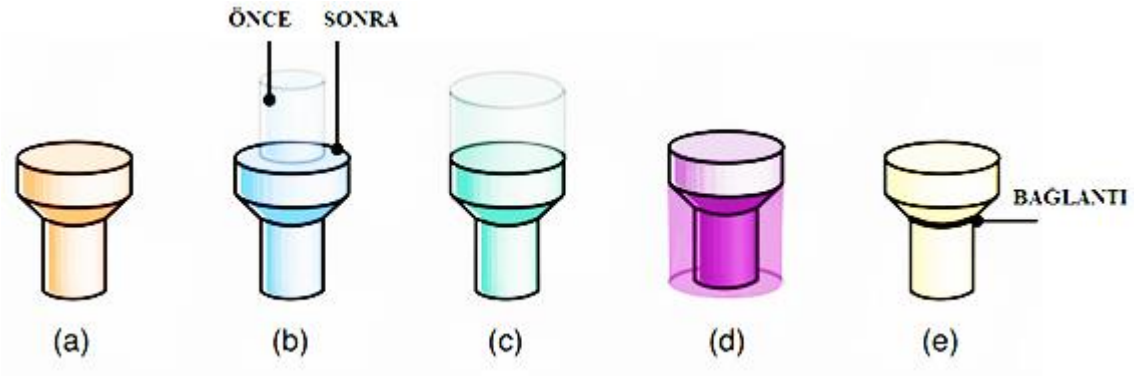
Üretim kelimesi çok geniş bir yelpazede incelenebilir. Ancak detayı ile birlikte anlaşılması sadece makine mühendislerine değil, amacı insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamak olan tüm mühendislik dallarına da yardımcı olur. Başlangıçta üretime enerji, insan ve zaman kaynakları yönünden yeterli düzeyde 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]

2.2. 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 olmak üzere iki çeşittir. İç değişimler üçe ayrılır. Bunlar; 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 sınıflandırılabilir. [3]



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 [20]



Şekil 2.2: Üretim yöntemlerinin genel gruplandırılması[20]

Üretim yöntemlerini bazı kaynaklara göre Şekil 2.2'teki gibi 6 grupta genel ifadelerle sınıflandırmak da bu yöntemlerin iyi anlaşılması açısından faydalı olmaktadır.[4]

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

2.3. Plastik Şekil Verme

Talaşsız şekillendirme işlemleri, çeşitli takım ve kalıplarla uygulanan kuvvetler altında bazı malzemelere (genellikle metallere), plastik akma kabiliyetinden faydalanarak, özellikleri kötüleştirmeden katı durumda şekil verme operasyonuna plastik şekil verme denir. Plastik şekil verme yöntemleri, günümüzde otomotivde, kerpeten çekiç gibi el takımları, somun, vida, perçin gibi bağlama elemanlarında, inşaat sektöründe, kapı ve pencerelerde 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.

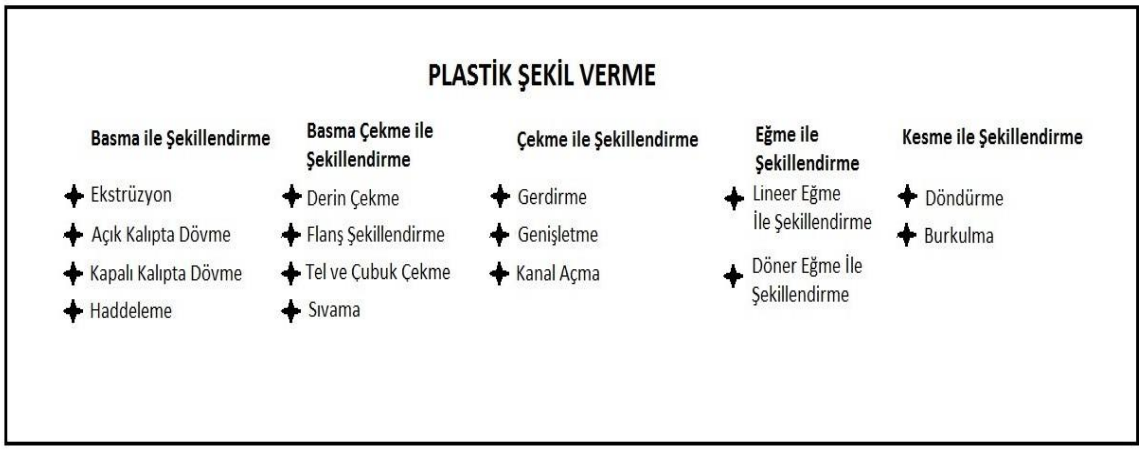
Plastik şekil verme yöntemlerinin malzeme üzerindeki en önemli etkisi, bu malzemelerin istenilen uygulama alanında kullanımı için gerekli mekanik özellikleri sağlamalarıdır. Aynı zamanda karmaşık şekilli parçaların mükemmel yüzey kalitesi ile üretimi, çok küçük tolerans aralıkları, hızlı üretim ve parça 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. [5]

2.3.1. Plastik şekil verme yöntemlerinin sınıflandırılması

Plastik şekil verme yöntemlerini sac şekillendirme ve kütle biçimlendirme olmak üzere temel olarak 2 gruba ayırabiliriz. Sac şekillendirme,- içi boş ince ve eşit kalınlıkta cidarlı parçaların üretiminde, 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.

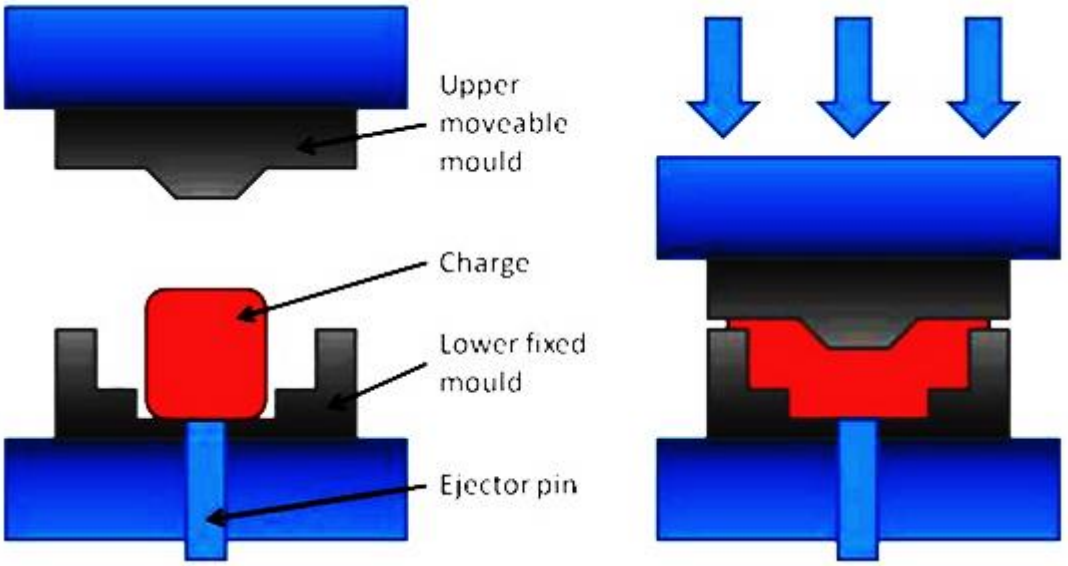


Şekil 2.3: İş parçasının maruz kaldığı gerilmeye göre plastik şekil verme yöntemleri

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. [6]

2.4. Dövme

Dövme, darbe ve basınç altında kontrollü bir plastik deformasyon sağlayarak, metale istenilen şekli verme, tane boyutunu küçültme ve mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla uygulanan plastik şekil verme işlemidir. Sanayi devrimi ile kol gücü yerini makinelere bırakmış ve bu gelişmelerle seri üretime yönelik metal şekillendirme işlemlerinde dövme teknolojisi büyük önem kazanmıştır. Krank milleri, el aletleri, cıvata başları, dişliler, tekerlekler, biyel kolları ve kancalar gibi çok sayıda makine parçası bu yöntemle üretilmektedir. Dövme işlemi endüstriyel metal üretiminde, özellikle de demir ve çelik endüstrisinde çok önemlidir. 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. [7]

2.4.1. Dövme işleminin sınıflandırılması

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

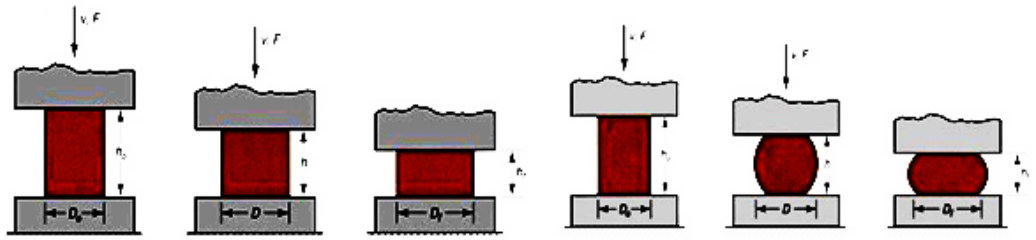
- Kalıp takımı tipi
- Sıcaklık
- Dövme makinası

- Dövme işlemi uygulanacak malzeme şeklindedir.

2.4.1.1. Kalıp takımı tipine göre sınıflandırma

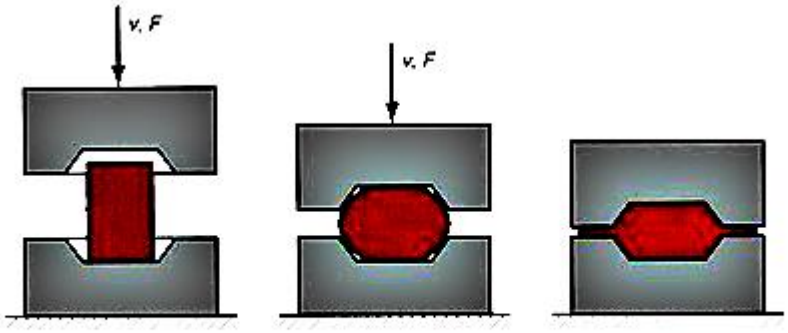
Kalıp takımı tipine göre dövme işlemini açık kalıpta dövme ve kapalı kalıpta dövme şeklinde iki gruba ayırabiliriz.

Açık kalıpta dövme işleminde, şekillendirilecek metal örs üzerine yerleştirilmeden önce uygun sıcaklıkta ısıtılır. Bu ısıtmada genellikle gaz, fuel oil veya elektrik fırınları kullanılır. Darbe mekanik çekiçlerle uygulanır. Operatör vuruşlar arasında iş parçasını çevirerek istenen şekli elde eder. İş parçası ve çekiç veya örs arasında profil şekillendirme (yuvarlak, konkav veya konveks), delik açma veya kesme işlemlerini gerçekleştirmek için şekillendirilmiş bir kalıp veya özel şekilli takımlar kullanılabilir. Büyük iş parçalarını tutmak veya çevirmek için mekanik maniplatörler kullanılır.



Şekil 2.5: Açık kalıpta dövme

Kapalı kalıpta dövme Şekil 2.6'da gösterildiği gibi metal akışını kontrol etmek için şekillendirilmiş kalıp kullanılarak gerçekleşmektedir. Bu kalıpların bir yarısı çekice ve diğer yarısı ise örse bağlanır. Isıtılmış metal alt boşluğa yerleştirilir ve üst kalıpla birlikte bir veya daha fazla vuruş yapılır. Böylece metal, kalıp boşluğunu doldurmak üzere akar. Fazla metal, bir çapak şeklinde boşluğun birleşme yüzeyi boyunca kalıp yüzeyleri arasından fışkırır. Dövme tamamlandığında çapak, bir çapak kalıbı vasıtasıyla giderilir.



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. Hidrolik presler hemen hemen sınırsız kapasiteleri

dolayısıyla en büyük çekme presleridir. 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 yaratabilir. 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 ihtiyacı 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. [8]

2.5. Bimetalik Malzemeler

Genel anlamı farklı bir metal katmanıyla kaplanmış metaldir. Darphane literatüründe para yapımında iki metalin ya da alaşımın birlikte (yanyana) kullanılmasıdır. Bimetal bir parada altın gümüş ve alaşım şeklinde değil, ayrı ayrı birlikte kullanılır. Paranın bir bölümünün altından bir bölümünün gümüşten yapılması gibi.

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:

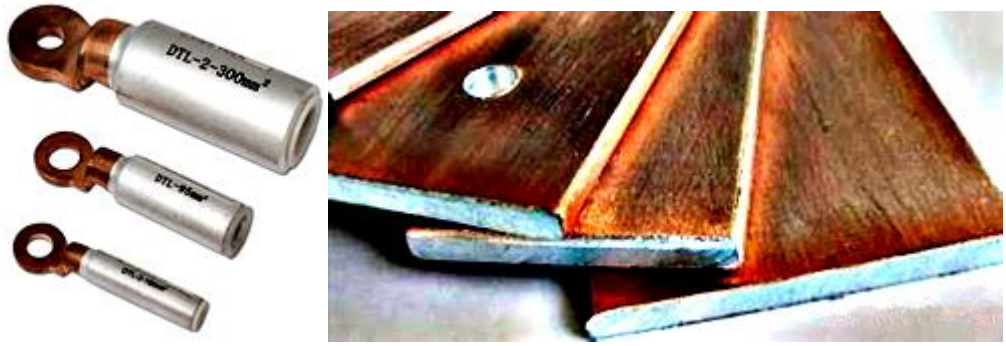
-Ağırlık tasarrufu; bimetalik malzemeler aynı boyuttaki tek bir malzemeden daha hafif olabilir.

-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, nikel, 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)



(a) (b) (c)

Şekil 2.8: Çeşitli bimetalik bozuk para örnekleri,
(a) Halka: Bakır + Çinko, Merkez: Bakır + Nikel,
(b) Halka: Kupronikel, Merkez: Bakır + Alüminyum + Nikel
(c) Halka: Demir + Krom, Merkez: Bakır+ Alüminyum + 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.

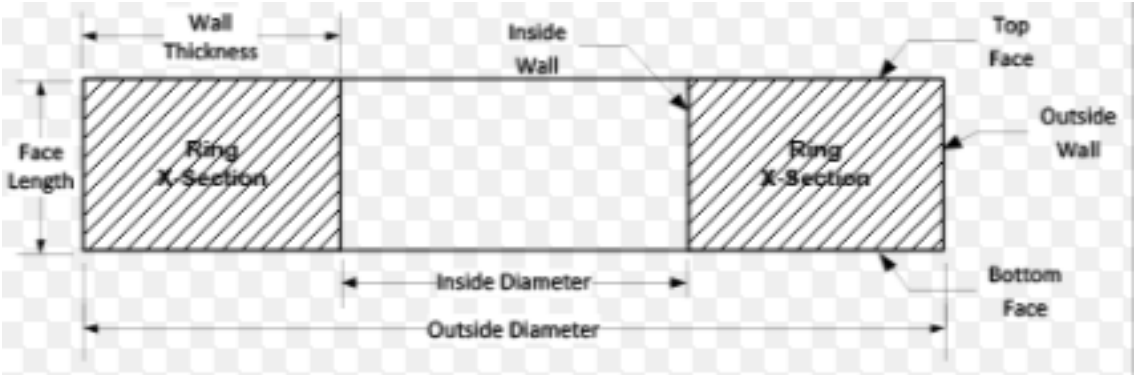
Bir sonraki bölümde yukarıda verilen genel bilgiler ile alakalı ve bu tez çalışmasına referans olan çalışmalar kısaca açıklanacaktır. [9]

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.[10]



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

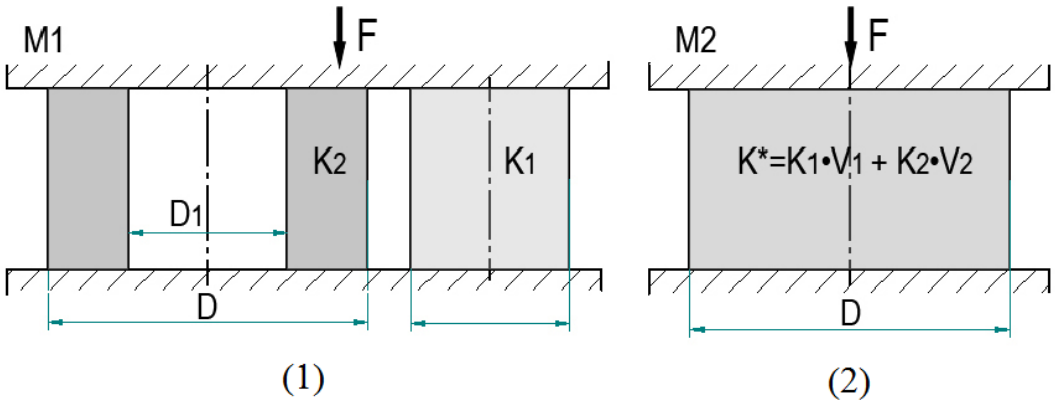
'A new method for producing bimetallic rods' adlı çalışmada bimetalik çubukların imalatında kullanılan yeni bir metot ele alınmıştır. Bu metot eşit kanallı açısal ekstrüzyon işleminin yeni bir uygulaması olarak açıklanmıştır. Hem çekirdekte hem de kaplama malzemesinde yüksek düzeyde boyutsal kontrol, 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) [11]



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

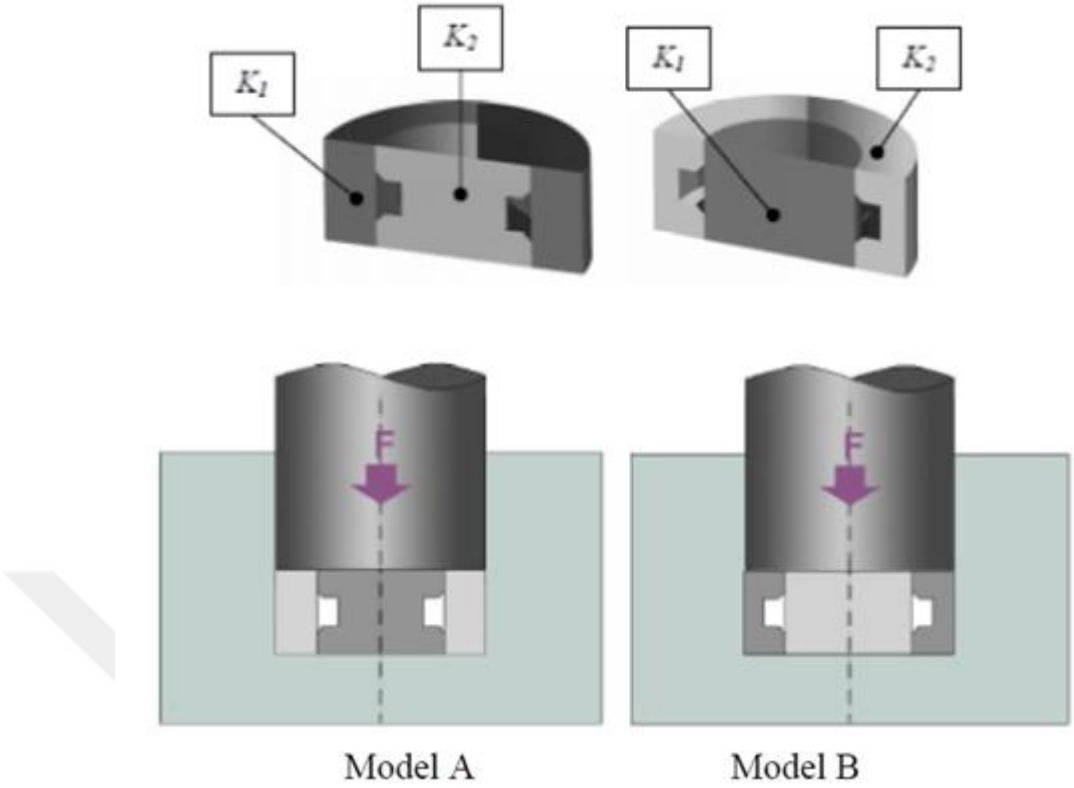
'Compression of bimetallic components-analytical and experimental investigation' isimli çalışmada ise yine C45 ve C15 çelikleri kullanılarak üretilen bimetalik malzeme dövme işlemine tabi tutulmuş ve deneysel işlem sonucu elde edilen

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) [12]



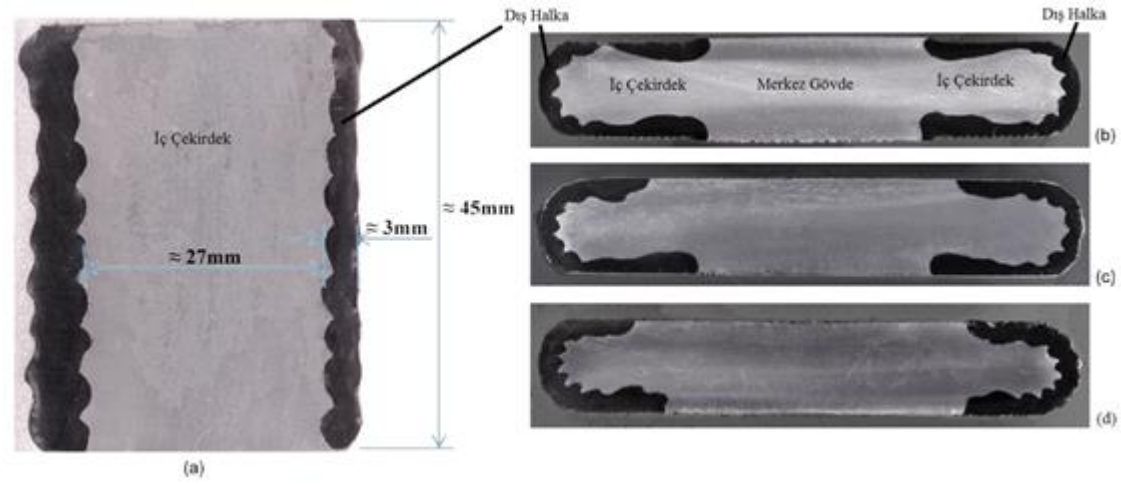
Şekil 3.3: 'Compression of bimetallic components-analytical and experimental investigation' isimli çalışmada geliştirilen analitik yaklaşım modelleri

'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. [13]



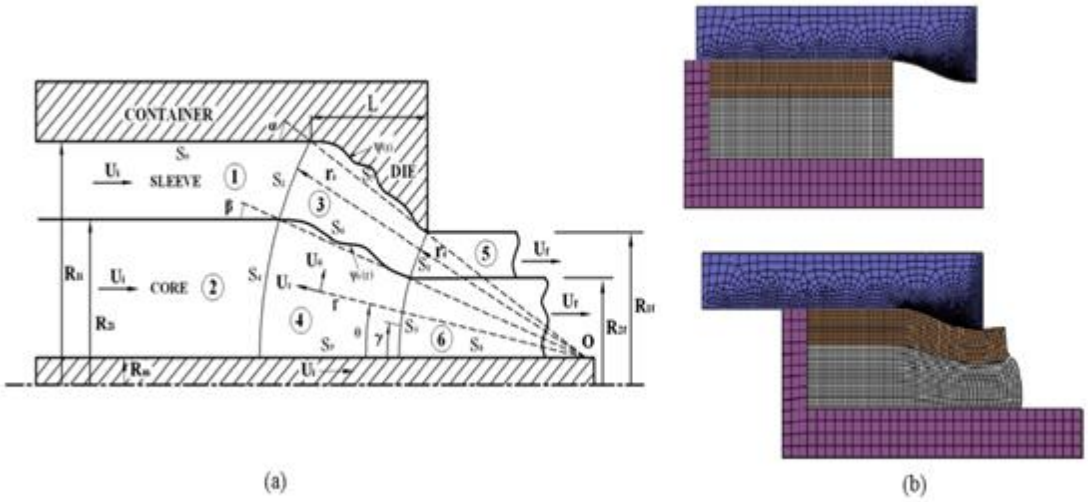
Şekil 3.4: 'Upsetting of Bimetallic Components in Closed Die' isimli çalışmada kapalı kalıpta dövme işlemi için tasarlanan modeller

'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 paramterelerdir. [14]



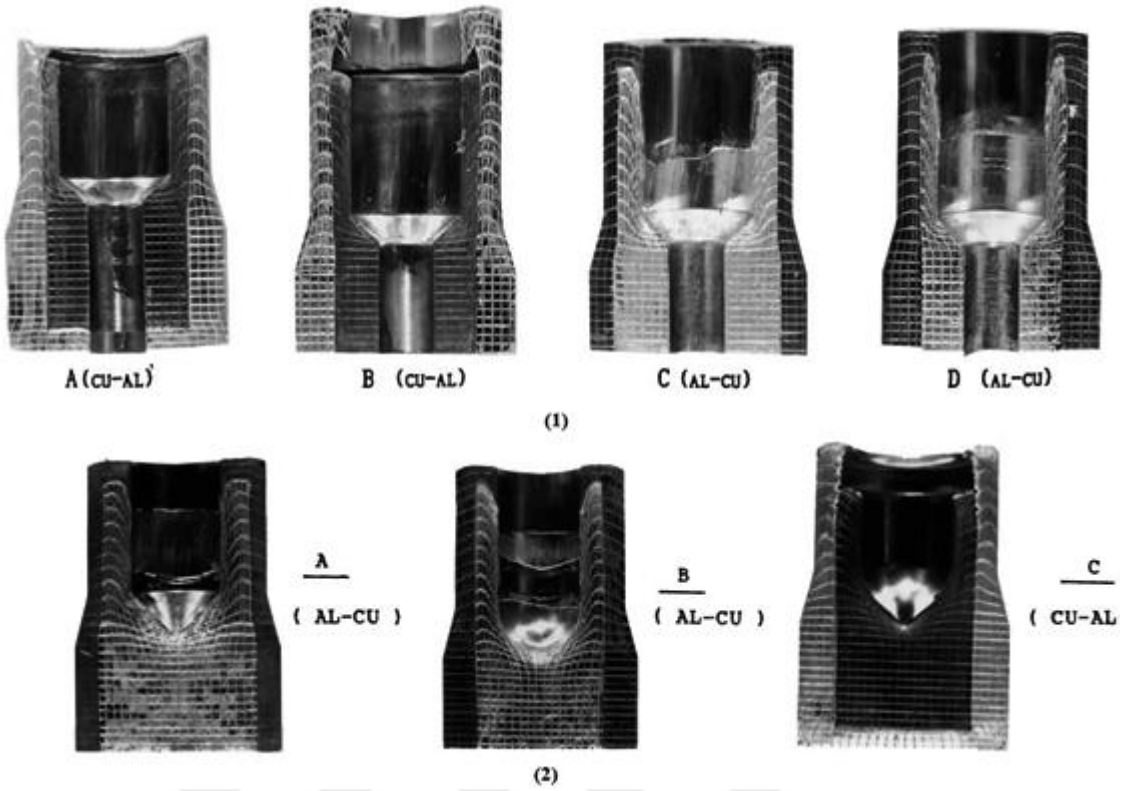
Şekil 3.5: 'Study of the hot forging of weld cladded work pieces using upsetting tests' isimli makalede üretilen bimetalik malzeme benzeri parça; (a) Parçanın bimetalik malzeme davranışı gösteren kısmının kesidi, (b), (c), (d) sırasıyla yivli, düz ve yağlanmış düz kalıpta 1050 C sıcaklıkta %70 boy azalması 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). [15]



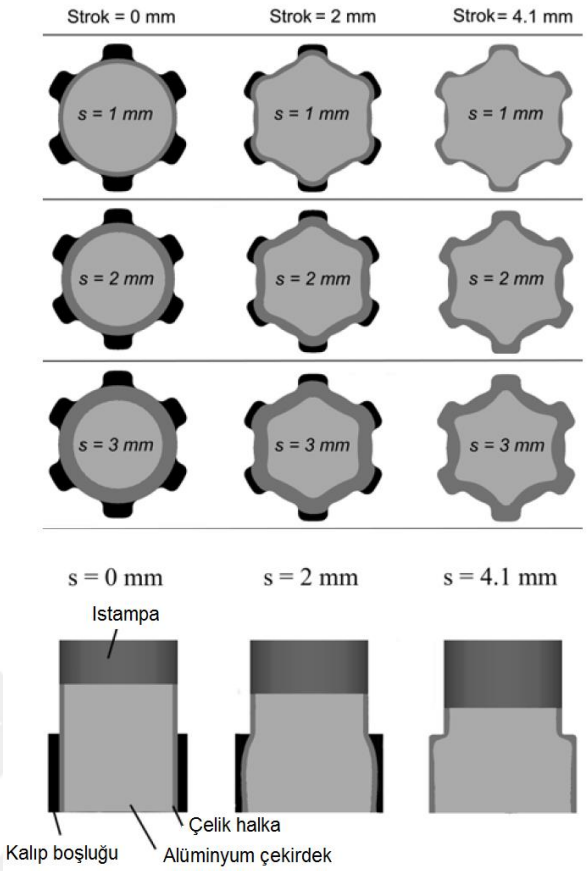
Şekil 3.6: ‘A generalized spherical velocity field for bi-metallic tube extrusion through dies of any shape’ isimli çalışmada; (a) ekstrüzyon işleminin şematik gösterimi, (b) ekstrüzyon işleminin simülasyon programında tasarımı

‘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). [16]



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). [17]



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

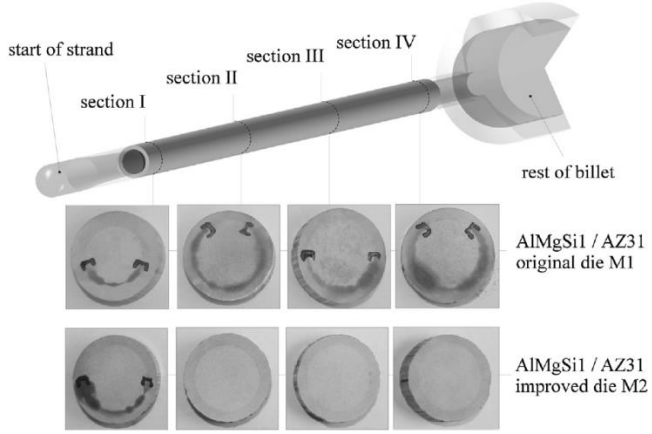
'Bi-metal rod extrusion- process and product optimization' isimli çalışmada bimetalik boru ekstrüzyonu işlemi esnasında parça geometrisinin ilk durumunun ürün geometrisi üzersert indeki etkileri hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılmıştır. Bimetalik bir parçanın içteki malzeme uzunluğunun ekstrüzyon öncesi hali optimize edilmiştir.(Şekil 3.9) [18]



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. [19]



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, çinko 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(%)**
	0,18-0,25	99,05-99,55	0,3-0,6	≤0,045	≤0,04

Pirinç(CuZn40Pb2)	**Cu%**	**Zn**	**Pb%**	**Al%**	**Fe%**	**Ni%**	**Sn%**	**Diğer**
	56-58	K	1,8-2,7	0,06	0,4	0,4	0,35	0,3

Bakır(Cu)	**Cu%**	**O%**
	99,8	0,03

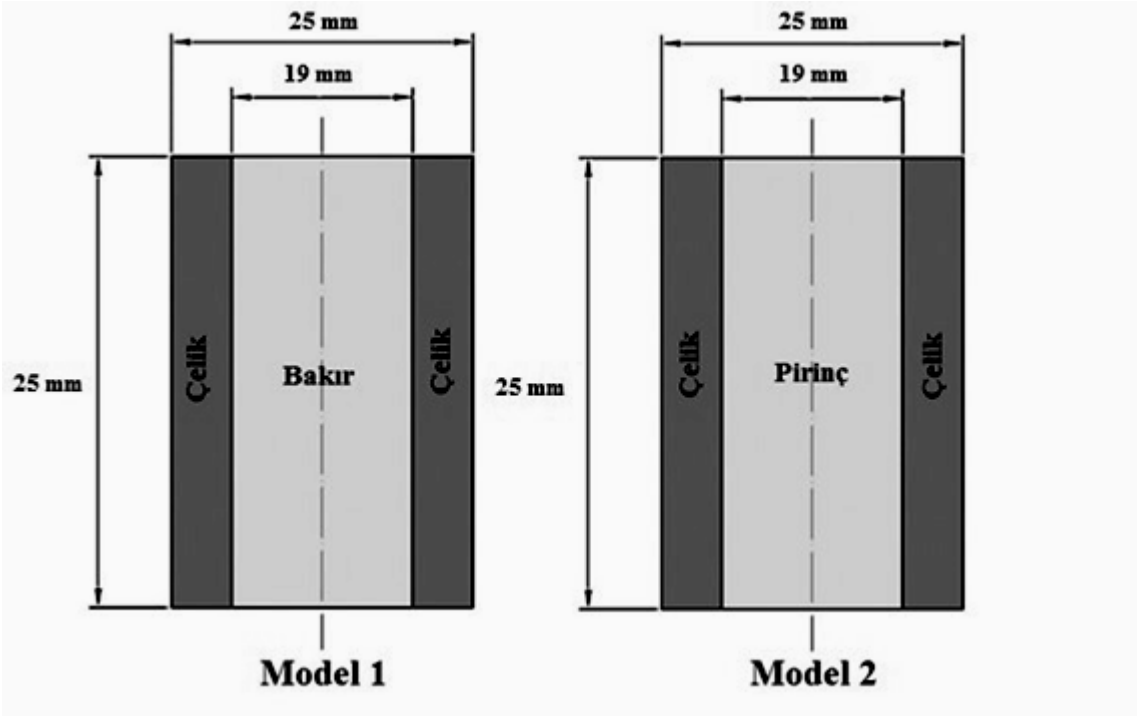
Şekil 4.1: Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

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. Isıtma hızı arttıkça 1020 çeliğinin sertliğinde artış meydana gelmektedir.

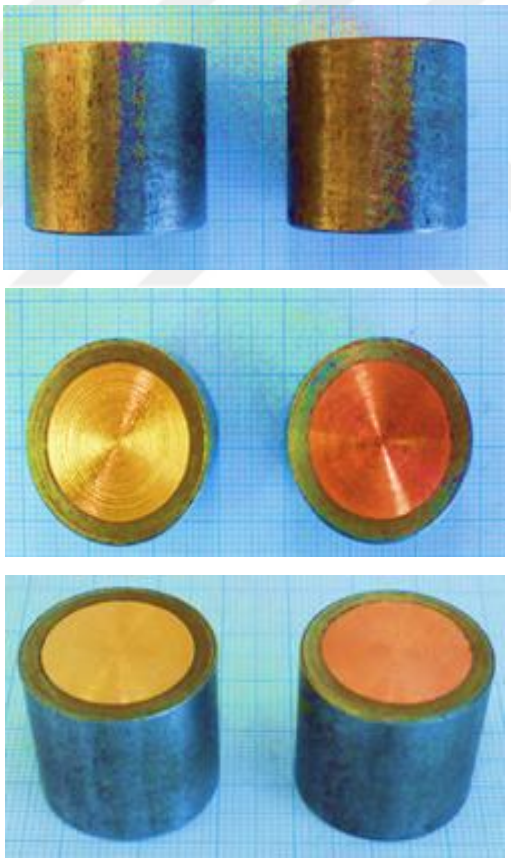
Bakır ve pirinç ise benzer özellikleri söylemek mümkündür. Pirincin bir bakır alaşımı olması sebebiyle mekanik özellikleri genellikle bakır gibidir. Tahmin edilebileceği gibi bu iki malzemenin seçim kriteri olarak en başta kolay işlenebilirlik özellikleri gelmektedir. Korozyon direnci, elektrik ve ısı 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: Dizayn edilen bi-metalik malzemeler

Yukarıda özellikleri verilen malzemelerden 25 mm çapa sahip profiller 25 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 19 mm çapında delikler açılmıştır. Torna yardımı ile bakır ve pirinç silindirik numunelerin çapları 19 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

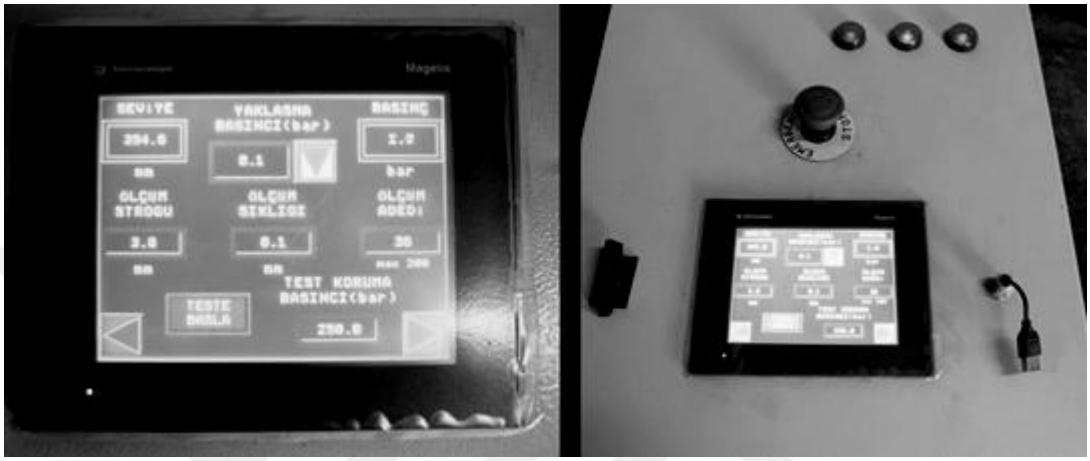
4.2. Deneysel Çalışma

Yukarıda üretimi anlatılan bimetalik malzemelerin deneysel olarak dövme prosesinin uygulanması için hidrolik pres kullanılmıştır. Hidrolik preslerde bir veya daha fazla sayıda olan pistona gelen hisroktarik basınç güç ile sağlanır. Basıncı sağlayan kısım ise pompanın motoru döndürmesi ile meydana gelir. Uygulanacak olan bu basınç miktarı, makinanın ayarları kısmından istenen seviyede ayarlanabilir. Ayarlanacak basıncı ise preslenecek malzeme belirler. Malzemenin şekil alması için ne kadar basınca ihtiyacı var ise, basınç miktarı o düzeyde verilir. Hidrolik preslerde ayarlanan süre zarfınca kuvvet sabittir. İnsan gücü ile mümkün olamayan tüm işlemler bu pres makinaları ile sağlanmaktadır. Plastik aksama sahip olan aklımıza gelebilecek birçok ürün hidrolik presler vasıtası ile yapılmaktadır. Bu makinalar sanayi alanında kullanılır. 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.



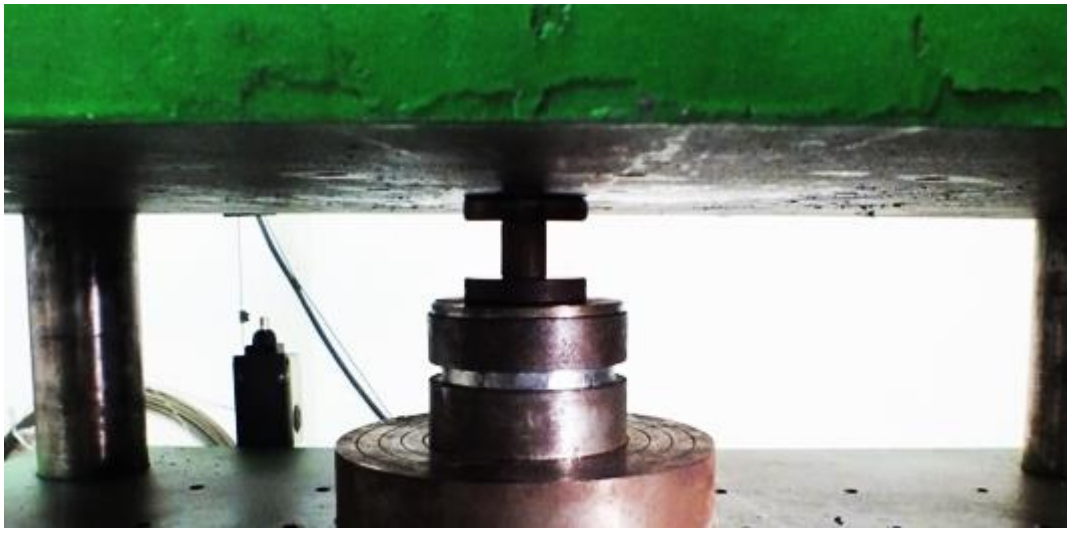
Şekil 4.4: Deneyin yapıldığı hidrolik pres

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.

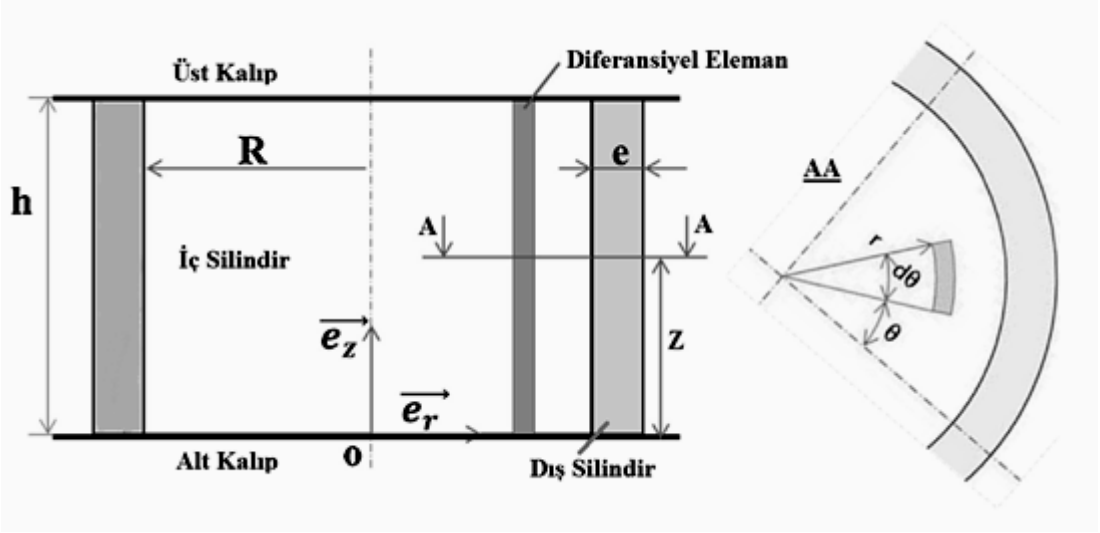


Şekil 4.6: Parçanın kalıp arasına konumlandırılması

Deneysel çalışma için 3 farklı redüksiyon değeri düşünülmüştür. Parçalar %20 yani 4.8 mm, %40 yani 9.6 mm ve %50 yani 12 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. [20]



Şekil 4.7 Parçaya Slab metodunun uygulanması[20]

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

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

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.

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

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

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

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

Burada h ve h_0 sırasıyla parçanın anlık ve ilk uzunluğudur. $\dot{\boldsymbol{h}}$ 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. [20]

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

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

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

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

Bunun sonucunda gerilme tensörü aşağıdaki gibi basitleştirilir. [20]

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

Plastisite kriterine göre eşdeğer gerilme malzemenin akma sınırı olan σ_0 değerine eşit olmalıdır. Böylece bir önceki matris aşağıdaki hale gelir. [20]

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

Burada σ_0 malzemenin akma gerilmesi ve σ_{rr} de $\overrightarrow{\boldsymbol{e_r}}$ yönünde normal gerilmedir. Bu ilişki parçanın yataydaki yüzeyinin serbest halde olduğu(σ_{rr}=0) düşünüldüğünde ve $\overrightarrow{\boldsymbol{e_z}}$ yönündeki normal gerilme σ_{zz} nin negatif olduğu durumda geçerlidir. [20]

Statiğin temel prensibi slab metotu tarafından belirlenen alana uygulanırsa;

$$\mathbf{r} \in \mathbf{[r;\ r+dr],}$$

$$\boldsymbol{\theta} \in \mathbf{[\theta - d\theta/2;\ \theta + d\theta/2],}$$

$$\mathbf{z} \in \mathbf{[0,\ h]}$$

kabulleri için $\overrightarrow{\boldsymbol{e_r}}$ yönündeki denge durumu düşünüldüğünde; [20]

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

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; [20]

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

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

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

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.

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

Her iki malzeme için de aşağıda verilen aralıklar için bu genel denklem çözülürse; [20]

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

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

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;

$$\boldsymbol{\sigma_{rr}}(\boldsymbol{R}+\boldsymbol{e}) = \mathbf{0}$$

$$\|\boldsymbol{\sigma_{rr}}\|_{\boldsymbol{r=R}} = \mathbf{0}$$

$\|\boldsymbol{\sigma_{rr}}\|_{\boldsymbol{r=R}}$ iç ve dış silindirik parça ara yüzündeki süreksizlik fonksiyonudur. Bu iki sınır şartını kullanarak C_1 ve C_2 sabitlerini; [20]

$$\mathbf{C_2} = -\boldsymbol{\sigma_d}.\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu_d}{h}(\boldsymbol{R}+\boldsymbol{e})\right)}$$

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

olarak bulunur. Burada σ_i ve σ_d sırasıyla içteki ve dıştaki malzemenin akma gerilmeleridir. [20]

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

$$\boldsymbol{F} = \mathbf{2}\boldsymbol{\pi}\int_{\mathbf{0}}^{\boldsymbol{R+e}} -\boldsymbol{\sigma_{zz}}\boldsymbol{r}\boldsymbol{dr} = \mathbf{2}\boldsymbol{\pi}\int_{\mathbf{0}}^{\boldsymbol{R}} -\mathbf{C_1}.\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu_i}{h}r\right)}\boldsymbol{dr} + \mathbf{2}\boldsymbol{\pi}\int_{\boldsymbol{R}}^{\boldsymbol{R+e}} -\mathbf{C_2}.\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu_d}{h}r\right)}$$

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

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

$$-\boldsymbol{e}^{\left(-2\frac{\mu(R+e)}{h}\right)}\mathbf{C_1}(\boldsymbol{h} + \mathbf{2}\mu(\boldsymbol{R} + \boldsymbol{e}))\Big\}$$

R ve e değerleri parçanın ilk boyutlarının(h_0, e_0, R_0) birer fonksiyonudur. Kütlenin korunumu kanununa göre aşağıdaki gibi hesaplanabilir. [20]

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

Bu tez çalışmasında deneysel olarak hesaplanan maksimum dövme kuvveti değerini teorik olarak da hesaplamaya yardımcı olan yukarıdaki denklemde kullanılacak değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir. [20]

Tablo 4.1: Analitik hesaplamada kullanılacak değerler

μ	0.15
h_0	25 mm
R_0	8 mm
e_0	4 mm
σ_i(bakır)	226 MPa
σ_i(pirinç)	244 MPa
σ_d(çelik)	294 MPa

Verilen bu değerlere göre hesaplanan kuvvet değerleri sonuçlar bölümünde deneysel çalışmadan alınan değerler ile karşılaştırılacaktır. [20]

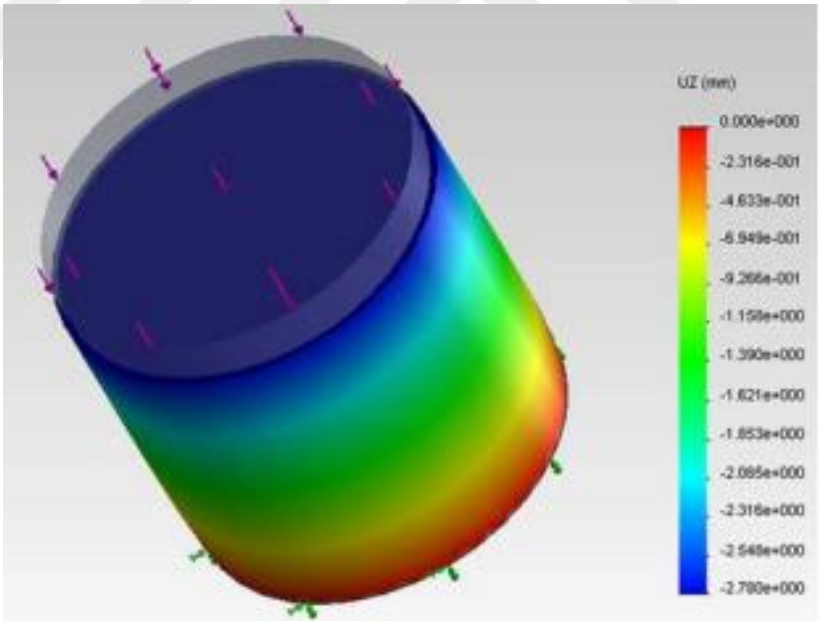
Elde edilen son denkleme göre dövme yükü aşağıdaki 3 faktörün fonksiyonudur.

- 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 Solidworks programı kullanılarak problem modellenmiş ve sonuçlar deneysel çalışmada elde edilen yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

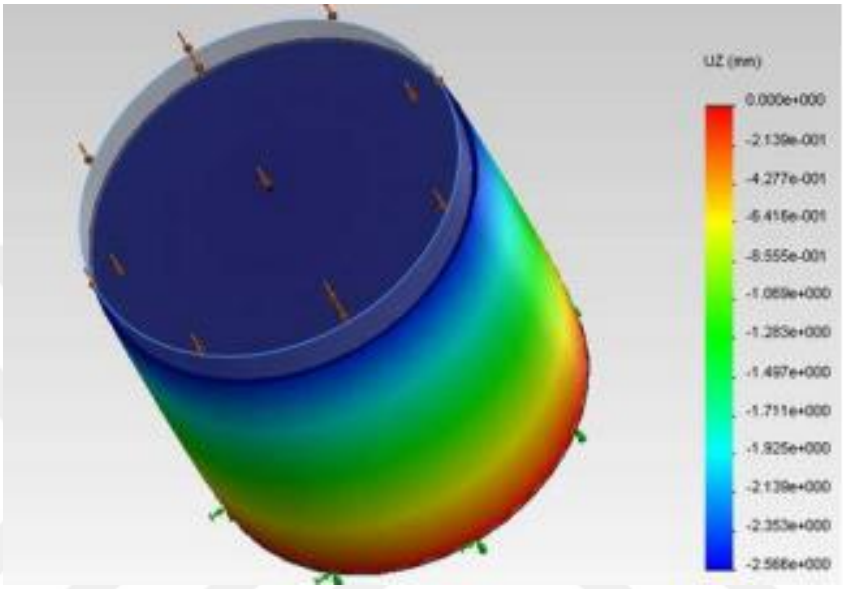
Dövme işlemi parçanın silindirik olmasından dolayı eksenel simetrik olduğundan parçanın yarısı modellenmiştir. İki boyutlu olması problemi hem basit hale getireceğinden hem de üç boyutta mesh oluşturmada dolayısıyla programın sağlıklı sonuçlar vermesinde sorunlara yol açacağından parça iki boyutlu olarak 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: Yağlayıcı kullanıldığında bimetalik malzemede meydana gelen değişim

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.

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: Yağlayıcı kullanılmadığında bimetalik malzemede meydana gelen değişim

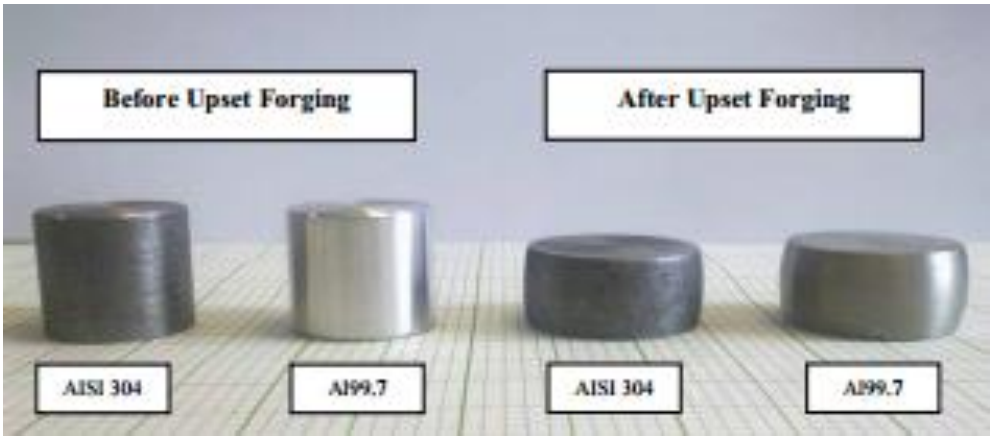
BÖLÜM 5

ELDE EDİLEN VERİLER

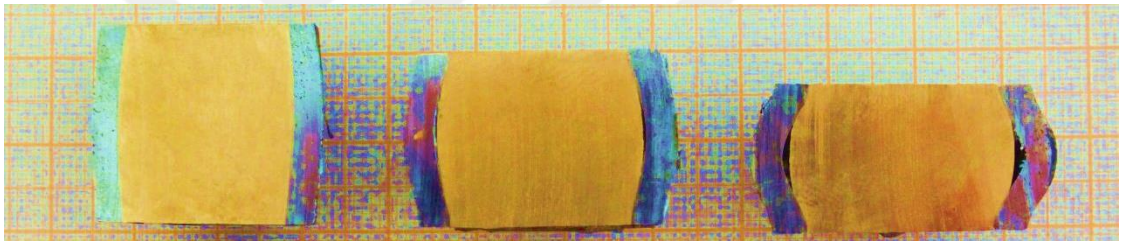
Bir önceki bölümde bu tez çalışmasına konu olan bimetalik parçalar 2 farklı model olarak tasarlanarak üretilmiş, dövme işlemi deneysel olarak uygulanmış, aynı koşullar ile analitik hesaplama ve FEM simülasyonu yaklaşımları yapılmıştır.

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 1'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 2'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 1'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 [21]



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

Şekil 5.3'te farklı yağlayıcıların dövme hızının şekil değişimine etkisi gösterilmektedir. %40 redüksiyon sonucunda Model 1 bimetalik malzemesinde dövme hızının yüksek olmasından ötürü dıştaki çelik malzemede yırtılma ve ayrılma meydana gelmiştir.

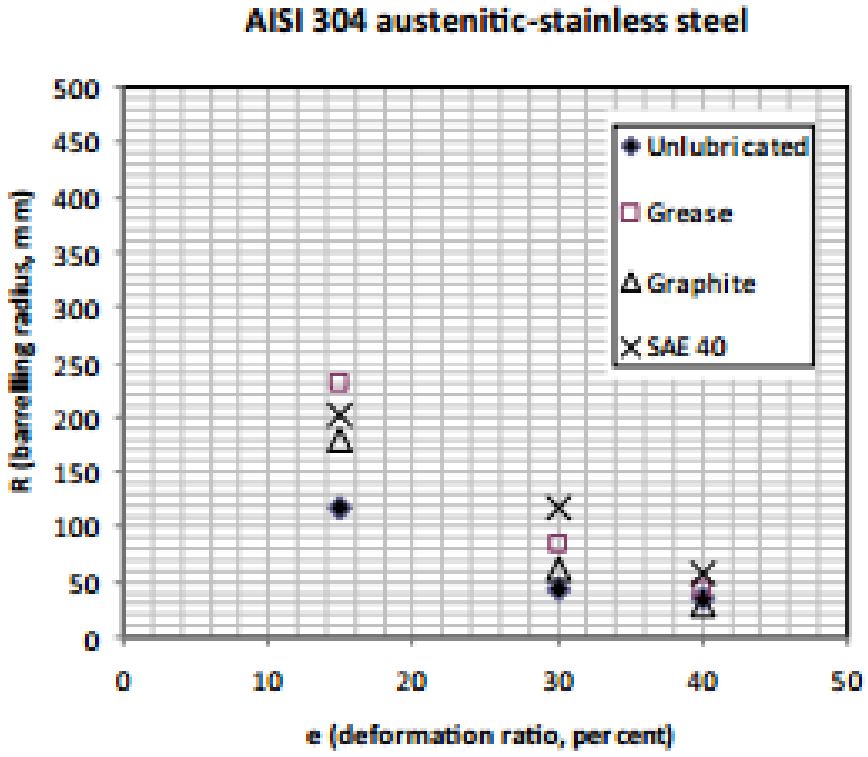
Specimen code	Lubricants	Initial height (h_o)	Initial diam. (d_o)	Final height (h)	Deformation ratio (strain) ϵ = ln(ho/h) (%)	Surface roughness before upsetting R_a (μm)	Surface roughness after upsetting R_a (μm)	Barrel radius (R)
1	Unlubricated	24	24	21.4700	15	3.8700	0.9500	120.6513
2	Unlubricated	24	24	21.4250	15	2.2250	0.4750	115.3467
3	Grease	24	24	21.2500	15	4.1150	1.2000	234.3816
4	Grease	24	24	21.2000	15	1.8900	0.8250	226.8105
5	Graphite	24	24	21.5500	15	2.6600	0.7000	177.4301
6	Graphite	24	24	21.4750	15	2.0200	0.2250	181.9978
7	SAE 40	24	24	21.4500	15	3.1550	0.8200	204.6018
8	SAE 40	24	24	21.5500	15	2.9900	1.7400	198.7104
9	Unlubricated	24	24	18.0750	30	2.7300	0.2500	42.6667
10	Unlubricated	24	24	18.0675	30	2.2950	0.1500	45.0045
11	Grease	24	24	17.9750	30	2.5100	0.6500	86.4402
12	Grease	24	24	17.9850	30	2.8350	0.9000	82.1811
13	Graphite	24	24	18.3500	30	2.5800	1.9500	61.2394
14	Graphite	24	24	18.2750	30	4.0450	0.2550	63.0601
15	SAE 40	24	24	18.1750	30	2.6450	1.3500	121.7021
16	SAE 40	24	24	18.2500	30	2.6350	1.1400	115.1817
17	Unlubricated	24	24	15.9750	40	3.5050	0.2050	36.8243
18	Unlubricated	24	24	16.0025	40	3.3700	1.1900	33.3002
19	Grease	24	24	15.8250	40	2.1600	1.0850	42.2007
20	Grease	24	24	15.8750	40	3.2450	1.4000	45.9952
21	Graphite	24	24	16.0000	40	2.2500	0.3000	28.5802
22	Graphite	24	24	15.9850	40	1.6800	0.4250	27.3001
23	SAE 40	24	24	15.7250	40	2.5200	1.0600	58.3107
24	SAE 40	24	24	15.7500	40	2.6100	1.2500	59.5767

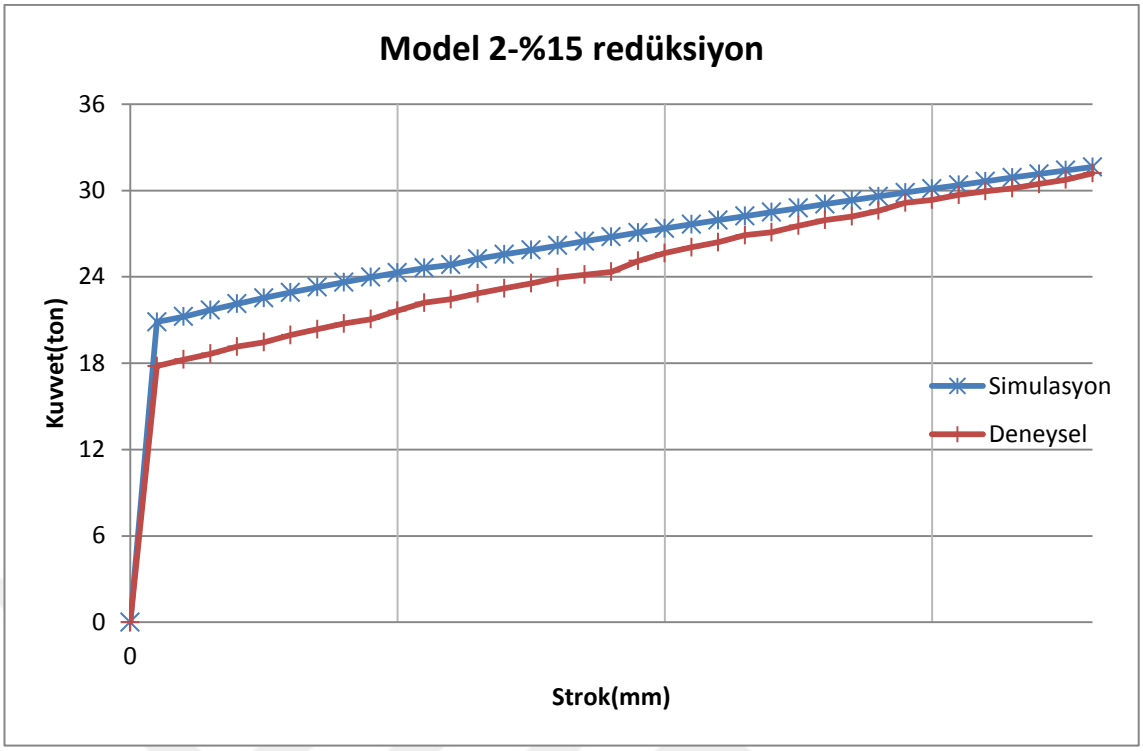
Şekil 5.3: Farklı yağlayıcılarda çelik-pirinç bi-metalik malzemelerin boylarının değişimi

Şekil 5.4'te ise farklı yağlayıcıların 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.

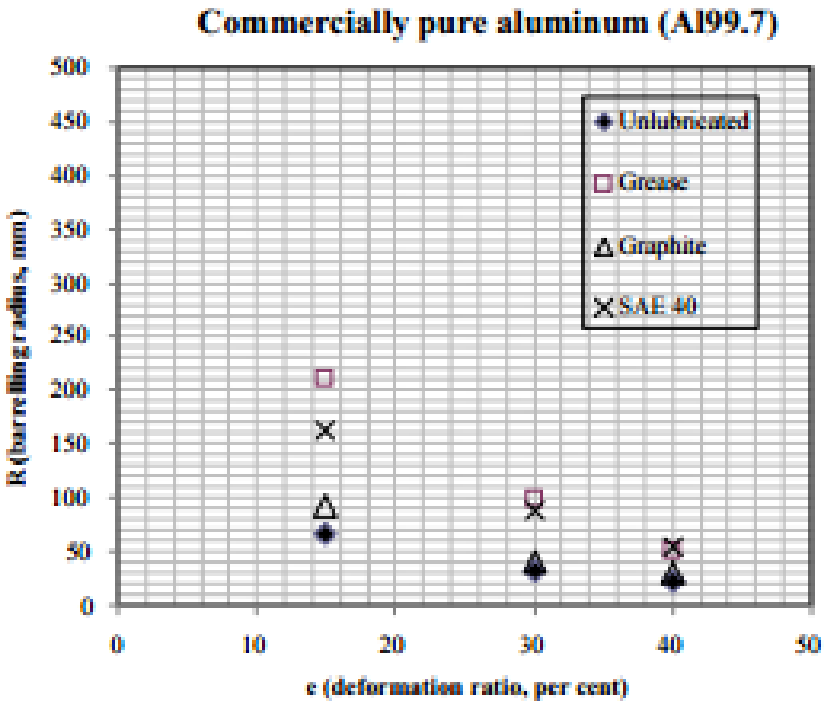
Specimen code	Lubricants	Initial height (h_o)	Initial dia. (d_o)	Final height (h)	Deformation ratio (strain) ϵ = ln(ho/h) (%)	Surface roughness before upsetting R_a (μm)	Surface roughness after upsetting R_a (μm)	Barrel radius (R)
1	Unlubricated	24	24	20.4250	15	4.5400	1.1550	67.0381
2	Unlubricated	24	24	20.4150	15	4.8250	1.3250	64.7104
3	Grease	24	24	20.5500	15	7.2400	1.7950	213.5204
4	Grease	24	24	20.4750	15	4.6350	1.5750	209.4443
5	Graphite	24	24	20.5750	15	4.5400	1.5800	90.8419
6	Graphite	24	24	20.6250	15	1.7900	0.8700	93.0003
7	SAE 40	24	24	20.4250	15	4.6500	0.9600	164.6078
8	SAE 40	24	24	20.4000	15	4.4800	0.8500	159.3959
9	Unlubricated	24	24	17.1250	30	4.5800	0.6750	31.1185
10	Unlubricated	24	24	17.0000	30	4.8100	0.9850	33.8107
11	Grease	24	24	17.0750	30	4.3600	0.6700	97.7204
12	Grease	24	24	17.0250	30	3.7900	0.4500	101.3833
13	Graphite	24	24	16.9500	30	5.9400	0.9900	41.2961
14	Graphite	24	24	17.0000	30	5.7400	1.1000	40.7100
15	SAE 40	24	24	17.1200	30	4.8000	1.0300	87.5184
16	SAE 40	24	24	17.1900	30	5.1500	1.1750	90.6917
17	Unlubricated	24	24	15.0000	40	4.3150	0.7000	23.5108
18	Unlubricated	24	24	14.9850	40	2.7700	0.3000	22.9346
19	Grease	24	24	14.8750	40	4.1000	0.5750	49.2424
20	Grease	24	24	14.8500	40	6.4600	1.6500	51.7301
21	Graphite	24	24	15.0750	40	7.9700	0.8000	30.7967
22	Graphite	24	24	15.0500	40	8.2600	0.4500	31.3061
23	SAE 40	24	24	14.8250	40	5.8400	0.8550	54.6449
24	SAE 40	24	24	14.8050	40	4.9100	1.0050	55.1341

Şekil 5.4: Farklı yağlayıcılarda çelik-bakır bi-metalik malzemelerin boylarının değişimi

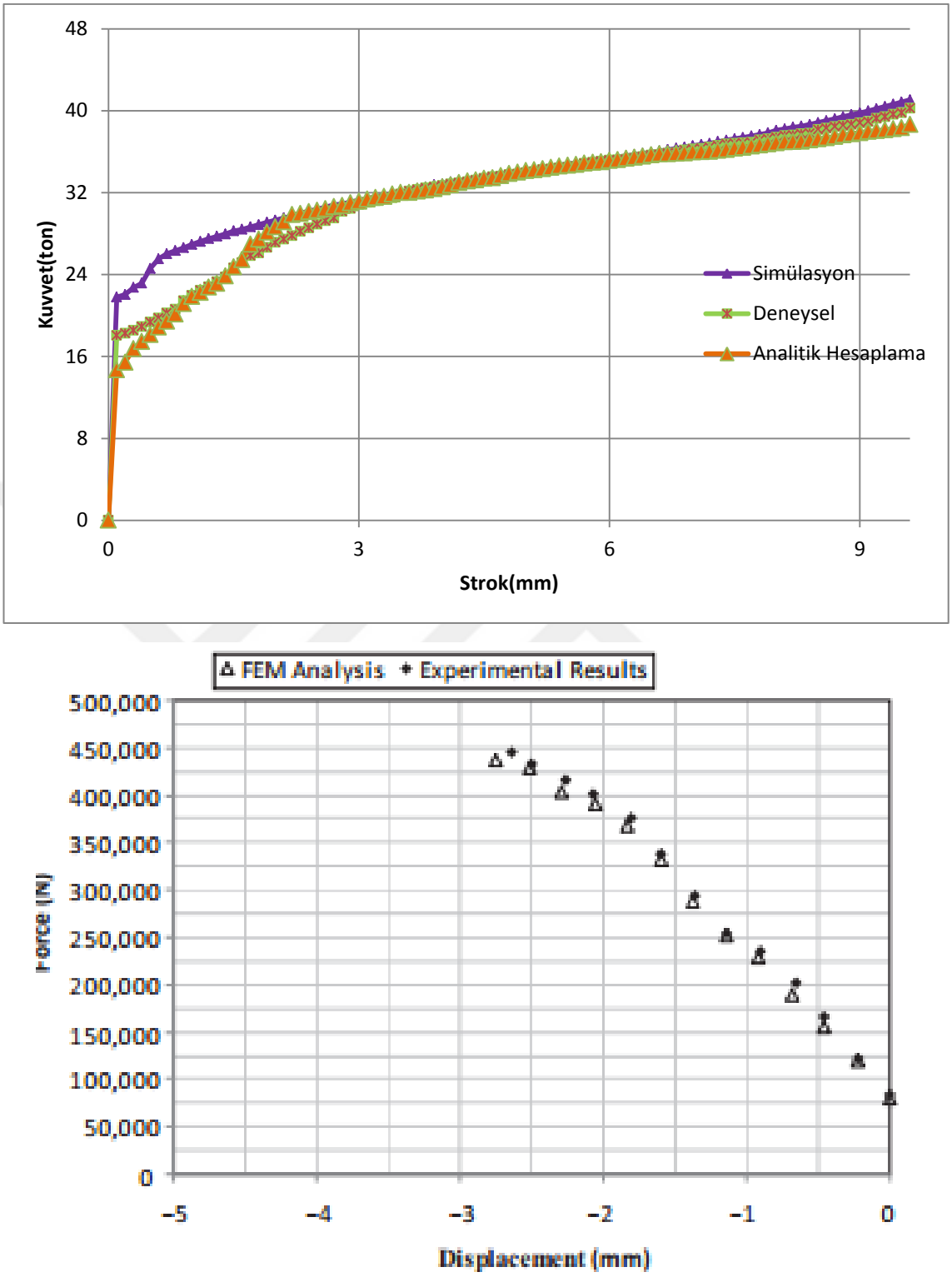




Şekil 5.5: Model 1 ve Model 2'nin %15 redüksiyon sonucu elde 0.1 mm step kontrollü yük diyagramları



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

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mevcut çalışmada piyasada kullanılan 8 farklı yağlayıcı kullanılarak yığma prosesi gerçekleştirilen bakır-çelik ve pirinç-çelik bimetalik malzemelerin mekanik özellikleri hem deneysel hem de numerik olarak analiz edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Model 1 yani bakır-çelik bimetalik silindirik parçanın yağlayıcı kullanmadan %40 oranında yığma prosesi sonucunda bakır ve çelik ara yüzeyinde herhangi bir boşluk meydana gelmemiş olup her iki malzeme de birbirine yığma prosesi esnasında nüfuz etmiştir. Buna karşın pirinç-çelik birleşiminden oluşan Model 2 bimetalik parçasının ara yüzünde %40 redüksiyon sonucunda Şekil 2'deki gibi boşluk meydana gelmiştir. Bunun sebebi pirinç malzemenin akma gerilmesinin çeliğin akma gerilmesinden daha düşük olması ve çelikten daha önce akmaya yani şekil değiştirmeye başlamasıdır. Yağlayıcı kullanımı sonucunda bu fark nispeten azalsa da tamamen önlenememiştir.

- Yığma prosesi boyunca en yüksek fıçılaşma, yani başka bir deyişle en düşük fıçı yarıçapı, beklendiği gibi minimum sürtünme sebebi ile yağlayıcısız koşulda gerçekleşmiştir. Tam tersi olarak da en düşük fıçılaşma yani en yüksek fıçı yarıçapı ise gres yağı ile gerçekleştirilen koşulda gerçekleşmiştir.

- Bimetalik parçaların fıçılaşma kontörüne yüzey pürüzlülüğünün etkisi de yapılan deney sonrasında parçaların yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi ile çok

büyük bir etkisi olmadığı görülmüştür. Yine aynı şekilde deformasyon miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğü miktarı az da olsa artmakta fakat genele bakınca büyük bir etki göstermemektedir.

- Kalıp-parça arasındaki minimum sürtünme miktarı gres yağı ile yağlama sonucu yapılan yığma prosesinde görülmüştür. Benzer olarak hesaplanan sürtünme değeri yine gres yağında en düşük değere ulaşmıştır.

- Sonlu elemanlar yöntemi deformasyona uğrayan parçanın fiçılaşma yarıçapının tahmininde ve yığma prosesinin fiziksel modelinin tasarımında çok etkili bir yöntemdir. Mevcut analiz gerekli yer değiştirmenin, şekillendirme yükü ve malzeme akışının tahmini için bu çalışmada deneysel verilere mükemmel bir sağlayıcı olmuştur.

- Gelecek çalışmalar için yine bimetalik malzemelerin kombinasyonlarının değişimi, yağlayıcı çeşitliliğinin artırılması, arayüz koşullarının değiştirilmesi gibi yenilikler planlanmaktadır.

Referanslar

[1] Behrens, B. Bistron, M., Kueper, A. (2008), "Investigation of load adapted gears and shaft manufactured by compound-forging", Journal of Advanced Manufacturing Systems 7 (1), 175-182.

[2] Domblesky, J., Kraft, F. (2007), "Metallographic evaluation of welded forging pre-forms", Journal of Materials Processing Technology 191, 82-86.

[3] Yang, Z., Zhou, L., Dong, J. (2010), "Observation of interface of two kinds of bimetal composite parts prepared by thixo-forging. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 20, 1579-1584.

[4] Yang, D.Y, Kim,Y.G.&Lee (1991), "An upper bound -bound solution for axisymetric extrusion of composite rods trough curved ". İnternational Journal of Machine and Tools Manofacture. Vol.31,pp. 565-575

[5] Maccarini, G., Giardini, C., Pellegrini, G., and Bugini, A., (1991),"The influence of Die Geometry on Cold Extrusion Forging Operations: FEM and Experimental Results", Mat. Proc. Tech., Vol:27, pp:227-238

[6] Prager, W., and Hodge, P.G., (1951), "Theory of perfectly plastic solids" John Wiley, Newyork.

[7] Rowe, G.W.,(1977), Principals of Industrial Metalworking Processes, Edward Arnold Publ., London.

[8]Vickery, J., and Monaghan J., (1994), "An Investigation of the Early Stages of a Forging/Extrusion Process" J. Mat. Proc. Tech., Vol:43, pp:37-50

[9] Vickery, J., and Monaghan J., (1995), "An Analysis of Closed Die Extrusion Forging" J. Mat. Proc. Tech., Vol:55, pp:103-110

[10] Başkaran K.& Narayanasamy, R. (2008), "Some aspects of baralleing in eliptical shaped billets of aliminium during cold upset forging ". Materials and Designs .Vol.29,pp. 638-661

[11] Vilotic , D. ; Plancak , V. ; Vujovic . V & Milutinovic M. (1996). "Theorical Solution of Contact Stresses and Forming Load in Upsetting of Cylinder by Spherical Dies ". Journal for Technology of Plasticity.Vol.21 ,(1-2),pp.1-9

[12] Vilotic , D. ; Vujovic . V & Plancak M. (1992). “ Analysis of Upsetting of Cylinder by Cylinder by Conial Dies ”.Journal for Technology of Plasticity.Vol.17 ,(1-2),pp.67-72

[13] Aksakal, B ; Sezek ,S ; Can ,Y . (2005). “ Forging of Polygonal discs using dual stream functions”. Materials & Designs .Vol 26 ,pp.643-654

[14] Thaheer, A.S.A& Narayanasamy ,R (2007). “ Barrelling in truncated lubricated zinc cone billets during cold upset forging ”. Materials & Designs .Vol 28 ,pp.434-440

[15] Thaheer, A.S.A& Narayanasamy ,R (2008). “ Comparison of barreling in lubricated truncated cone billets during cold upset forging of various metals ”. Materials & Designs .Vol 29 ,pp.1027- 1035

[16] Berski, S ; Dyja,H ; Banazesk ,G & ,Manolakos ,D.E (1998). “ Fabrication of bimetallic rods by explosive cladding and warm extrusion process in double reduction die ”. Journal for Technology of Plasticity.Vol.153-154 ,pp.583-588

[17]Berski, S ; Dyja,H ;Maranda , A ; Nowaczevski , J & Banazesk ,G (2006). “Analysis of quality of bimettalic rod after extrusion process ”. Journal for Technology of Plasticity.Vol.177 ,pp.582-586

[18] Thaheer, A.S.A& Narayanasamy ,R (2008). “ Comparison of barreling in lubricated truncated cone billets during cold upset forging of various metals ”. Materials & Designs .Vol 29 ,pp.1027- 1035

[19] Vilotic , D. ; Vujovic . V & Plancak M. (1992). “ Analysis of Upsetting of Cylinder by Cylinder by Conial Dies ”.Journal for Technology of Plasticity.Vol.17 ,(1-2),pp.67-72

[20] Cetintav, I., “Farklı Malzemeler Kullanılarak Üretilmiş Bimetalik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

[21] Misirli, C., “On materials flow using different lubricants in upsetting process, Industrial Lubrication and Tribology”, 2014.