T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSTRÜZYON TİPİ DÖVME PROSESİ İÇİN FARKLI KALIP GEOMETRİSİ UYGULAMASI

İlhan DİNÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI

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 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. Tarık YERLİKAYA

Tarih: 17/09/2014

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.

17/09/2014

İlhan DİNÇ

Yüksek Lisans Tezi
İlhan DİNÇ
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

İnsanlar yaratılıştan bu yana hayatlarını kolaylaştırmak için taş, metal, ahşap gibi çok çeşitli malzemelere şekil vererek alet, ekipman ve makineler yapmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile yeni malzeme geliştirilmiş ve bu malzemelerin kullanılabilir bir şekilde sokulması için daha modern teknik ve metaller uygulanmaya başlanmıştır. Mühendislik malzemeleri olarak adlandırılan metal veya plastik şekillendirme yöntemleri uygulanarak üretimin artması sağlanmıştır.

Ülkemizde sanayileşme çalışmaları Cumhuriyetle birlikte hızlanmıştır. Günümüzde yerli üreticilerin rekabet gücünü koruyabilmesi için yapacakları AR-GE çalışmalarına ve bunların başarılarına bağlıdır.

Sanayi anlamlı olarak üretim eldeki hammaddelerin işlenerek istenilen özellik ve biçimdeki bitmiş ürün haline gelmesidir. Bir hammaddenin ürün haline gelebilmesi için birbirinden farklı üç aşamadan geçmesi gerekir. Bunlar;

1- Başlangıç (Hammadde)
2- Proses (Süreç)
3- Sonuç (Ürün)

İlk aşamada pazarlanabilir bir ürün elde etmek için gerekli olan hammaddeyi elde etmek gerekir. İkinci aşamada ürün için gerekli tasarımın yapılması ürün yöntemlerinin geliştirilmesi ve verimliliğin arttırılması önemlidir. Üçüncü aşamada üretilen ürünün alıcıya pazarlanması ve yaygınlaştırılmasıdır.

Son yıllarda günümüz yaşam standartlarımızın artması büyük ölçüde yüksek kaliteli ürün tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretiminin gerçekleşmesi sayesinde olmuştur.

Mühendislik disiplini içinde üretim yöntemlerini iç ve dış dönüşümler olarak genellikle iki gruba ayrılarak incelenebilir. İç dönüşümler genellikle cevherin indirgenmesi kimyasal arıtma ısıl işlemler gibi maddelerin kimyasal dönüşüme uğradıkları üretim teknikleridir. Dış dönüşümler ise malzemenin istenilen biçim ve boyuta sokulması anlamında olup, bu teknikler için genellikle üretim yöntemleri adı kullanılmaktadır. Başlıca üretim yöntemleri döküm, kaynak, plastik şekil verme ve talaş kaldırma yöntemleridir.

Üretim yöntemlerini sınıflandırdığımızda;

1. Grup biçimlendirmedir. Bu yöntemde belli bir şekle sahip olmayan katı parçacıklar arasında bağlantı oluşturularak bir şekil yaratmaktır. Döküm ve toz metalleri bu gruba dahil edilebilir.

2. Grup şekil değiştirme: Bir katı cismin kütlesini ve biçimini değiştirmeden başka bir şekle dönüştürmedir. Plastik şekil ve bu grupta yer alır.

3. Grup Ayırma: Malzeme üzerinde talaş kaldırarak yapılan şekil vermedir.

4. Grup Birleştirme: Birbirinden ayrı parçalar arasında bağlantı oluşturularak başka elemanlar meydana getirmedir. Kaynak, lehim ve yapıştırma bu gruba dahildir.

5. Grup Kaplama: İş parçasının ömrünü uzatmak için yapılan işlemlerdir. Boyama, galvanizleme ve plastik kaplama bu gruba dahil edilmektedir.

6. Grup Malzeme özelliklerinin değiştirilmesi: İş parçasında optimum özellikler elde etmek amacıyla yapılan işlemlerdir.

Üretim yöntemleri içinde plastik şekil vermenin yeri ve öneminin ana hatlarıyla kısaca açıklandığı bu bölüm, sunulan çalışmanın alanını da belirlemiş olmaktadır. Plastik şekil vermenin belirgin karakteristik özellikleri şunlardır:

- Bu yöntemde malzemenin kütle ve hacmi sabit kalır, sadece şekli değişir.
- Yöntem yüksek sıcaklıklarda uygulanırsa mekanik özelliklerde önemli iyileşmeler görülür.
- Plastik şekillendirmeyle hassas parçalar üretilebilir.
- Yöntem için kullanılan tezgahlar seri üretime uygundur.

Dövme ile şekil verme bir plastik şekillendirme yöntemidir. Çeşitli metallerden geniş aralıkta ve boyutta iş parçaları yapılabilir. Krank milleri, bilyeler, türbin diskleri, dişliler, volanlar, el aletleri, cıvata başları bu yöntemler yapılan parçalardır. Açık veya kapalı kalıplarda parçalar dönüşerek istenilen şekle getirilir.

Dövme ilke vermenin avantajı çıkan ürünün yüksek mukavemetli olması, ısıl işleme aynı tepkiyi veren parçalardan oluşmasıdır. Dövmeden sonra da parçalar gerekirse kaynak edilebilir veya talaş kaldırılabilir yapıdadır. Dövmede üretim hızı yüksektir.

Bir başka plastik şekil verme yöntemi Ekstrüzyon'dur. Genel olarak ekstrüzyon alüminyum bloğun presin sağladığı büyük kuvvet ile kalıp içersinden geçirilerek kalıbın şekline sahip olan profilin elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Alüminyum ekstrüzyon sıcak olarak yapılır. Alüminyum kütükler (biyetler) 420 – 470 °C de ısıtılır, kalıplar 450 °C ısıtılmış olmalıdır. Presten çıkan profilin sıcaklığı, 500 °C civarındadır.

Ekstrüzyon aynı zamanda kesit düşürme işlemidir. Alüminyum biyetin kesiti alüminyum profilin kesitine dönüştürülmektedir.

Ekstrüzyon tekniği ile kurşun, bakır, alüminyum magnezyum ve bu metallerin alaşımları yaygın olarak ekstrüde edilirler. Çeliğin ekstrüzyonu daha zordur. Fosfat esaslı ve ergimiş cam yağlayıcıların gelişmesi ve kullanılmasıyla birlikte çelik ekstrüzyeni yapılmaktadır.

Ekstürüzyon yöntemi ile çubuk boru, şerit gibi ürünler elde edilebildiği gibi, çok karmaşık şekiller ve kesitler elde edilmektedir. Elde edilen şekiller yarı mamul oldu gibi doğrudan kullanılan bitmiş ürünlerde olabilir.

Darbeli ekstrüzyon yöntemi ile kurşun, Alüminyum, buhur gibi hafif metallerin soğuk olarak ekstrüze edilmesiyle dış macunu ilaç tüpleri imal edilebilmektedir.

Yıl : 2014
Sayfa Sayısı : 99
Anahtar Kelimeler : Ekstrüzyon, Dövme, Kalıp, Plastik İşleme, Talaş Kaldırma

Master's Thesis

İlhan DİNÇ

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

Starting from the genesis, man has been made tools. Machines and equipments to smooth his way of life. By employing a variety of materials like stone wood and metals. In parallel to the improvements in technology, new materials were developed. And modern techniques and methods were put into practice for making use of them. Forming methods for the "engineering materials". Namely metals and plastics have been led to an increase in production.

In our country, efforts in industrialization have been accelerated by the republican regime. Today, for the domestic producers, the maintenance of their competitive capacity substantially depends on the r&d studies and the success in them.

In the industrial context, "production" means processing the raw material to bring it into an end product with desired form and specificity. A raw material should pass through three stages; namely,

1- Start (raw material)

2- Process

3- Resultant product.

At the first stage, the raw material necessary to produce a marketable product, should be obtained. At the second stage, It is important to design the product, improve the production method and the productivity. The third stage involves marketing the product to consumers, and increase the market coverage.

Our today's improved life conditions have been realized through the designs of high quality products and their production in a serial and economical manner.

Within the engineering discipline, the production methods could be studied in two separate groups; namely, inner and outer transformations. Inner transformations, in general, are the production techniques, in which the materials are chemically transformed by means of or reduction, chemical refinement, heat treatment, etc. Outer transformations, on the other hand, mean forming the material into the desired form and dimensions, and called in general, "the production methods". Primal production methods are; casting, welding, plastic forming (forgeing) and chipping (machining) .

If the production methods were to be classified, the first group is "moulding". By this method, the morph solid matter parts are plugged into take the desired form. Casting and powdered metals could be involved in that group.

The second one is reforming. By this method, A solid part of material is reformed into the desired shape without changing its mass and volume. Forged plastic forming involves in this group.

The third one is removing; that is chipping (machining) the material into the desired form.

The fourth one is joining; Separate parts are plugged into each other to form the desired system. Welding, plumbing and gluing involves to this group.

The fifth one is covering: Treatments applied to lengthen the life of the product. Involves painting, galvanizing, and plastic covering .

The sixth one is changing materials' properties.

This chapter, in which the importance of plastic forming is outlined, also defines the theme of our study.

The characteristic properties of plastic forming are as follows:

*In this method the form of material is changed while its mass an volume remains constant.

*When applied at high temperatures, substantial improvements in mechanical properties.

*Accurate parts can be produced by plastic forming.

*Machinery used for are suitable for mass production.

Forming by forging, is a plastic forming method. Various parts in various dimensions can be made of metals. Cranks, bearing, turbine discs, steering wheels, hand tools , bolt heads, etc. Parts are made by forging in open or closed moulds.

The advantage of forging is that; the product has high strength and gives the same respond to the heat treatment. After forging, the parts can also be welded, machined. The production rate is high.

Another plastic forming method is “extrusion”. In general, extrusion can be defined as forming an aluminium block by forcing it to pass through a mould. Aluminium extrusion is applied at high temperatures. Aluminium logs are heated to 470 Degree Celsius. The moulds should be at 450 Degree Celsius. The profile coming out of the mould is at 500 Degree Celsius.

Extrusion is also a section reducing process. The section of aluminium logs transform into profile’s section. With this technique lead, copper, aluminium, magnesium alloys can be formed.

With the improvement of the phosphate based glass lubricants, it also have become possible to extrude the steel.

The produced profiles can also be the end products, as well as they can be semi produced materials.

By the forced extrusion method, lead, aluminium and copper can be used for making tooth paste and medicine tubes.

Year : 2014
Number of Pages : 99
Keywords : Extrusion, Forging, Moulding, Plastic Forming, Chipping

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen, akademik bilgi ve tecrübelerini örnek aldığım danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI'ya sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana destek veren, saygı gösteren her zaman yanımda olan saygıdeğer eşim Ayla DİNÇ'e ve vakitlerinden çaldığım halde bana anlayış gösteren güzel kızlarım Azra ve Alya'ya teşekkür ederim.

Ayrıca beni büyüten ve bugünlere gelmem için sabırla emek veren biricik Annem Sakine DİNÇ'e, babam Aliseydi DİNÇ'e ve her zaman yanımda olduklarını hissettiren kardeşlerime özellikle ablam Gülay SARAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Şekiller Dizini 1
1.GİRİŞ 3
1.1. Üretim Yöntemleri 3
1.2. Üretim Yöntemleri Ve Sınıflandırılması 6
1.3. Üretim Yöntemi Olarak Plastik Şekil Verme 9
1.3.1. Basma Türü Biçimlendirme İşlemleri 12
1.3.2 Birleşik Çekme Ve Basma Türü Biçimlendirme İşlemleri 12
1.3.3. Çekme Türü Biçimlendirme İşlemleri 13
1.3.4. Eğme Türü Biçimlendirme İşlemleri 13
1.3.4.1. Eğme Açısı 14
1.3.4.2. Çekme Ve Basma İle Eğme 14
1.3.4.3. Merdane İle Eğme 15
1.3.5.Kesme Türü Biçimlendirme İşlemleri 16
2.DÖVME 20
2.1. Açık Kalıpta Dövme 22
2.1.1.Fıçılaşma 24
2.1.1.1.SÜRTÜNME 24
2.1.1.2. Sıcaklık Farkı 25
2.2. Kapalı Kalıpta Dövme 25
2.3. Dövmenin Avantajları 27
2.4. Dövmenin Dezavantajları 27
3. EKSTRÜZYON 28
3**.1. Giriş** 28
3.2. Ekstrüzyon Yöntemleri 30
3.2.1.Direkt Ekstrüzyon Yöntemi 30
3.2.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi 31
3.2.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi 32
3.2.4. Darbeli Ekstrüzyon Yöntemi 33
3.3.Ekstrüzyon İşlemleri 34

3.3.1.İleri (Direk) Ekstrüzyon 34
3.3.2. Geri Yönde Ekstrüzyon 35
4.EKSTRÜZYON TİPİ DÖVME PROSESİ 37
4.1. Prosesin Tanımı 37
4.1.1.Birinci Kademe 39
4.1.2.İkinci Kademe 40
4.1.3. Üçüncü Kademe 40
H**5.ÜST SINIR METODU** 44
5.1. Giriş 44
5.2. Üst Sınır Metodunun Formülasyonu 46
5.2.1. İdeal Deformasyon Enerjisi 47
5.2.2. Kayma Enerjisi 49
5.2.3. Sürtünme Kayıpları 51
5.2.4. Geriye Çekme 51
5.2.5. Toplam Enerji Dağılımı 52
6.YONCA (CLOVER) BİÇİMLİ BİR PARÇANIN MATEMATİK MODELİ 54
6.1. Giriş 54
6.2. Birinci Kademe Başlangıç Deformasyonu 56
6.2.1. İç Deformasyon İçin Enerji İhtiyacı 59
6.2.2.Sürtünmeden Dolayı Enerji İhtiyacı 62
6.2.3. Hız Süreksizlikleri Boyunca Enerji İhtiyacı 65
6.2.4.Birinci Kademe İçin Toplam Enerji İhtiyacı 67
7.DENEYSEL ÇALIŞMA 69
7.1. Giriş 69
7.2. Deney Prosedürü 69
7.3. Deneylerin Yapılışı 72
8. SONUÇLAR VE İRDELEME 74
SONUÇLAR 78
9.KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ 84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Üretim yöntemler……...…….……...… 7
Şekil 1.2. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması……...… 8
Şekil 1.3. Çekme ve Basma ile Eğme……..…….....…….…15
Şekil 1.4 Merdan……...……...…. 15
Şekil 1.5. Kesme Yöntemi……..…..... 17
Şekil 2.1. Tanelerin Durumları……...……...…. 21
Şekil 2.2. Sıcak Dövmede TanelerinDurumları…….....…… 22
Şekil 2.3. Açık Kalıpta Dövme……..…...….....23
Şekil 2.4. Açık kalıpta dövme işlemi…….……..... 24
Şekil 2.5. Fıçılaşma…….……...…….……....…..25
Şekil 2.6 Basit Bir Parçanın Kapalı Kalıpla Çapaklı Dövülmesi…….…… 26
Şekil 3.1 Ekstrüzyon Yolu İle İmalat……..…….……...… 28
Şekil 3.2 Ekstrüzyon Yolu İle İmalat……..……...…. 30
Şekil 3.3 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi……..……....…31
Şekil 3.4 İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi……..……..……..… 32
Şekil 3.5 Direkt ve Endirekt Ekstrüzyon…….……..……...…..33
Şekil 3.6. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi…….…...…33
Şekil 3.7. Darbeli Ekstrüzyon……..……..….. 34
Şekil 4.1.a Kapalı Kalıpla Ekstrüzyon Tipi Dövme (Geriye Ekstrüzyon)…...…….. 38
Şekil 4.1.b Açık Kalıpla Ekstrüzyon Tipi Dövme (Geriye Ekstrüzyon)…….....…. 38
Şekil 4.2. Bir Ekstrüzyon Tipi Dövme İşleminde Birbirinden Farklı Bölgeler…...… 39
Şekil 4.3. Birinci Kademede Malzeme Akışı……...…...… 40
Şekil 4.4.İkinci Kademede Malzeme Akışı……..……40
Şekil 4.5.Üçüncü Kademede Malzeme Akışı…….…. 41
Şekil 4.6. Hammadde ve Bitmiş Ürün Boyutları…….……...……. 42
Şekil 5.1. Hız Süreksizliği……...……..……..… 43
Şekil 6.1. Ekstrüzyon Kalıbı ve Ürün……..…...…. 54
Şekil 6.2 Ürün Boyutları (R=3.675)……...……..55
Sekil 6.3 Koordinat Ekseni Tanımı……...…….…….. 55

Şekil 6.4. Birinci Kademede Hız Süreksizliği Yüzeyleri……...…….. 65
Şekil 7.1. a) Deneylerde Kullanılan Dairesel Kalıp…….……..…….. 70
Şekil 7.1. b) Deneylerde Kullanılan Yonca Tipi Kalıp…….70
Şekil 7.2. Deneyde Kullanılan Pres…….…...…….…..71

1.GİRİŞ

İnsanoğlu yaratılışından bu yana hayatını kolaylaştırmak için taş, metal, ahşap gibi çok çeşitli malzemelere şekiller vererek alet, ekipman ve makineler yapmıştır. Malzemelerin özelliğine göre şekillendirme yöntemi uygulanmış yani; taş yontulmuş, demir dövülmüş ya da dökülmüş ve ahşap yontularak şekillendirilmiştir.

Teknolojinin gelişmesi ve gerekleri yeni malzemelerin geliştirilmesini zorlamış ve bu malzemelerin kullanılabilir bir şekle sokulması için daha modern ancak temelde dökme, birleştirme, talaş kaldırarak işleme ve dövme, eğme, bükme, çekme gibi plastik şekillendirme metotları geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Mühendislik malzemeleri olarak adlandırılan metal veya metal dışı tüm malzemeler döküm, kaynak, talaşlı veya plastik şekillendirme yöntemlerinden biri veya birkaçının birden uygulanması ile mühendislik ürünleri haline dönüşürler veya bu ürünlerin bir araya getirilmesiyle bir sistemin yapımında yer alırlar.

Ülkemizdeki sanayileşme çalışmaları özellikle Cumhuriyetle birlikte hızlanmış ve küçümsenemeyecek atılımlar yapılarak önemli başarılara imza atılmıştır. Önceleri gümrük duvarlarıyla yapılan koruma, 1996 Avrupa Gümrük Birliğiyle birlikte ortadan kalkmıştır. Bunun sonucunda yerli üreticilerin rekabet gücünü koruyabilmeleri, yapacakları araştırma-geliştirme çabalarına ve bunların başarılarına bağlı hale gelmiştir.

1.1. Üretim Yöntemleri

Sanayi anlamı olarak üretim, eldeki hammaddenin işlenerek istenilen özellik ve biçimdeki bitmiş ürün haline getirilmesinde hammadde, proses ve üründen oluşan bir süreç olarak tanımlanır.

Üretim çok geniş bir disiplin olduğundan detaylı olarak anlaşılması sadece makine veya imalat mühendislerine değil, amaçları insan ihtiyaçlarını karşılamak olan diğer mühendislik dallarına da yardımcı olur. Üretime başlangıç olarak enerji, zaman ve insan kaynakları konusunda yeterli fizibilite çalışması yapıldığı taktirde proses aşamasına geçilebilir. Proses aşamasında ilk sırayı dizayn alır. Dizayn temel hareket noktası seçilerek değişik planlar gerçekleştirilir ve bunlar proses aşamasının işleme kısmında yerine konur. Kaynakların ve prosesin doğru yönetilmesi verimlilik ve üretkenliğin arttırılması bakımından önemlidir. Pazarlama konusu da ürünün en iyi ve karlı şekilde alıcıya ulaşmasında etkin bir rol üstlenmektedir. Son aşama yani sonuç aşamasında ürünün alıcıya ulaştırılması, bu ürünün ürün ile ilintili diğer ürünler ile desteklenmesi ve ürünün kullanılması konusundaki diğer bilgiler ile kullanım karmaşıklığındaki pürüzlülüklerin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır.

Üretimin birbirinden farklı 3 aşaması mevcuttur bunlar;

1) Başlangıç (Hammadde)

2) Proses (Süreç)

3) Sonuç (Ürün)

Bu aşamaların içerikleri Çizelge 1.1'de verilmektedir.

ÜRETİM		
BAŞLANGIÇ	**PROSES**	**SONUÇ**
• Hammadde • Enerji • Zaman • Talep • İnsan kaynakları • Sermaye	• Planlama • Tasarım • Yönetim • İşleme • Pazarlama	• Tamamlayıcı ürünler • Kullanım konusunda bilgilendirme • Alıcıya ulaşma

Çizelge 1.1 Üretim aşamaları ve içerikleri

İlk aşama, pazarlanabilir bir ürün elde edebilmek için gerekli olan tüm şartları kapsar. Ancak doğaldır ki ürün için öncelikle bir talep veya ihtiyaç olmalı ve bu talep yatırım maliyetlerini karşılamalıdır. Ürün tüm ülkenin ihtiyacını karşılayacak halde iken bile yatırım maliyetlerini karşılayamıyorsa üretimin gerçekleşmesi söz konusu değildir. Bu şart sağlanırsa gerekli hammaddeye bir şekilde ulaşılır. Üretime geçmeden fizibilite çalışması yapılması gereken diğer alt kısımlar ise enerji kaynakları, zaman ve insan kaynakları olarak sıralanabilir.

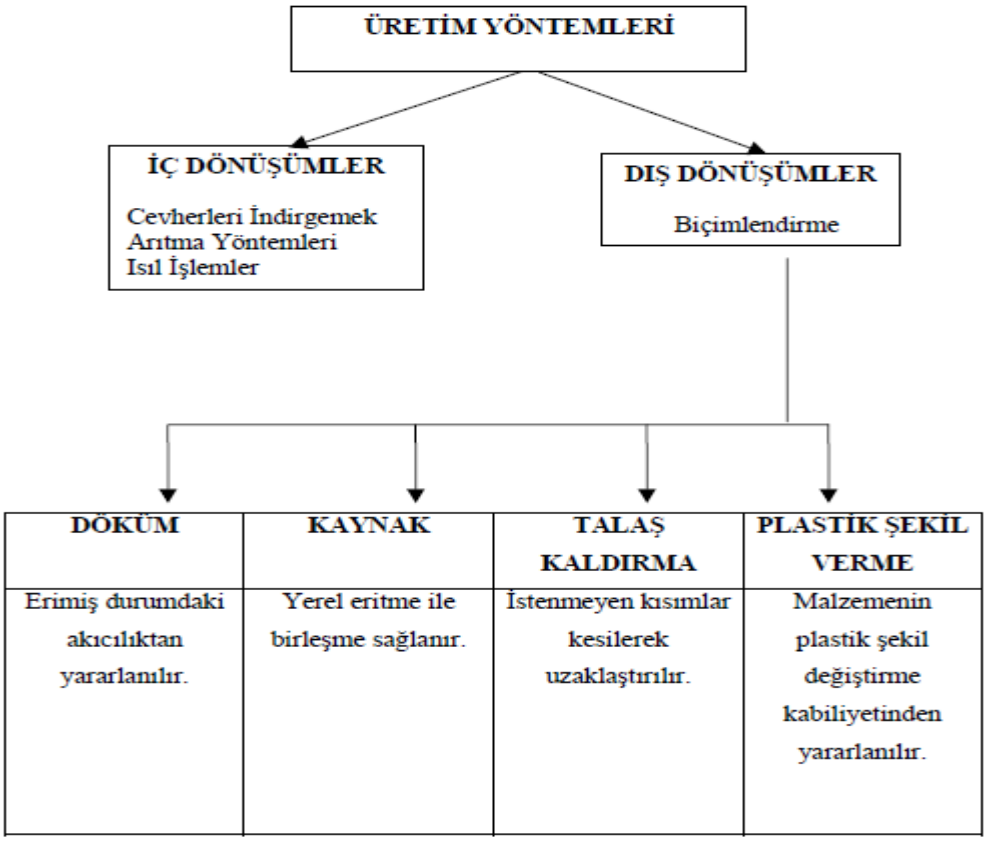
Proses aşaması da çeşitli kısımlara ayrılır. İlk karşımıza çıkan kısım tasarımdır. Tasarım temel hareket noktası seçilerek değişik planlar gerçekleştirilir ve bunlar süreç aşamasının işleme kısmında yerine konur. Kaynakların ve prosesin doğru yönetilmesi verimlilik ve üretkenliğin arttırılması bakımından oldukça önemlidir. Sürecin son kısmını pazarlama oluşturur. 3. ve son aşama ürün aşamasıdır. Bu aşamanın ilk kısmı ürünün alıcıya ulaştırılmasıdır. Ürünün niteliğine bağlı olarak tamamlayıcı diğer ürünler tarafından desteklenmesi gerekebilir. Yine ürünün kullanma karmaşıklığına bağlı olarak kullanım konusunda bilgilendirme bölümüne ihtiyaç duyulabilir

1.2. Üretim Yöntemleri Ve Sınıflandırılması

Son yıllarda, günümüz yaşam standartlarında sağlanmış inanılmaz artış büyük ölçüde yüksek kaliteli ürün tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretimini sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi sayesinde gerçekleşmiştir. Üretim yöntemlerini tanımak, yalnızca makine mühendisleri için değil, diğer mühendislik dalları içinde kaçınılmazdır. Mühendisler üretim yöntemlerinin her birinin üstünlüklerini, sınırlarını, olanaklarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve doğru ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadırlar.

Mühendislik disiplini içinde üretim yöntemlerini iç ve dış dönüşümler olarak iki gruba ayırarak inceleyebiliriz. İç dönüşümler genellikle cevherlerin indirgenmesi, kimyasal arıtma, ısıl işlemler gibi maddelerin kimyasal dönüşüme uğratıldıkları üretim teknikleridir. Dış dönüşümler ise malzemelerin istenilen biçim ve boyutlara sokulması anlamında olup, teknik terminolojide bu teknikler için genellikle üretim yöntemleri adı kullanılmaktadır. Birçok değişik yöntem içeren üretim yöntemlerinin başlıcaları döküm, kaynak, plastik şekil verme ve talaş kaldırma yöntemleridir. Şekil 1.1.'de üretim yöntemleri ile ilgili bilgiler gösterilmektedir.

Bahsedilen üretim yöntemlerinin genel olarak bir sınıflandırmasını yapmak istediğimizde temel olarak 6 grubun var olduğu görülmektedir. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Üretim yöntemleri

Döküm ve Sinterleme, Ana grup 1	Plastik Şekillendirme, Ana grup 2	Ayırma, Ana grup 3	Birleştirme, Ana grup 4	Kaplama, Ana grup 5	Malz. Öz. Değiştirme, Ana grup 6
Grup 1.1 Gaz ya da buhardan (metal buharlaştırma)	Grup 2.1 Basma ile (haddeleme vb.)	Grup 3.1 Kesme ile	Grup 4.1 Bir araya getirerek (vidalama vb.)	Grup 5.1 Gaz ya da buhardan	Grup 6.1 Malzeme içerisinde taşınım ile (temperleme vb.)
Grup 1.2 Akışkan, katı-sıvı, macun kıvamından (döküm, ekstruzyon vb.)	Grup 2.2 Çekme-basma ile (derin çekme vb.)	Grup 3.2 Talaş kaldırma ile (geometrik olarak belirli) Frezeleme vb.	Grup 4.2 Dolgu ile	Grup 5.2 Akışkan, katı-sıvı, macun kıvamından (Laklama vb.)	Grup 6.1 Malzeme içerisinden dışarı taşınım ile (dekarbürizasyon vb.)
Grup 1.3 Elektrolitik ortamda iyon taşınımı ile (Elektrotyping vb.)	Grup 2.3 Çekme ile (uzatma vb.)	Grup 3.3 Talaş kaldırma ile (geometrik olarak belirsiz)	Grup 4.3 Pres ile (rulman montajı vb.)	Grup 5.3 Elektrolitik ortamda iyon taşınımı ile (Galvanizleme vb.)	Grup 6.1 Malzeme dışından içerisine taşınım ile (sementasyon vb.)
Grup 1.4 Katı (toz) halinden (Sinterleme vb.)	Grup 2.4 Eğme ile (bükme vb.)	Grup 3.4 Aşındırma ile (zımparalama vbç)	Grup 4.4 Döküm yolu ile	Grup 5.4 Katı (toz) halinden (püskürtme vb.)	
	Grup Kayma ile (yay üretimi vb.)	Grup 3.5 Parçalarına ayırma (sökme vb.)	Grup 4.5 Plastik şekillendirme ile		
		Grup 3.6 Temizleme	Grup 4.6 Bağlama ile		
		Grup 3.7 Tahliye etme			

Şekil 1.2. Üretim yöntemlerinin sınıflandırılması

Grup 1. Birincil Biçimlendirme :

Belirli herhangi bir şekle sahip olmayan katı parçacıklardan birincil şeklin yaratılması veya parçacıklar arasında bağıntılar oluşturulması ile ilgili üretim yöntemleri bu grup içinde yer almaktadır. Döküm ve toz metalurjisi bu gruba dahil edilebilir.

Grup 2. Şekil Değiştirme :

Bir katı cismin kütlesini veya bileşimini değiştirmeden şeklini başka bir şekle dönüştürmeye yada bağın arttırılması ile ilgili üretim anlaşılır. Plastik şekil verme yöntemleri bu grupta yer alır.

Grup 3. Ayırma:

Bağın kopartılarak talaşlı biçimlendirme ile malzemenin ana kütleden kopartılması ile ilgili üretim yöntemi anlaşılır. Talaşlı şekil verme ve taşlama bu grupta yer alır.

Grup 4. Birleştirme :

Birbirinden ayrı parçalar arasında bağlantı oluşturarak başka elemanlar meydana getirmeyle ilgili üretim yöntemleri anlaşılır. Kaynak, lehim ve yapıştırma bu gruba dahil edilebilir.

Grup 5. Kaplama :

Gerek iş parçasının ömrünü uzatmak, gerekse şekil bütünlüğünü sağlamak açısından iş parçası ile kaplama malzemesi arasında bağ oluşturmak söz konusudur. Boyama, galvaniz çekme ve plastik tabakalar kaplama bu gruba dahil edilebilir.**Grup 6. Malzeme Özelliklerinin Değiştirilmesi :**

İş parçasında optimum özellikler elde etmek amacıyla malzeme özelliklerinin değiştirilmesi anlaşılır. Burada malzemeden parçacıklar çıkarmak, parçacıklar ilave etmek veya parçacıkların yeniden düzenlenmesi ile ilgili işlemler söz konusudur.

1.3. Üretim Yöntemi Olarak Plastik Şekil Verme

Plastik (Talaşsız) şekillendirme işlemleri, çeşitli takım ve kalıplarla uygulanan kuvvetler altında bazı malzemelere (genellikle metallere), plastik akma kabiliyetinden faydalanarak, özellikleri kötüleştirmeden katı durumda şekil verme operasyonlarıdır. Malzemeyi istenen şekle getirmek için fazla kısımlarının kaldırılması söz konusu olmadığından malzeme israfı ya çok azdır veya hiç yoktur. Fakat gerek duyulan kuvvetler genellikle yüksektir. Makine ve takımlar oldukça pahalı olduğundan dolayı şekillendirmeyi ancak büyük üretim miktarları verimli kılar.

Hemen hemen, bütün metaller bazı üretim safhalarında şekil değiştirmeyle mamül parça haline getirilirler. Döküm ingotlar, kalın takozlar ve kalın levhalar, boyutları değiştirilerek ince levha, çubuk ve plaka gibi temel şekillere dönüştürür. Bu yarı mamüller; daha ileri deformasyonlarla tel veya dövme, ekstrüzyon, ince metal ve diğer şekiller gibi sayılamayacak kadar çok ürünlere dönüştürülebilirler. Deformasyon; üç boyutta akma, basit kayma, basit veya bileşik eğme veya diğer mekanizmaların herhangi bir kombinasyonu şeklinde olabilir. Hız, sıcaklık, tolerans, yüzey tamlığı ve deformasyon miktar, en önemli imalat faktörleridir.

Karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları gibi demir dışı malzemeler plastik şekil verme yöntemleri ile şekillendirilebilmektedir.

Malzemelere plastik şekil vererek üretim; sağladığı yüksek mekanik özellikler, yüksek üretim hızı, iyi yüzey kalitesi, dar tolerans aralıkları, düşük parça başı maliyet ve hemen her geometride parçanın üretilebilmesi gibi avantajları nedeniyle en çok tercih edilen üretim yöntemlerinin başında yer almaktadır.

Aşağıdaki liste plastik şekil değiştirme ile üretilen iş parçalarının en önemli uygulama alanlarını teknik önemi ile birlikte vermektedir:

- Otomobil parçaları ve makine takımları yapımında kullanılması (Burada metal biçimlendirme hafif alaşımların dizaynının gelişiminde önemli bir bağ oluşturmaktadır),
- Çekiçler, tornavidalar, el takımları ve tıbbi cihazların yapımında kullanılması,
- Cıvata, vida ve perçin gibi bağlama elemanlarının yapımında kullanılması,
- Metal kutular ve içecek kutularının yapımında kullanılması,
- Tünel açma ve madencilik kollarında parça imalatında kullanılması,
- İnşaat sektöründe kapı ve pencere tutucuları, kornişler gibi elemanların imalatında kullanılması.

Üretilecek parçaların boyutları ve malzemelerine göre bir takım ayrılıklar görülmesine rağmen plastik şekillendirme yöntemlerinin başlıca karakteristik noktaları şu şekilde sıralanabilir:

- Şekil değiştirme için gerekli gerilme ve kuvvet değerleri çok büyüktür. Gerilmeler 50-2500 Mpa arasında değişmektedir. İş parçasının tümü veya çok büyük bir kısmı deforme edildiği için gerekli kuvvet değerleri de çok yüksektir. Örneğin yüksek kapasiteli bir planyada kesme kuvvetleri ancak birkaç kN'a çıkabildiği halde basit bir kalıpta kesme işlemi için kullanılan küçük bir eksantrik preste en azından 20 kN gibi bir kuvvet söz konusudur.

- Parçaların büyük bir kısmı tamamıyla yeni bir biçim alır. Büyük kuvvetlerle çalışıldığı için takımlar genellikle çok büyük, ağır ve dolayısıyla da çok pahalıdır. Metal biçimlendirme kalıplarının üretimi, iyi donanımlı bir atölyeye ve çok kalifiye elemanlara ihtiyaç duyar. Çünkü kalıp üretimindeki tolerans aralığı oldukça dardır.

- Kalıp maliyeti kısmı, parça sayısına bağlı olmaksızın halledilmesi gereken bir meseledir. Alet, donanım ve kalıpların pahalı olması nedeniyle üretilecek parça sayısının belli bir minimum değerden fazla olması gerekir. Bu minimum üretim sayısı sağlandığı takdirde şekil değiştirme yöntemleri avantajlı duruma geçer.

- Teknolojik çağda parçalardan beklenen özelliklerin değişmesi sonucu değiştirilen birçok yeni malzeme de şekil değiştirme yöntemleri ile biçimlendirilmektedir. Böylece ekonomik ve yüksek kaliteli parça ile biçimlendirme yöntemi birbirine bağlı iki unsur olduğu söylenebilir. Biri geliştikçe diğerini de beraberinde sürükler.

- Plastik şekil değiştirme işlemleri başlıca iki gruba ayrılır: Bunlar kütle biçimlendirme ve sac şekillendirme işlemleridir. Kütle biçimlendirmede iş parçası genellikle bütün doğrultularda ve büyük miktarda şekil değiştirerek büyük kesit değişiklikleri ortaya çıkar. Buna karşılık sac şekillendirmede sac

parçalar hemen hemen, eşit cidar kalınlıklarında içi boş parçaların üretiminde kullanılır.

Kütle biçimlendirme işlemleri çok eksenli basma yükleriyle karakterize edilebilir. Karşılaşılan kuvvetler sac şekillendirmeye göre genel olarak oldukça yüksektir. Plastik şekil değişimi, sıcak, ılık ve soğuk şekil verme olarak gerçekleştirilebilir.

1.3.1. Basma Türü Biçimlendirme İşlemleri

Bu gruptaki biçimlendirmelerde iş parçası veya hammadde esas olarak tek veya çok eksenli basma gerilmelerinin etkisi altında şekil değiştirir. Serbest dövme ve basma pahalı bir usuldür. Bununla beraber bu işleme esnasında malzemelerin özellikleri iyileştiğinden, bazı hallerde diğer şekil verme usullerine tercih edilir.Bu usulle imal edilecek olan parçaların mümkün olduğu kadar basit ve sayıları az olmalıdır. Karışık şekilli parçaların bu nedenle imali güç ve bazı hallerde de imkansızdır. Sürtünmeli ve sürtünmesiz olarak iki türdür

1.3.2 Birleşik Çekme Ve Basma Türü Biçimlendirme İşlemleri

Bu başlık altındaki şekillendirme işlemlerinde iş parçasının şekil değişimi esas olarak birleşik tek veya çok eksenli çekme ve basma gerilmelerinin etkisiyle sağlanır. İş parçası aynı anda çekme ve basma kuvvetleri sayesinde şekillendirilir. En önemli yöntemler, derin çekme, çekme ve basma yöntemleridir.

Derin çekme : Bu işlemde bir saç parçası bir ya da çok basamakta, çukur bir gövde oluşturulacak şekilde biçimlendirilir. Plastik şekil değişimi gözlenir ve çekme yönünde akma ortaya çıkar. Malzeme zorlanması, uygun yağlama yağları kullanılarak

azaltılır. Bu amaçla kullanılması gerekli malzemeler sınırlıdır. Bakır-çinko ve alüminyum ile alüminyum-magnezyum alaşımlarının bazıları, bazı tür çelik saçlar bu işe uygundur.

1.3.3. Çekme Türü Biçimlendirme İşlemleri

Bu yöntemlerde iş parçasının şekil değişimi tek veya çok eksenli çekme gerilmeleri etkisinde oluşur. Bir çubuğun kesit alanının ve kalınlığının konik bir kalıptan çekerek düşürülmesi operasyonudur. Açık kalıp, herhangi bir şekle sahip olabilir. Tel çekme 0.0025 mm'ye kadar küçük ölçülerde malzeme çekmeyi kapsar. Çekme prosesi bazen ekstrüzyona benzer. Ancak tel çekmede mamül gerilme altındayken ekstrüzyonda malzeme basmaya zorlanmaktadır. Çubuk ve tel çekme genellikle tamamlama operasyonudur. Mamül ya üretilen şekilde kullanılır ya da genellikle eğme veya işleme ile diğer şekillerde işlenir. Çubuklar, küçük pistonlar, çekmeye maruz yapısal elemanlar, miller, civata ve vida gibi bağlayıcılar için ham malzeme olarak çeşitli uygulamalarda kullanılır. Tel ve tel mamüller, elektrik ve elektronik ekipmanlar, teller, kablolar, yaylar, müzik aletleri, tel sepetler, ızgaralar ve alışveriş elemanları gibi geniş uygulama alanı olan ürünlerdir.

1.3.4. Eğme Türü Biçimlendirme İşlemleri

İş parçasının eğilme gerilmeleri etkisiyle şekil değiştirdiği işlemler bu gruba girer. Eğme yüzey alanında çok az veya hiç değişiklik olmaksızın lineer bir eksen etrafında metalin plastik deformasyonudur. Bir kalıp kullanarak peş peşe iki veya daha fazla eğme yapıldığı zaman proses şekillendirme olarak isimlendirilir. Şekillendirmede iki eksen bir açı ile kesişir. Fakat her eksen lineer ve diğer eğme operasyonlarından bağımsız olmalıdır. Bu durumlarda sadece basit eğme teorisi geçerlidir. Etrafında deformasyonun meydana geldiği eksenler lineer ve bağımsız değildir.

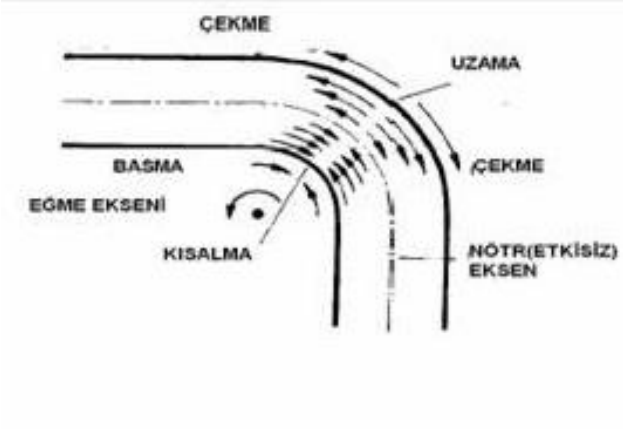
Bu olay bazı uygulamalarda zorluğa sebep olabilir. Basınç kuvvetlerinin bir neticesi olarak nötr eksenin iç tarafında plastik olarak şişmeye bir eğilim vardır. Kalın metaller eğilirken bu esas göz önüne alınmalıdır. Birlikte oluşan çekme ve basma şartları neticesinde şekillendirmeden sonra metal, eğilmeye meyledecektir. Geri yaylanma yapılabilir.

1.3.4.1. Eğme Açısı

Yaklaşık 1.5 mm kalınlıktaki metal saclarda 150 °'ye kadar açılı eğmeler bir çubuk katlayıcı içinde yapılabilir. Bu makineler elle çalıştırılır ve genellikle 2.5 m' den daha küçüktür. Metal, sac katlama ünitesine konup pozisyonuna ayarlandıktan sonra kolu yükselterek, eğme ağzını sıkıştıran bir kanı harekete geçirir ve kolun daha fazla kaldırılması metali istenen açıda eğer. Kalın saclarda eğme ve ince saclarda karışık eğme bir bükme presi üzerinde yapılır. Bunlar uzun veya hidrolik olarak tahrik edilen preslerdir.

1.3.4.2. Çekme Ve Basma İle Eğme

Bir çok modern eğme makinelerinde, yaklaşık bir blok formunda eğme meydana getirmek için bağlama ve baskı takımları kullanılır. Çekme eğmesi belki de en doğru ve hassas eğme vasıtasdır. İş parçası bir eğme takımına karşı sıkıştırılır. Bir baskı takımı da karşısındaki iş parçasını çekmek üzere döner. Sıkıştırma eğmesinde takımı sabit kalır ve basınç takımı eğmeyi gerçekleştirmek üzere karşısında hareket eder.



Şekil 1.3. Çekme ve Basma ile Eğme

1.3.4.3. Merdane İle Eğme

Plakalar, kalın saclar ve yuvarlak şekiller, şekillendirme merdaneleri üzerinde arzu edilen şekilde eğilebilirler. Bunlar genellikle bir piramit şeklinde üç merdane ihtiva ederler. Alttaki iki merdane tahrik ve üst merdane ise eğrilik derecesini kontrol etmek için ayarlanabilir şekildedir. Eğme haddeleri geniş bir boyut aralığında ve 150 mm'ye kadar plakaları eğebilir.

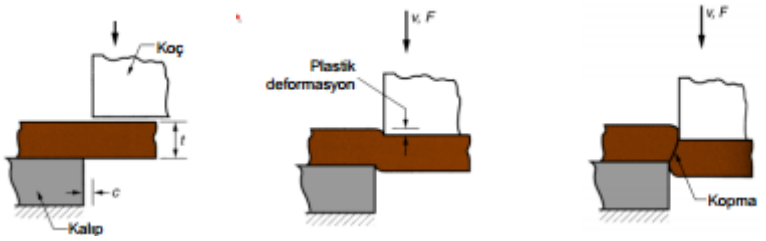


Şekil 1.4 Merdane

1.3.5.Kesme Türü Biçimlendirme İşlemleri

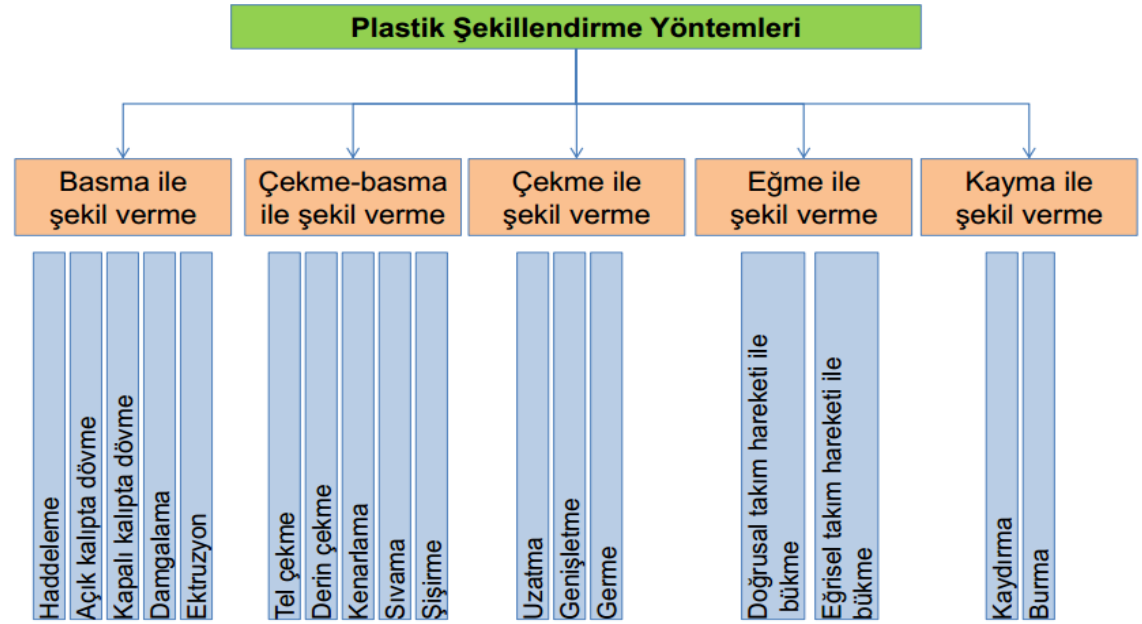
Anlaşıldığı üzere, şekillenen iş parçalarında kayma veya kesme gerilmeleri daha etkindir. Kesme, ergitme, yakma veya talaş kaldırma olmaksızın metallerin, sac veya plaka şeklinde mekanik olarak kesilme işlemidir. Karşılıklı çalışan her iki kesme bıçağı düz kenarlı ise işlem normal kesme olarak adlandırılır. Kesme takımları, eğri kenarlı zımbalar veya kalıplar şeklindeyse işlem, boşaltma, delme, çentme, tıraşlama veya perdahlama gibi diğer isimleri alır. Fakat bunların hepsi esas olarak kesme operasyonudur.

Zımba ve kalıp arasındaki boşluk kesilen metal kalınlığının sadece %5-10'u kadar olduğundan bölgesel olarak aşırı deformasyon meydana gelir. Zımba, metal içine girince metal dışarı ve kalıp içine hafifçe akar. Malzeme sünekliği ve mukavemetine bağlı olarak, bölgesel kesilme metal kalınlığının %15-60'ına ulaştığı zaman uygulanan gerilme kayma gerilmesini geçer ve metal aniden kesilir. Kesme işleminin bu iki safhası, kesilmiş parçaların kenarlarında sıkça görülebilir. Metaldeki homojensizlikler ve kesme ağızları arasında uniform bir boşluğun olmayışı nedeniyle kesme kenarları düzgün olmaz. En zayıf noktalarda kırılma ve yırtılmalar başla ve kaba kesme kenarları meydana getirerek hemen yakınlardaki noktalara doğru ilerler. Eğer zımba ve kalıp uygun boşluğa sahipse ve hasarsız iseler, daha sonra bitirme işlemine gerek kalmayacak şekilde kesme kenarları düzgün olarak elde edilir. Kesilmiş kenarların kalitesinin daha da iyileştirilmesi için sacın kesilmeyen kısmı üstten kalıba sıkıca bastırılmalı, zımba ve kalıp arasındaki boşluk minimuma düşürülmeli ve zımbanın tekrar yukarı çıkması sırasında parçanın yukarı doğru hareketi önlenmelidir. Kesme işlemlerinde basınç arttığı zaman nispeten daha düzgün kenarlar elde edilebilmektedir. Belli bir değerin üzerindeki basınçlarda ise %100 düz kenar elde edilebilir.



Şekil 1.5. Kesme Yöntemi

Aşağıdaki liste plastik şekil değiştirme ile üretilen iş parçalarının en önemli uygulama alanlarını teknik önemi ile birlikte vermektedir:



Çizelge 1.2. Plastik Şekil Verme Yöntemlerinin Gruplandırılması

Üretim yöntemleri içinde Plastik Şekil Vermenin yeri ile öneminin ana hatlarıyla ve kısaca açıklandığı bu bölüm, sunulan çalışmanın alanını da belirlemiş olmaktadır. Bazı durumlarda parçaların tümüyle belirli bir yöntemle üretilmesi yerine değişik üretim yöntemlerinin birbirini takip eden sıralarla kullanılması mümkün ve hatta daha ekonomik olabilir.

Plastik şekil verme, diğer üretim yöntemlerine göre şu belirgin karakteristikleri içermektedir:

- Bu yöntemde malzemenin kütle ve hacmi sabit kalır, yalnızca şekli değişir.

- Yöntem yüksek sıcaklıklarda uygulanırsa, malzemenin birincil katılaşması sırasında oluşmuş boşluk ve gözenekler (eğer oksitlenme olmamışsa) kapanır. Ayrıca iri ve çubuksu taneler de kırılarak, yeniden kristalleşme sonucunda kaba döküm yapısı yerini ince taneli, homojen bir iç yapıya bırakır. Bunun sonucu olarak mekanik özelliklerde (akma dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, darbe dayanımı, kırılma tokluğu, süneklik vb.) önemli iyileşmeler görülür.

- Plastik biçimlendirme soğuk olarak uygulanırsa meydana gelen pekleşmeden faydalanarak malzemenin dayanımı arttırılabilir.

- Plastik şekillendirme yöntemleriyle dar toleranslara sahip hassas parçalar üretilebilir. Özellikle soğuk şekillendirmeyle çok kaliteli yüzeyler elde edilebilir.

- Yöntemin uygulanmasında kullanılan tezgah ve takımlar (pres, hadde, şahmerdan, kalıplar vb.) pahalı olduğundan, yöntem genellikle seri üretim için ekonomiktir.

2.DÖVME

İş parçasının deformasyonunun basma kuvvetleriyle gerçekleştirildiği durumlardaki işlem ailesini ifade eder. Çeşitli metallerden geniş aralıkta boyut ve şekilli parçaların yapımında kullanılır. Bugün dövme ile yapılan tipik parçalar, motorlar için krank milleri ve biyelleri, türbin diskleri, dişliler, volanlar, civata başları, el aletleri, işleme ve taşıma ekipmanları için çok çeşitli yapı elemanları gibi parçalardır. Dövme operasyonları, oda sıcaklığında (soğuk şekillendirme) veya yüksek sıcaklıklarda (sıcaklığa bağlı olarak yarı sıcak ve sıcak dövme) yapılabilir. Bu kategoriler için sıcaklık aralıkları uygun bir şekilde verilmiştir.

İşlem	T/T_m
Soğuk şekillendirme	< 0.3
Yarı sıcak şekillendirme	0.3 - 0.5
Sıcaklık şekillendirme	>0.6

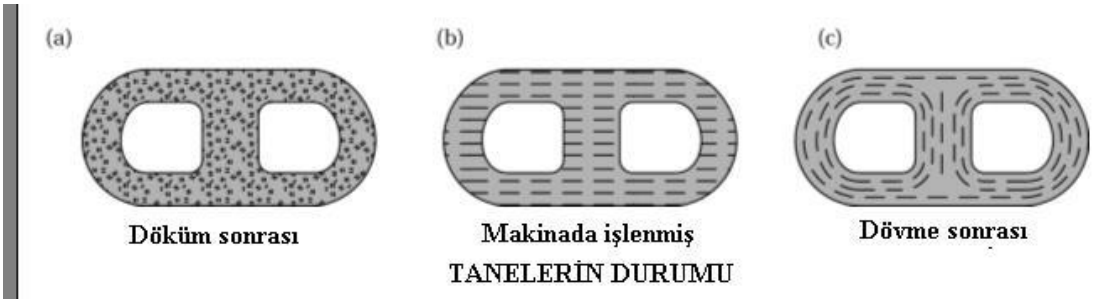
Tablo 2.1. Dövme İçin Sıcaklık Aralıkları

Burada T_m, iş parçası malzemesinin ergime sıcaklığıdır. Metaller için uygun rekristalizasyon sıcaklığı yaklaşık 0.5 T_m'dir. En basit dövme, Blacksmith tekniği ile ağır bir çekiç ve bir örs kullanılarak yapılabilir. Genellikle sağlam bir kalıp seti ve pres gereklidir.

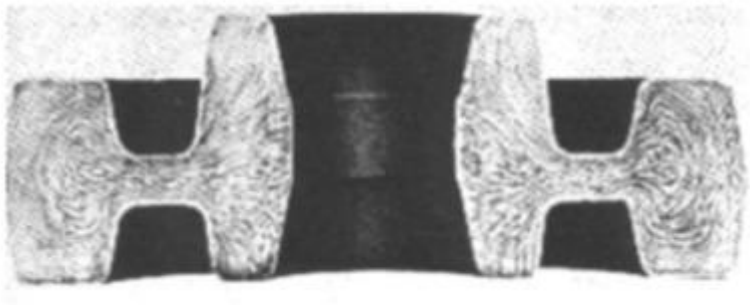
Dövme, bilinen en eski metal işleme işlemidir ve 5000 yıl öncesine dayanır. Tarih öncesi insanların gözenekli demiri ısıtıp bir taş ile çekiçleyerek faydalı bir alet şekline dövdükleri günden beri, birçok faydalı mamüllerin etkili bir imalat metodudur. Modern dövme, silah yapımcıları tarafından uygulanan en eski uygulamadan gelişmiştir ve Blacksmith köyünü ölümsüzleştirmiştir. Büyük güçlü çekiçler ve mekanik presler, kuvvetli bir kolun, çekicin ve örsün yerini almıştır. Modern metalurjik bilgiler, metalin ısıtılması ve taşınmasının kontrolü ile operatörün mesleği ve sanatını kapsar. Büyük esneklik sağlamak, binlerce parçayı seri olarak imal etmek veya tek bir parçayı mümkün ekonomiklikte dövmek için çeşitli dövme işlemleri geliştirilmiştir:

- Metalin kesitinin azaltılıp boyunu uzatarak inceltme
- Metalin boyunu kısaltıp kesitini arttırarak şişirme (yığma)
- Çeşitli yönlerde metalin akışını sağlayacak şekilde kapalı kalıplarda sıkıştırma

Dövme ile, yüksek mukavemet,tokluk elde edilir. Kontrollü bir tane akışı elde edilir. Dövülen parçaların çoğu sonradan işlenir veya ısıl işleme tabi tutulur. Dövme işleminde kullanılan kalıp, alt kalıp ve üst kalıp olarak adlandırılan iki parçadan oluşur.



Şekil 2.1. Tanelerin Durumları



Şekil 2.2. Sıcak Dövmede Tanelerin Durumları

Yaygın dövme işlemleri şunlardır:

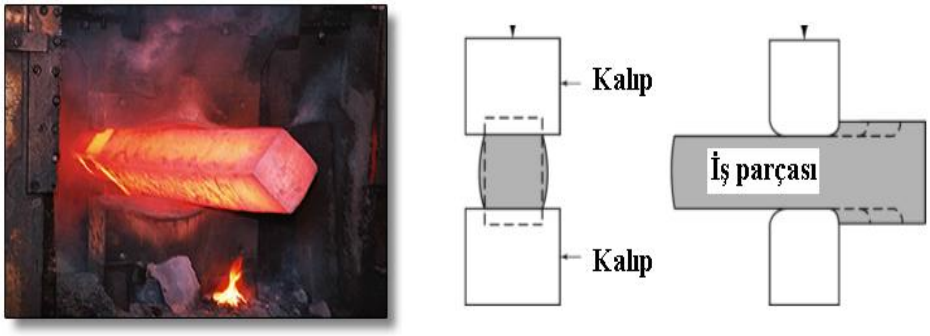
- Serbest çekiçle dövme
- Kalıp tesirli düşmeli dövme
- Presle dövme
- Yığma
- Otomatik sıcak dövme
- Hadde ile dövme
- Şişirme

Dövmenin üç temel kategorisi olup bunlar açık kalıp, basma kalıp ve kapalı kalıpta dövmedir.

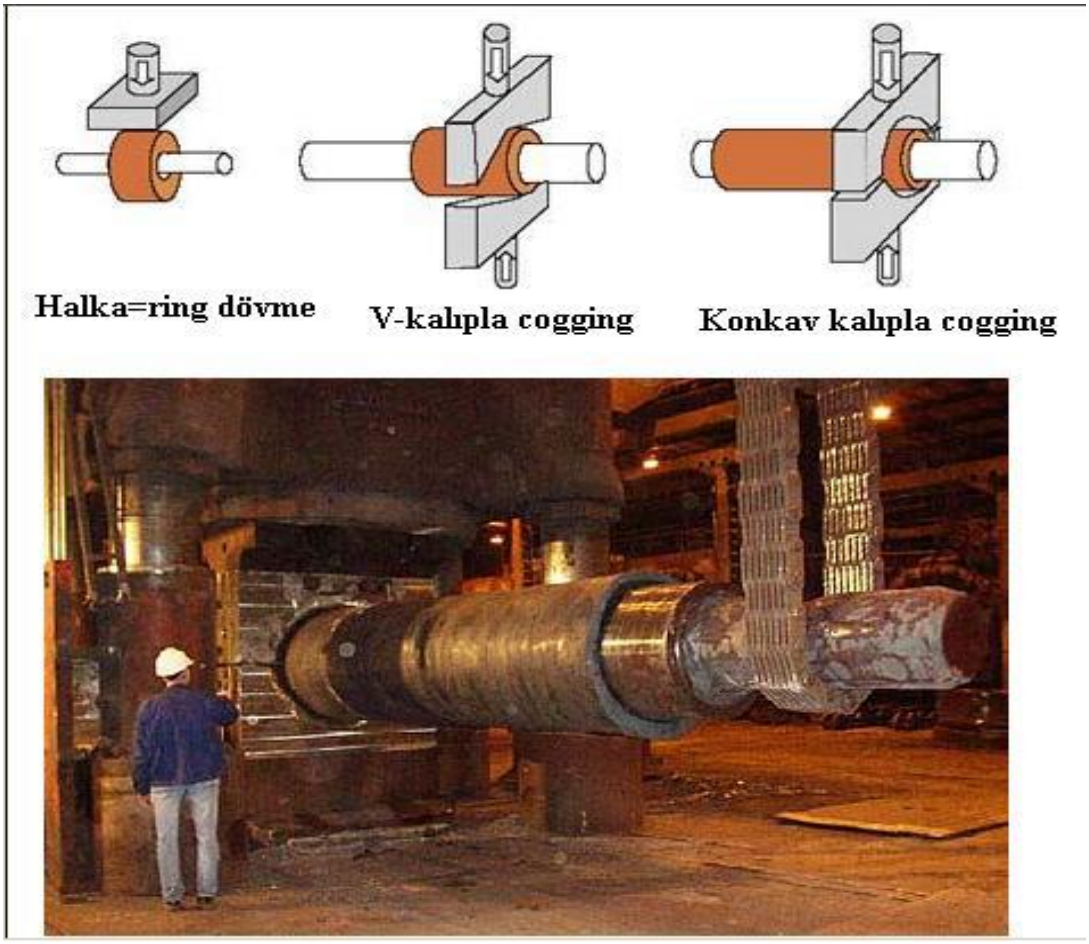
2.1. Açık Kalıpta Dövme

Temel olarak serbest dövme eskiden Blacksmith tarafından yapılan dövmenin aynısıdır. Fakat günümüzde tekrarlanan vuruşlar için ağır mekanik ekipmanlar kullanılır. Şekillendirilecek metal, örs üzerine yerleştirilmeden önce uygun sıcaklığa ısıtılır. İndüksiyonla ısınma birçok uygulamalar için cazip olmasına rağmen gaz, fuel oil

veya elektrik fırınları genellikle kullanılır. Darbe, bazı mekanik çekiçler ile uygulanır. En basit tipi düşmeli veya tahtalı şahmerdandır. Burada çekiç, iki tahrik merdanesi arasına yerleştirilerek yükseltilen ve sonra serbest düşme sağlamak için gevşetilen sert bir tahtanın alt ucuna tutturulur. Bunlardan bazıları halen kullanılmakta olmasına rağmen çekici kaldırmak ve düşürmek için buhar veya hava basıncı kullanılan çekiçler daha yaygındır.



Şekil 2.3. Açık Kalıpta Dövme



Şekil 2.4. Açık kalıpta dövme işlemi

2.1.1.Fıçılaşma

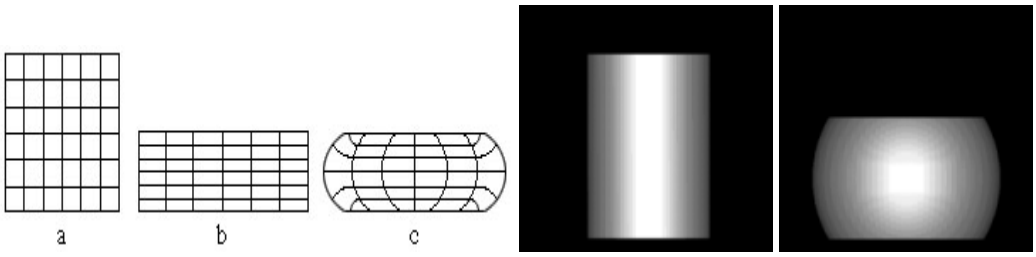
Dövülen parçanın bombeleşmesidir. İki nedenle meydana gelir.

2.1.1.1.SÜRTÜNME

Dövülen parça alt ve üst kalıpla temas halinde olduğundan temas eden yerlerde malzeme kolay akamaz orta kısmı daha kolay akar. Sürtünmeden kaynaklanan fıçılaşma oluşumu sıcak kalıplar kullanarak veya etkin bir yağlama ile önlenebilir.

2.1.1.2. Sıcaklık Farkı

Tav fırınından çıkan parça kalıp içine konulur. Değen kısımlarda ısı kaçışı hızlı olur. Parçanın ortası hala sıcaktır. Bu sıcaklık farkından malzemenin ortası kolay akar kenarlar zor akar.



Şekil 2.5. Fıçılaşma

Karmaşık şekilli parçaları açık kalıpla dövmek çoğunlukla mümkün değildir. Bunun sebebi; açık kalıpla dövmede, malzeme en az bir doğrultuda serbest şekil değiştirir. Karmaşık şekilli parçaların dar toleranslar içinde elde edilebilmesi için birbiri üstüne kapanan ve elde edilecek parçanın negatif şekline sahip iki yarım kalıp kullanılır. Alt ve üst kalıplar kapandığında üretilecek ürünün şeklinde olan aradaki boşluk "gravür" olarak adlandırılır. Bu dövme yöntemine kapalı kalıpla dövme yöntemi denir.

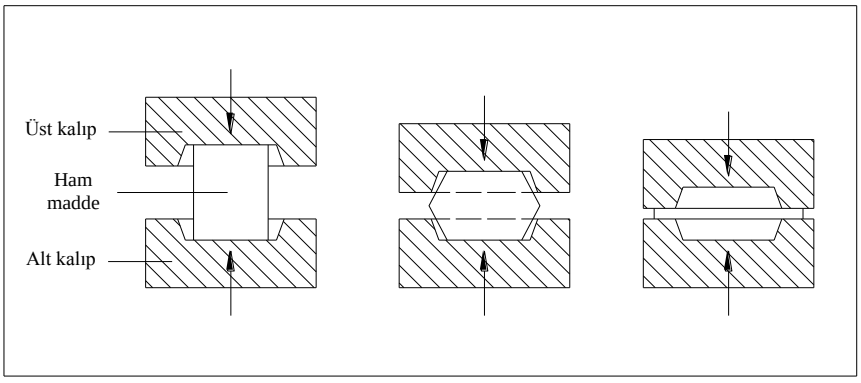
2.2. Kapalı Kalıpta Dövme

Serbest kalıp veya Blacksmith dövme, basit ve esnek bir işlemdir. Fakat yavaş oluşunun yanında iş parçasının ölçü ve şekli operatörün melekesine bağlı olduğundan büyük üretim miktarları için uygun değildir. Kapalı kalıpta dövme, metal akışını kontrol

etmek için şekillendirilmiş kalıp kullanarak bu zorlukların üstesinden gelir. Bu kalıpların bir yarısı çekice ve diğer yarısı ise örse bağlanır. Isıtılmış metal alt boşluğa yerleştirilir ve üst kalıpta bir veya daha fazla vuruş yapılır. Böylece metal, kalıp boşluğunu doldurmak üzere akar. Fazla metal, bir çapak şeklinde boşluğun birleşme yüzeyi boyunca kalıp yüzeyleri arasında fışkırır. Dövme tamamlandığında çapak, bir çapak kalıbı vasıtasıyla giderilir.

Çoğu dövme kalıpları çeşitli boşluk ihtiva ederler. İlk basma genellikle katlama, kalafatlama veya eğme şeklindedir. Bu işlemler daha sonraki basma işlemlerine uygunluk arz edecek şekilde metali kalıba dağıtırlar. Ara sıkıştırma, metali yaklaşık olarak son şekline getirmek için bloklama denilen işlem yapılır. Son şekil ve ölçü ise son basma ile verilir.

İş, bir örs ile desteklenmediğinden enerji makine temelinde kaybolmaz ve böylece ağır temel ihtiyacı duyulmaz. Ayrıca makine daha sessiz ve daha titreşimsiz çalışır. Bir çok tesisatlarda makinenin çalışması tamamen otomatiktir. İş parçası indüksiyonla ısıtılabilir, dövme ve çıkarma mekanik olarak yapılır. Sıkıştırma dövmede son yıllarda geliştirilmiş bir değişiklik, bir kalıpta dövülmüş ve sıcakken kalıptan çıkarılan döküm bir ön şeklin kullanılmasıdır.



Şekil 2.6 Basit Bir Parçanın Kapalı Kalıpla Çapaklı Dövülmesi

2.3. Dövmenin Avantajları

- Ürün yüksek mukavemetli olur. Bir malzemenin dövme işleminden sonra tokluğu, sünekliği daha fazla olmaktadır.
- Seri üretimde dövme parçalar boyut ve şekil bakımından daha üniformdur. Malzeme bileşiminin ve yapının dövme malzemelerinde parçadan parçaya ve gruptan gruba üniform oluşu, ısıl işleme karşı aynı tepki gösterme, işleme özelliğinde minimum farklılık ve bitmiş parçalarda aynı özellik seviyeleri temin eder.
- Dövmeden sonra da parçalar gerekirse kaynak edilebilir, talaş kaldırılabilir. Dövme parçaları çok küçük ve çok büyük boyutlar da imal edilebilir.
- Darbe ve gerilmeler altında parçaların beklenmeyen kırılmalarına sebep olabilen boşluklar dövme ile yok edilebilir. Dövme işlemi alaşımların veya metal olmayan katıkların kütlesel ayrılmalarına mani olarak üstün bir düzgünlük sağlar.
- Dövmede üretim hızı yüksektir.

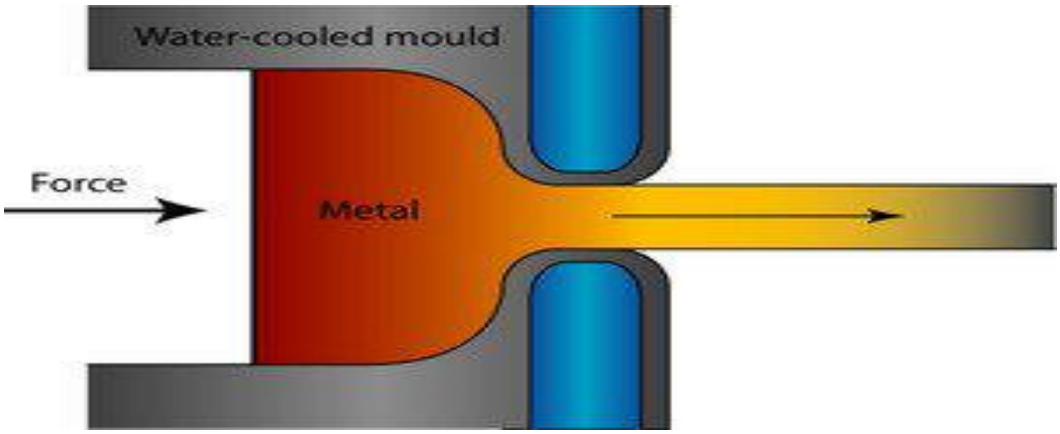
2.4. Dövmenin Dezavantajları

- Büyük parçaların dövülmesi için gerekli olan yüksek kuvvet, enerji ve dolayısı ile bunları sağlayacak preslerin fiyatları pahalıdır. Ayrıca kalıp maliyetleri de pahalıdır.
- Çapak oluşumundan dolayı hammadde miktarına bağlı olarak bir miktar malzeme kaybı olur. Bu çapağı kesmek için ayrı bir pres gereklidir.
- Özellikle açık kalıpla dövme işleminde toleranslar oldukça geniştir.

3. EKSTRÜZYON

3.1. Giriş

Ekstürzyon işleminde metal, daha küçük kesitli bir mamül şekillendirmek için uygun şekilli bir kalıp içinden akmaya zorlanır. Ekstrüzyon, soğuk veya sıcak yapılabilmesine rağmen ekstrüzyon için gerekli kuvvetleri düşürmek, soğuk şekil vermenin kötü etkilerini azaltmak ve yönlenmiş özellikleri azaltmak için bir çok metale sıcak ekstrüzyon uygulanır. Temel olarak ekstrüzyon prosesi bir tüpten diş macunun fışkırtması gibidir. Metal şekillendirme söz konusu olduğunda bu işlem, uygun bir hazne içine ısıtılmış bir metal kütle yerleştirilerek gerçekleştirilir. Haznede kütleyi sıkıştırmak için bir piston metali bir ucundan ilerletir. Piston ilerlemeye devam eder ve malzemeyi plastik olarak kalıptan çıkarıncaya kadar basınç uygulanır. Metalin içinde oluşan gerilme üç boyutludur.



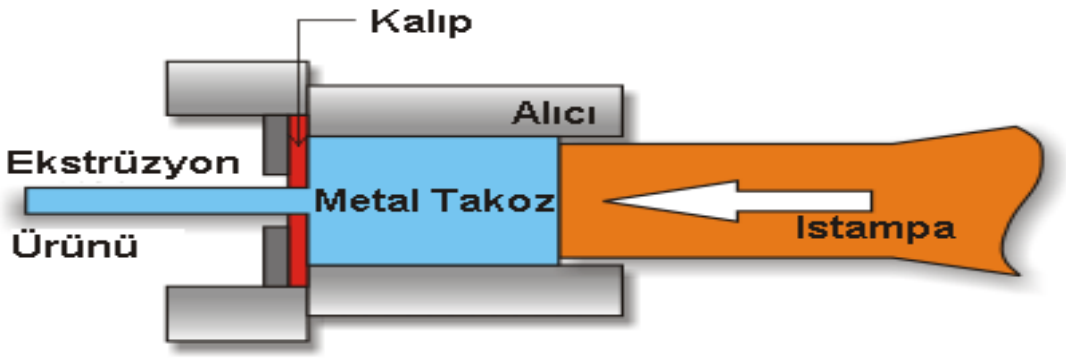
Şekil 3.1 Ekstrüzyon Yolu İle İmalat

Kurşun, bakır, alüminyum, magnezyum ve bu metallerin alaşımları nispeten düşük akma mukavemeti ve ekstrüzyon sıcaklıklarına sahip olduklarından yaygın olarak ekstrüde edilirler. Çeliğin ekstrüzyonu daha zordur. Akma mukavemetleri yüksek metaller, yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında haznenin ve kalıbın cidarlarına kaynamaya eğilim gösterir. Fosfat esaslı ve ergimiş cam yağlayıcıların geliştirilmesi ve kullanılmasıyla birlikte önemli miktarda sıcak çelik ekstrüzyonu yapılmaktadır.

Bu yağlayıcılar metal kütleye yapışır ve işlem boyunca metal-metal temasını önler. Demir olmayan metallerden hemen hemen, bütün kesit şekilleri estrüde edilebilir. 750 mm'lik yuvarlak herhangi bir şekli estrüde edebilen presler mevcut olduğundan boyut sınırlaması çok azdır. Çelik ve yüksek mukavemetli metallerin ekstrüzyonunda şekil ve ölçü sınırlaması daha fazladır. Bir çok sebepten dolayı ekstrüzyon yaygın bir prosestir. Karmaşık veya içi boş, haddeleme ile üretilemeyen bir çok şekil ekstrüzyon ile imal edilebilir. Koniklik gerektirmez ve böylece metal ve ağırlık tasarrufu sağlar. Sıkıştırma esasına dayandığı için kalınlıktaki azalma miktarı sadece ekipmanları kapasiteleri ile sınırlıdır.

Ekstrüzyon yöntemi ile çubuk, boru, şerit gibi ürünler elde edilebildiği gibi, ayrıca pek çok karmaşık şekiller ve çeşitli kesit şekilleri de elde edilmektedir. Elde edilen şekiller bir yarı mamul olabileceği gibi bazen de doğrudan kullanılan bitmiş ürün, yani mamul de olabilir.

Ekstrüzyonla sınırlı çap'taki parçalar şekillendirilebilirler. Al' için **(**6 mm – 1m arası), çelik için (150 cm'ye kadar) Tipik ürün uzunlukları da 7,5 m den küçük olur.



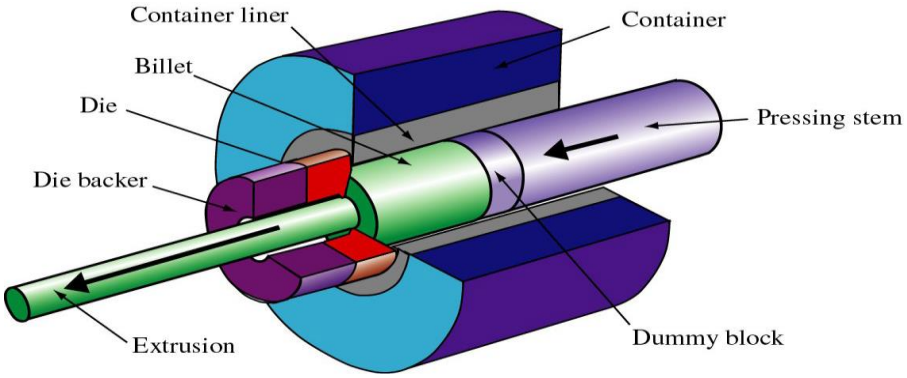
Şekil 3.2 Ekstrüzyon Yolu İle İmalat

3.2. Ekstrüzyon Yöntemleri

Ekstrüzyonun dört temel tipi vardır. Bunlar; direkt, indirekt, hidrostatik ve çarpma ekstrüzyonudur.

3.2.1.Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

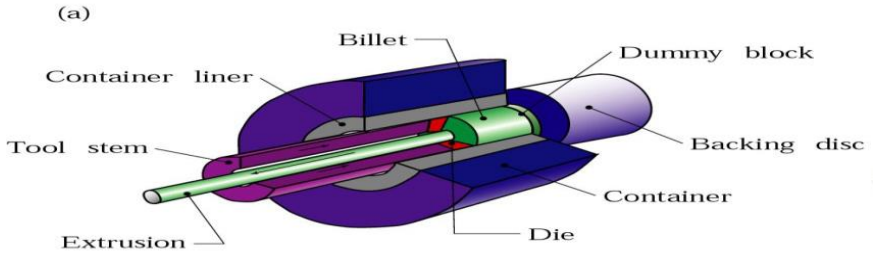
Aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi metal takoz alıcı kovan içine konur ıstampayla bastırılır. Matris içerisinden geçirilir. Ürün çıkar. Bu yöntemde metal takozun son safhalarında kuvvet ihtiyacı çok artar. "Artık malzeme" kalıbın içine giremez kesilip atılması gerekir. Hacmin %18-20'si artık malzemedir. Bir diş macunu tüpünün ucundan macunun çıkmasına benzemektedir.



Şekil 3.3 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

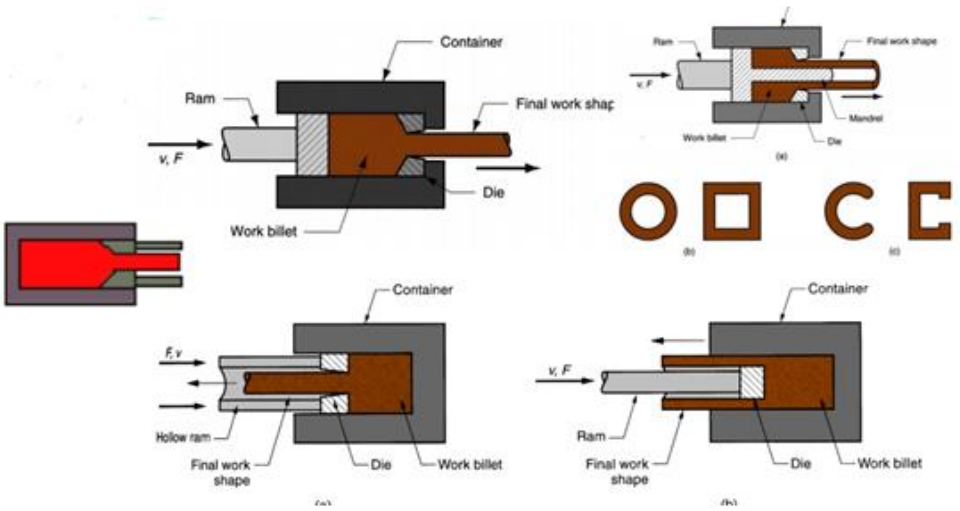
3.2.2. İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi

Bu yöntemin direkt ekstrüzyondan farkı metal takozun sabit durması kalıbın metal takoza doğru gelmesidir. Böylece alıcı kovanla metal takoz arasında sürtünme olmaz. Ürün ıstampanın içinde kalmak zorundadır. "Artık malzeme" hacmin %5-6'sı kadardır. Kuvvet ihtiyacı direk ekstrüzyondakinin %75 i kadardır. Sürtünme yoktur.

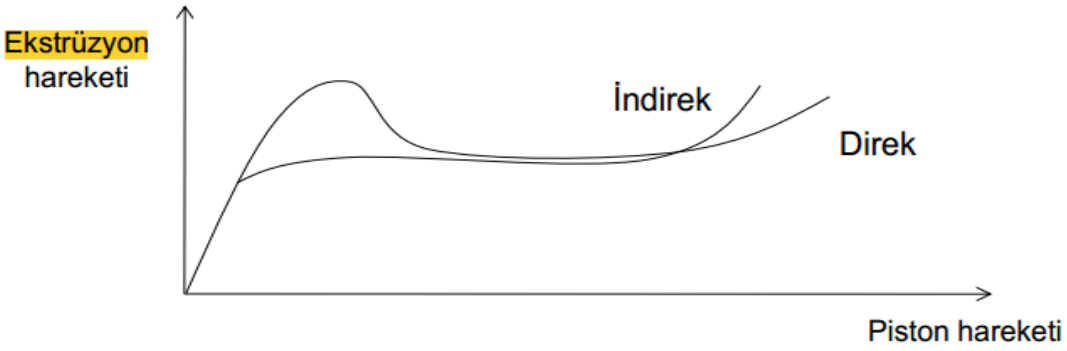


Şekil 3.4 İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi

İkisi arasında fark, ekstrüzyon metal bloğu ile kovan arasında meydana gelen sürtünmenin ortaya çıkışıdır.



Şekil 3.5 Direkt ve Endirekt Ekstrüzyon

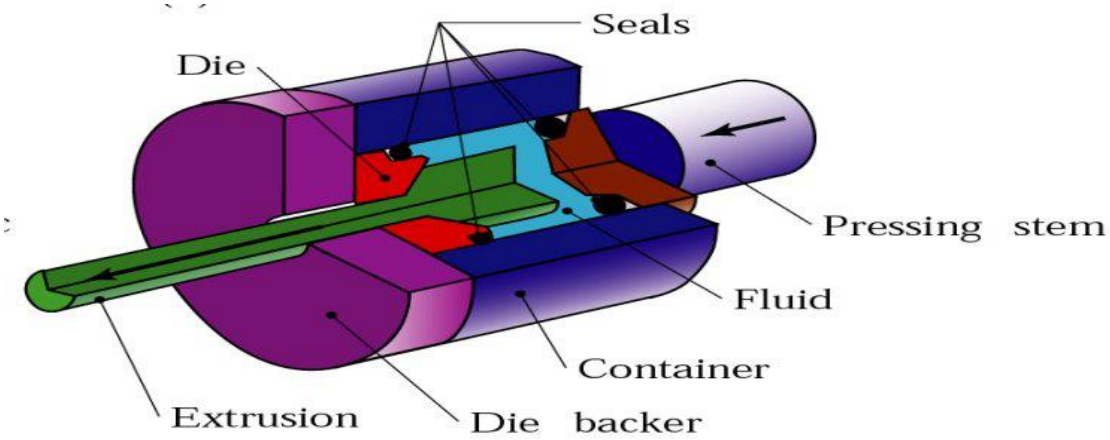


Grafik 3.1. Direkt ve Endirekt Ekstrüzyon

3.2.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Bu proseste ekstrüzyon basıncı malzeme etrafını saran akışkan ile sağlanır. Hidrostatik ekstrüzyon alıcı-cidar sürtünmesi olmaması ve alıcı içindeki basıncın bir miktar akışkanı kalıp yüzeylerine göndermesi hariç direkt ekstrüzyona benzer. Böylece

sürtünme önemli oranda azalır. Proses, gres kullanarak oda sıcaklığında veya cam, ısıya dirençli gres metal oksidi veya 500 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda basınç iletme ortamı olarak tuzlar kullanarak yüksek sıcaklıklarda sürdürülebilir. Hidrostatik gerilme nedeniyle orta süneklikte gevrek malzemeler, hidrostatik ekstrüzyonla başarılı olarak ekstrüde edilebilir. Düşük bir basınca sahip ikinci bir basınç haznesi içinde parçayı ekstrüde ederek süneklik iyileştirilir.



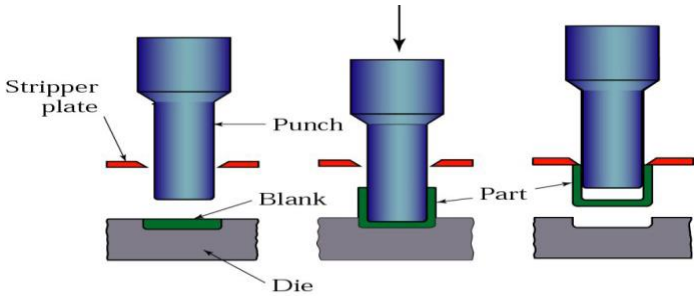
Şekil 3.6. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Bu yöntemde metal takozun alıcıya sürtünmesi yoktur. Oda sıcaklığında mum, polymer, bitkisel yağ kullanılırken, yüksek sıcaklıklarda "cam"ın erimiş hali kullanılır. Gevrek olan malzemeler bu yolla şekillendirilirler. Bu yöntemde; düşük sürtünme (i↓), küçük kalıp açıları (α↓) ve yüksek ekstrüzyon oranları (R↑) elde etmek mümkündür. Bu proses, tecrübe eksikliği, complex takım gerektirmesi, uzun zaman aralıklarında nadiren tekrarlanması nedeniyle endüstride daha az kullanılmaktadır.

3.2.4. Darbeli Ekstrüzyon Yöntemi

Bu yöntem Pb, Al, Mg, Cu gibi hafif metallerin soğuk olarak ekstrüze edilmesidir. Macun ve ilaç tüpleri bu yolla üretilirler. Bu yöntem indirekt ekstrüzyon ile

soğuk ekstrüzyonun birleşik şekli gibidir. Ekstrüze edilen parçaların kalınlığı zımba ile kalıp arasındaki boşluğa bağlıdır.



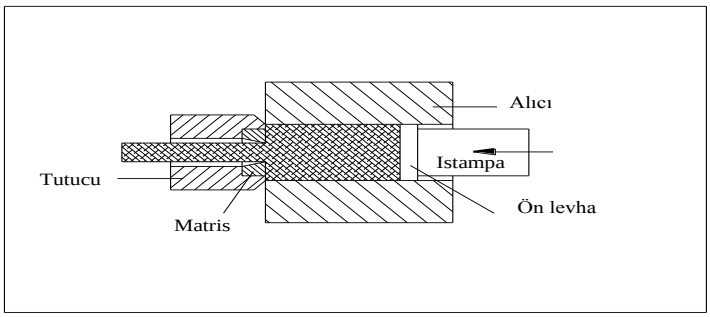
Şekil 3.7. Darbeli Ekstrüzyon

3.3.Ekstrüzyon İşlemleri

Ürünün çıkış yönü ve ıstampanın hareket yönüne bağlı olarak ekstrüzyon işlemleri 3 ana gruba ayrılır.

3.3.1.İleri (Direk) Ekstrüzyon

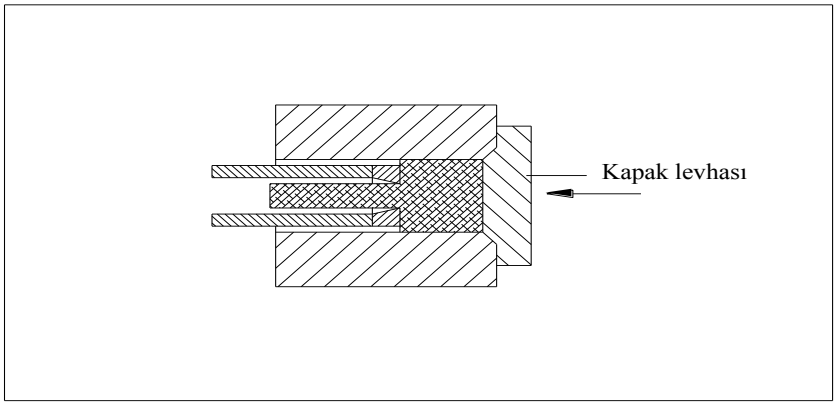
Şekil 1.13.'de gösterildiği üzere ileri ekstrüzyonda tutucu tarafından taşınan matris alıcının bir ucunda bulunur. Alıcının diğer tarafından basan ıstampa takoz malzemesinin matris deliğinden geçmesini sağlar. Istampayı korumak amacıyla, ıstampa ile takoz arasına bir ön levha konur. İşlem sonunda bir miktar takoz malzemesi alıcı içinde kalır.



Şekil 3.8. İleri Ekstrüzyon

3.3.2. Geri Yönde Ekstrüzyon

Bu yöntemde ıstampanın içi deliktir. Böylece, ıstampanın alıcı içine doğru hareketinde basılan çubuk matris ve ıstampa deliğine girer. İleri ekstrüzyonda, matris deliğinden geçen ürünle ıstampanın hareket yönü aynı, geriye ekstrüzyonda ise terstir. Geriye ekstrüzyonda kuvvet direk ekstrüzyona kıyasla daha küçüktür. Çünkü, ileri ekstrüzyonda takoz alıcıya göre hareket ettiği için ikisi arasında bir sürtünme söz konusudur. Geriye ekstrüzyonda ise takoz ile alıcı ara yüzeyinde malzeme hareketi yoktur, dolayısıyla sürtünme söz konusu değildir. Fakat geriye ekstrüzyon gerekli tezgahın karmaşıklığı nedeniyle, sınırlı bir uygulama alanına sahiptir.



Şekil 3.9. Geriye Ekstrüzyon

Ekstrüzyon soğuk ve sıcak olarak uygulanabilen bir yöntemdir. Sıcak ekstrüzyonda takozlar alıcı içine konmadan önce ekstrüzyon sıcaklığına kadar fırında ısıtıldığı gibi ayrıca, düşük ekstrüzyon hızlarında alıcıların da ısıtılması gerekir. Ekstrüzyonun sürekli bir işlem olmadığı açık olmakla beraber büyük takozlarla çok uzun ürünler elde edilebilmektedir.

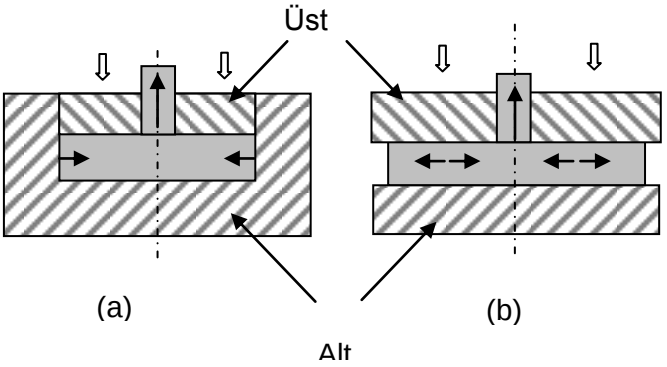
Serbest veya açık kalıpla ekstrüzyon ise, genellikle yukarıda bahsedilen klasik ekstrüzyon yöntemlerine göre çok daha küçük kesit değişikliklerinin sağlandığı bir yöntemdir. Bu yöntemde hammadde alıcı içine yataklanmış biçimde değil ıstampa kuvvetinin etkisiyle doğrudan matris deliğinden geçirilmeye zorlanır. İşlemin gerçekleştirilmesi için, ekstrüzyon kuvveti burkulma kritik yükünden küçük olmalıdır.

Bu çalışmada ekstrüzyon ve dövme proseslerinin aynı anda gerçekleştiği ekstrüzyon tipi dövme prosesi detaylı olarak incelenip prosesin kademeleri belirlenmiştir. Ayrıca tamamlanmış halde üç kademesi olan prosesin başlangıç kademesi olan birinci kademe için gerekli kuvvet ve basınç üst sınır yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten ekstrüzyon işleminin gerçekleştiği üst plakanın delik geometrisinin kuvvet ve malzeme akışına ve kademeler arası geçişe etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

4.EKSTRÜZYON TİPİ DÖVME PROSESİ

4.1. Prosesin Tanımı

Genellikle herhangi birisinde veya her ikisinde de bir delik olan iki düzlemsel kalıp arasında, eksen doğrultusunda uygulanan basma kuvveti etkisiyle meydana gelen şekillendirme işlemine ekstrüzyon tipi dövme işlemi denir. İşlemde hammaddenin boyu kısalırken, diğer taraftan kuvvet doğrultusuna dik olarak çapı büyür. Eğer kullandığımız iki düzlemsel kalıpta düz ise, kalıp yüzeyleri arasındaki sürtünme nedeniyle yığılma fıçı şeklinde olur. Şekilde gösterildiği üzere düzlemsel kalıplardan üsttekine bir dairesel delik açarak ve basacağımız iş parçamızı merkezleyerek bir basma işlemi gerçekleştirdiğimiz taktirde, iş parçamız basma kuvvetinin etkisiyle yığılarak dairesel deliğin içine doğru ekstrüze olur. Bu son olayda, iş parçasının boyu kısalarak, tam merkezinde, üst kalıptaki deliğin çap ölçüsünü alır. İş parçasının ilk çapı da kalıbın üst yüzeyine birleştiği yerde genişler. Eğer iş parçasının yığılan kısmı serbest halde ise "açık kalıpla ekstrüzyon tipi dövme işlemi", şayet iş parçasının yığılan kısmı çevresel olarak kalıp duvarları ile temas halinde ise "kapalı kalıpla ekstrüzyon tipi dövme işlemi" gerçekleşmiş olur. Kapalı kalıpla ekstrüzyon tipi dövme işleminde yığılan parça kalıp cidarları ile temas edip çevresel olarak deforme olamadığından deformasyon tamamen ekstrüzyon işlemi olarak devam eder. Şekil 4.1'de gösterildiği üzere hammaddeye baskı yapan plakanın hareket yönü ile ekstrüze olan ürünün yönü farklı ise bu geriye ekstrüzyon tipi dövme işlemidir. Ancak hammaddeye baskı yapan plakanın hareket yönü ile ekstrüze olan ürünün yönü aynı ise bu ileri ekstrüzyon tipi dövme işlemidir. Şekil .... de ileri ekstrüzyon tipi dövme işleminin şematik resmi gösterilmiştir.

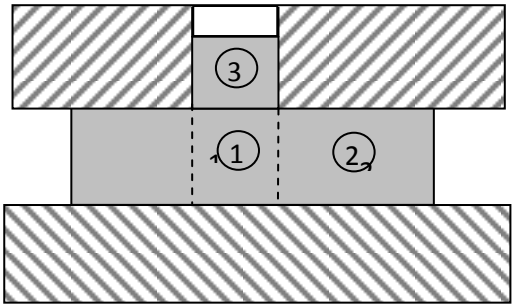


Şekil 4.1.a Kapalı Kalıpla Ekstrüzyon Tipi Dövme (Geriye Ekstrüzyon)

Şekil 4.1.b Açık Kalıpla Ekstrüzyon Tipi Dövme (Geriye Ekstrüzyon)

Ekstrüzyon tipi dövme prosesinin en basit şeklinde bir dairesel delik içeren üst plaka ile düz alt plaka arasında bir silindirik hammadde sıkıştırılır. Bu konfigürasyona sahip takımların kullanılması aynı anda dövmeden dolayı yana doğru yayılma ve kalıptaki delikten geriye ekstrüzyona müsaade eder. Deformasyon esnasında malzeme akışı birkaç faktöre bağlıdır. Bunlar; iş parçası/takım arasındaki yüzeyde sürtünme koşulları, kalıpların geometrisi, özellikle kalıp deliğinin çapı ve şekli, malzeme tipi ve parçanın baştaki çap/yükseklik oranı en önemli etkenlerdir.

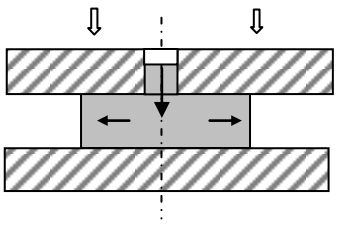
Şekil 4.2'de gösterildiği üzere 1 numaralı kısım merkez, 2 numaralı kısım flanş ve 3 numaralı kısım ekstrüze olmuş rijit bölgedir. Bu üç bölgede de malzeme akışı birbirinden farklıdır. Silindirik bir hammaddenin ekstrüzyon tipi dövme işleminde şekil değişimi üç kademede incelenebilir.



Şekil 4.2. Bir Ekstrüzyon Tipi Dövme İşleminde Birbirinden Farklı Bölgeler

4.1.1.Birinci Kademe

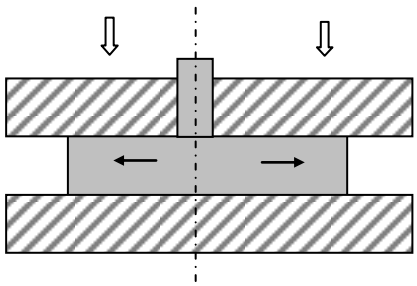
Bu kademede deformasyon sonucu parçanın çapındaki artış, parçanın toplam boyunun kısalmasına yol açıyor. Şekil 2.4.'de malzeme simetri ekseninden dışarı doğru radyal olarak ve bu kademede iş parçasının ekseni malzeme akışını bölen ve radyal hızın sıfır olduğu nötr eksen ile çakışmaktadır.



Şekil 4.3. Birinci Kademede Malzeme Akışı

4.1.2.İkinci Kademe

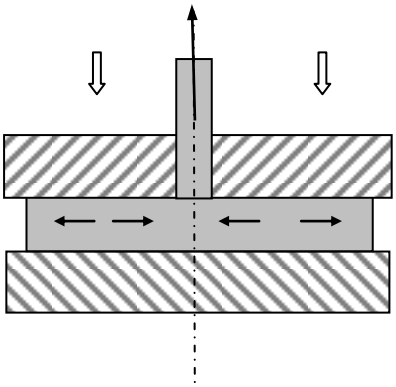
Bu kademede, flanşın yüksekliğinde azalma ekstrüze edilmiş merkezi kısmın uzunluğunda bir artma vardır. Fakat deforme olmuş iş parçasının toplam yüksekliği deliğe doğru akan malzemenin düşey hızının sıfır olmasından dolayı sabit kalmaktadır. Bu kademe sırasında, üst plakadaki deliğin yarıçapı, R_h ile tarafsız yarıçap R_n çakışmaktadır. Bu kademedeki malzeme akışı şekil... gösterilmektedir.



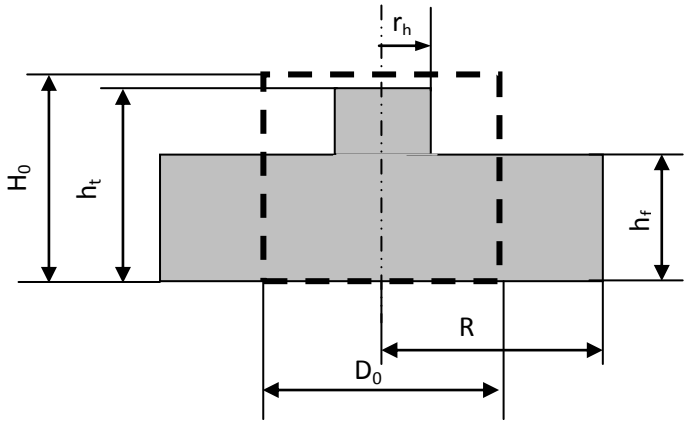
Şekil 4.4.İkinci Kademede Malzeme Akışı

4.1.3. Üçüncü Kademe

Üçüncü bölgede, tarafsız yarıçap parçanın flanş bölgesi içinde bir pozisyon alır ve malzeme R_n'in durumundan içeriye doğru ve dışarıya doğru radyal olarak aynı zamanda akar. İş parçasının üst ve altında sürtünmenin etkisinden dolayı R_n'in sağa, kuvvetle malzeme için daha uygun ekstrüzyon bölgesi içerisine ve radyal olarak içeriye doğru akmaktadır. Sonuç olarak, bu kademenin her tarafında iş parçasının toplam yüksekliği devamlı olarak artar.

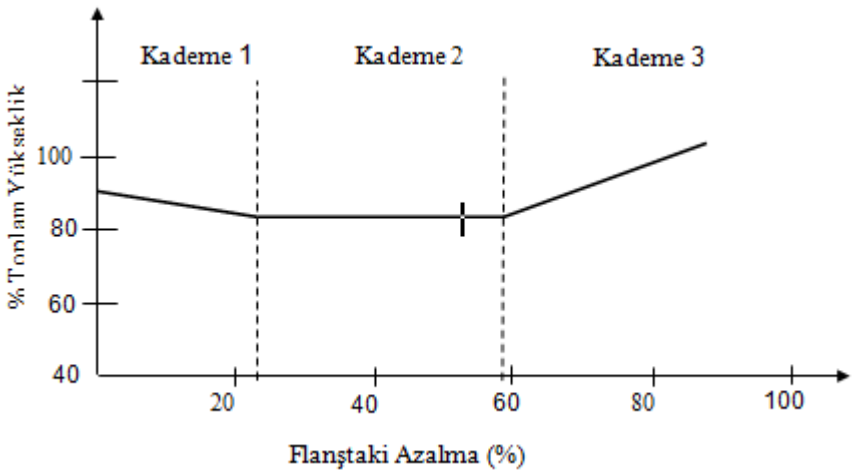


Şekil 4.5.Üçüncü Kademede Malzeme Akışı



Şekil 4.6. Hammadde ve Bitmiş Ürün Boyutları

Ekstrüzyon tipi dövme prosesi endüstriyel öneminden dolayı, bir çok araştırmacı tarafından üzerinde çalışmalar yapılan bir konu olmuştur. Literatürde rastlanan ilk çalışmalar 1960 'lı yıllara kadar geriye gitmektedir. Kudo (Kudo, H., 1960) bir düzlem genleme ekstrüzyon tipi dövme prosesini araştırırken ve P/σ oranının hesaplanması için bir üst sınır çözümü ileri sürerken, Rowe (Rowe, G.W., 1977) düzlem genleme ve asimetrik koşullar için çeşitli akış rejimleri ileri sürmüştür. 1970 yılında Jain (Jain, S.C., 1970) deformasyon sırasında malzeme akışında sürtünme koşullarının etkisini göz önünde tuttu.



Grafik 4.1. Ekstrüzyon Tipi Dövmenin Çeşitli Kademelerinde ToplamYüksekliğin Flanştaki Azalma ile Birlikte Değişimi

Kudo tarafından önerilen modifiye edilmiş elementler kullanılarak Brayden ve Monaghan (Brayden, L., 1994) tarafından, açık kalıpla ve kapalı kalıpla ekstrüzyon tipi dövme işlemlerinde karışık akış prosesleri araştırıldı. Malzeme akışını iki farklı yöne bölen tarafsız yüzeyin önemi vurgulandı. Vickery ve Monaghan (Vickery, J., 1994) üst kalıptaki deliğin çapının yükteki etkisini ve iç gerilmeleri incelemek için elosta - plastik sonlu elemanlar metodu kullanarak deformasyonun başlangıç kademesini araştırdı. Dövme basıncında üst deliğin çapındaki değişimin etkisi üst sınır yöntemi kullanılarak Vickery ve Monaghan (Vickery, J., 1995) tarafından araştırıldı. Yapılan çalışmanın sonuçları artan delik çapının birinci kademeden ikinci kademeye erken geçişe yol açtığını gösterdi. Maccarani (Maccarini, G., 1991) ve arkadaşları üst kalıptaki yuvarlatma yarıçapının ve delik açısının etkisini araştıran bir çalışma yaparak yuvarlanma yarıçapının ekstrüzyonu kolaylaştırdığı ancak kuvvet üzerine bir etkisi olmadığı sonucunu göstermiştir. Giardini (Giardini, C., 1995) ve arkadaşları sonlu elemanlar metodu ile yağlamanın ve köşe yuvarlatma yarıçapının etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışma temelde parçada şekillendirilebilirlik ve sünek kırılma ile ilgilidir. Hu ve Hashmi (Hu, W., 1994) dikdörtgen blokların dikdörtgen kanallara ekstrüzyonunu sonlu elemanlar metodu kullanarak inceleyen bir çalışma yayınladı. Son

zamanlarda Hwanng ve arkadaşları (Hwang, B.C., 2001) kapalı kalıpla ileri ekstrüzyon tipi dövme işlemleri üzerine üst sınır yöntemi kullanarak değişik kapalı kalıp profilleri üzerine çalışmalar yapmıştır.

5.ÜST SINIR METODU

5.1. Giriş

Bu çalışmada prosesin matematiksel modellenmesi amacıyla plastik şekil verme proseslerinin analizinde sıklıkla kullanılan Üst Sınır Metodu uygulanmıştır. Yöntem plastik biçimlendirme işlemlerinde kuvvet ve enerji ihtiyacının ve malzeme akışının modellenmesi için kısa bilgisayar zamanı aldığından, ancak sonlu elemanlar metodu kadar hassas sonuçlar elde edilememekle beraber kabul edilebilir hassasiyetle sonuçlar elde edildiğinden tercih edilmektedir. Üst Sınır Metodunda plastik deformasyon için harcanan güç, ideal plastik deformasyon için harcanan güç ve kayma ve sürtünme yüzeylerinde harcanan güçlerin toplamına eşit veya daha az olduğu şeklinde ifade edilir. Plastik deformasyon için gerekli kuvvet deformasyon için gerekli gücü presin gücüne eşitleyerek hesaplanır.

Yöntemde hesapları basitleştirmek için bir takım kabuller yapılır:

- Malzeme izotropik, sıkıştırılamaz, pekleşmeyen, rijit tam plastiktir,
- Takımlar rijittir,
- Malzeme Levy-Mises ve von Mises akma kriterlerini sağlamaktadır,
- Kalıp ile iş parçası arasındaki sürtünme tüm proses boyunca sabittir. Bu kabuller doğrultusunda istenen deformasyonu sağlamak için gerekli güç denklem 1 ile verilir presin gücüne eşitleyerek hesaplanır. Yöntemde hesapları basitleştirmek için bir takım kabuller yapılır:

$$\dot{W} = \frac{2\sigma_0}{\sqrt{3}} \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}}\, dV \quad + \quad \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \int_{\Gamma_s} |\Delta V|\, dS + \; m \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \int_{\Gamma_f} |\Delta V| dS \qquad (1)$$

Metal biçimlendirmenin karakteristiği oldukça karmaşıktır. Bu yüzden üç boyutlu gerçek biçimlendirme prosesleri için tam bir matematiksel sonuç elde etmek zor olur. Eğer deformasyon hacminde gerilme ve genleme oranı bulunabilirse bir metal biçimlendirme prosesi için tam bir çözüm elde edilebilir. Bunun için bazı araştırmacılar tarafından metal biçimlendirme problemlerini çözmek için bazı analitik ve nümerik metotlar kullanıldı. Metal şekillendirmenin hesabı için gerilme ve genleme alanlarını ve metal akışını tahmin etmeye yönelindi. Bilim adamları ve mühendisler tarafından tercih edilen metotlar, dilim metodu, kayma çizgileri metodu, sınır analizi, sonlu eleman analizi, sonlu farklar ve sınır elemanı metotlarıydı. Dilim metodu; metal akış yönüne dik olan bu dilim ölçülmeyecek kadar küçük bir doğru içinde veya eğride metal deformasyonlarını göz önünde tutar. Etkiyen kuvvetler dilim üstüne yerleştirilir ve bu sonuçlar statik dengenin farklı bir denklemi içindedir. Doğruluk çok yüksek değilse de, metot hızlı hesap elde etmeye yarar. Kayma çizgileri metodu metal biçimlendirme prosesleri için gerilme ve genleme dağılımını bulur. Fakat bu sadece düzlem genleme için uygundur. Bu metotta, plastik akış, kayma çizgisi diye adlandırılan çizgiler ile sunulan düzlemler boyunca kayma deformasyonu ile temsil edilir. Kayma çizgisi analizi düzlem genleme problemleri için bile çok uzun ve yorucudur. Sonlu farklar metodu genellikle sıcaklık dağılımını hesaplamak için kullanılabilir. Sonlu elemanlar metodu nümerik bir metottur ve metal biçimlendirmeye spesifik değildir. Bilgisayar sistemlerindeki ve nümerik metotlardaki gelişmeler daha doğru sonuçları geliştirmek için kullanımlarını daha geçerli hale getirdi. Metal biçimlendirmenin sonlu eleman analizi daha doğru gerilme ve genleme dağılımını bulurken, bilgisayar zamanı ise uzundur. Ayrıca sonlu elemanların hassasiyeti verilen dataların da hassasiyetine oldukça bağlıdır.

Limit analizi alt sınır ve üst sınır olmak üzere ikiye ayrılır. Temeli makul bir gerilme alanı olan alt sınır çözümü gerçek değerinden daha az ve eşit olmayan bir doğru alır. İlk önce Prager ve Hodge **(**Prager, W., 1951**)** tarafından tanıtılan Üst Sınır Metodu, plastik olarak deforme olan hacimdeki hız alanları ile giderilmesi gerekli şartların önemini ihtiva eder. Plastik bölgede malzeme hareketin matematik sunumu olan kinematik olarak kabul edilebilir hız alanı önemli bir fikir meydana getirir. Öyle ki, plastik olarak deforme olacak kısım içerisinde deformasyonu sağlayabilmek için dış kuvvetlerde yapılan iş, iç enerji ihtiyacına eşit olmalıdır.

Kinematik olarak kabul edilebilir hız alanı bileşenleri ve onların birinci türevleri kayma yüzeylerinin dışında sürekli olmalı ve sınır şartlarını sağlamalıdır.

Kinematik olarak kabul edilebilir hız alanları boyunca, gerçek olan deformasyon sırasında güç dağılımı küçüktür. Eğer gerçek hız alanı hesaplanabilirse, enerji doğru olarak tahmin edilebilir. Kinematik olarak yapılan gerçek yüzünden, makul hız alanı çeşitli metal biçimlendirme problemlerinin çözümü için Üst Sınır Metodunun farklı geometrisini kullanan çoğu araştırmacı için gerilme alanından daha kolaydır.

5.2. Üst Sınır Metodunun Formülasyonu

Üst sınır metodunu ifade etmede sıra ile aşağıdaki kabuller yapılır,

- Malzeme izotropik ve sıkıştırılamazdır.
- Elastik deformasyon ve atalet kuvvetleri yoktur.
- Malzeme Levy-Mises ve von Mises kriterlerini sağlamaktadır.
- Malzeme pekleşmeyen rijit plastiktir.
- Malzemenin akma sınırı sabittir.

Toplam güç, ideal deformasyon, sürtünme direncini yenme ve iç kaymaya sebep olmak için gerekli güç ihtiyacının toplamı olarak kabul edilebilir. Eğer proseste tel çekmede olduğu gibi bir geri çekme varsa bu sebeple geri çekme için uygulanan güç, toplam güçten çıkartılmalıdır.

5.2.1. İdeal Deformasyon Enerjisi

Von Misses malzemesi için iş oranı şöyle yazılabilir,

$$\dot{\omega} = \sigma_{11}\dot{\varepsilon}_{11} + \sigma_{22}\dot{\varepsilon}_{22} + \sigma_{33}\dot{\varepsilon}_{33} + 2\left(\sigma_{12}\dot{\varepsilon}_{12} + \sigma_{23}\dot{\varepsilon}_{23} + \sigma_{31}\dot{\varepsilon}_{31}\right) \quad (5.1)$$

bu tensor notasyonunda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{\omega} = \sigma_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij} \quad (5.2)$$

Gerilme tensörü keza gerilme deviatörü ve hidrostatik gerilme şeklinde yazılabilir.

$$\dot{\omega} = \left(S_{ij} + S\ \delta_{ij}\right)\dot{\varepsilon}_{ij} \quad (5.3)$$

- S_{ij} gerilme deviatör tansörü
- $\dot{e}_{ij}$ genleme hızı tansörü
- δ_{ij} birim tansör. Böylece (5.3) denklemi aşağıdaki şekilde genişletilebilir.

$$\dot{\omega} = \left(S_{11} + S\right)\dot{\varepsilon}_{11} + \left(S_{22} + S\right)\dot{\varepsilon}_{22} + \left(S_{33} + S\right)\dot{\varepsilon}_{33} + 2\left(S_{12}\dot{\varepsilon}_{12} + S_{23}\dot{\varepsilon}_{23} + S_{31}\dot{\varepsilon}_{31}\right) \quad (5.4)$$

$$\dot{\omega} = S_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij} + S\,\dot{\varepsilon}_{ij} \quad (5.5)$$

Plastik deformasyonda hacim sabitliği denklem (5.5) deki gibi tanımlanabilir.

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \dot{\varepsilon}_{11} + \dot{\varepsilon}_{22} + \dot{\varepsilon}_{33} = 0 \quad (5.6)$$

Böylece (5.4) eşitliği aşağıdaki hali alır.

$$\dot{\omega} = (S_{11})\dot{\varepsilon}_{11} + (S_{22})\dot{\varepsilon}_{22} + (S_{33})\dot{\varepsilon}_{33} + 2(S_{12}\dot{\varepsilon}_{12} + S_{23}\dot{\varepsilon}_{23} + S_{31}\dot{\varepsilon}_{31}) \tag{5.7}$$

Son eşitlik tansör notasyonuna göre,

$$\dot{\omega} = S_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij} \tag{5.8}$$

halini alır. Von Mises akma kriterine göre gerilme deviatörünün ikinci inveryantı belirli bir değere ulaştığında, yani malzemenin basit kaymada akma sınırı olan k değerine ulaştığında akma başlayacağından, genleme hızı bileşenleri yerine konarak,

$$J_2 = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} = k^2 \tag{5.9}$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{kl}\dot{\varepsilon}_{kl}}}{k}\dot{\varepsilon}_{ij} \tag{5.10}$$

böylece,

$$\dot{\omega} = \frac{1}{k} S_{ij} S_{ij} \sqrt{\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij}} \tag{5.11}$$

denklem (5.9)'daki von Mises akma koşulu yerine konduğunda,

$$\dot{\omega} = 2k\sqrt{\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij}} \tag{5.12}$$

$$k = \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}} \tag{5.13}$$

$$\dot{\omega} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_o\sqrt{\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij}} \tag{5.14}$$

σ_0 malzemenin akma gerilmesidir.

Temas alanı altında metalde iç enerji ihtiyacı (5.14) eşitliğinin deformasyon hacmi üzerinden integrasyonu ile elde edilir.

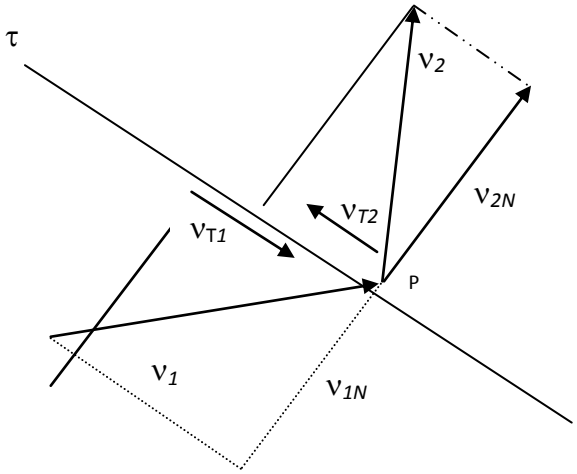
$$\dot{W}_D = \int_V \dot{\omega}\, dV \tag{5.15}$$

V deformasyon bölgesinin hacmidir.

$$\dot{W}_D = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_o\int_V\sqrt{\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_{ij}\dot{\varepsilon}_{ij}}\,dV \tag{5.16}$$

5.2.2. Kayma Enerjisi

Tüm deformasyon bölgesi için hız alanı için tek bir matematiksel ifade kullanmak ya mümkün değil yada çok zordur. Bu zorluğu gidermek için deformasyon bölgesini çeşitli bölgelere bölmek avantajlı olabilir. Her bir bölgede, hız alanı ve türevi sürekli olmalıdır. Yüzeye paralel, hız süreksizleri mevcut olabilir.



Şekil 5.1. Hız Süreksizliği

Şekil 3.1'de V_{1N} ve V_{2N} I. ve II. bölgelerde hızın normal bileşenleridir. V_{T1} ve V_{T2} sınırda teğetsel bileşenlerdir. Teğetsel bileşenler arasındaki fark hız süreksizliği diye adlandırılır.

$$|\Delta V| = v_{t1} - v_{t2} \tag{5.17}$$

Yüzey boyunca hız süreksizliği şekil değiştirmiş malzeme içinde kayma artışına yol açar. Malzemenin müsaade edebileceği kaymaya karşı maksimum dayanım,

$$\tau = \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}} \tag{5.18}$$

kayma sınırları üzerindeki maksimum enerji ihtiyacı,

$$\dot{W}_s = \int_\Gamma \tau |\Delta v| \, dS \tag{5.19}$$

5.2.3. Sürtünme Kayıpları

Her zaman takımlar ve nesneler arasındaki temasta, bağıl bir hareket vardır. Bu hareket için sürtünme diye adlandırılan bir mukavemet vardır. Sürtünmenin mekanizması karışıktır. Sürtünme mukavemeti τ ile gösterilir. Sürtünmenin matematiksel tarifi çok olduğu halde, bunlardan ikisi, sürtünmenin Coulomb katsayısı ve kayma katsayısı sabit plastisitede en çok kullanılanlardır. Eğer Coulomb Sürtünme Yasası kabul edilirse, o zaman,

$$\tau = \mu p \tag{5.20}$$

fakat, bilim adamları için aşağıdaki denklem tercih edilir.

$$\tau = m \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}} \tag{5.21}$$

m, takım ve metal arasındaki sürtünme faktörüdür ki, sürtünme meydana geldiğinde 0'dan 1'e değişir. Takım ile malzeme arasındaki relatif hareketten dolayı sürtünme direncini yenmek için gerekli enerji.

$$\dot{W}_f = \frac{m}{\sqrt{3}} \int_S \sigma_o \Delta V ds \tag{5.22}$$

olarak verilir. Burada; ΔV, takım malzeme ara yüzüne paralel yönde hız süreksizliğidir.

5.2.4. Geriye Çekme

Bazı şekil değiştirme yöntemlerinde bu terim önemlidir. Malzemeyi deforme etmek için gerekli gerçek gücü azaltmada bu geriye çekme kuvveti işleme yardım eder. Bundan dolayı kuvvet şu şekilde verilir.

$$\dot{W}_t = \int_{S_i} T_i V_i ds \tag{5.23}$$

T_i dış gerilmenin normal bileşeni

S_i dış gerilmenin uygulandığı yüzey

V_i takım hızı

5.2.5. Toplam Enerji Dağılımı

Toplam güç aşağıdaki gibi elde edilir.

$$J^* = \dot{W}_d + \dot{W}_s + \dot{W}_f - \dot{W}_t \tag{5.24}$$

(5.16), (5.19), (5.22), (5.23) denklemleri (5.24) denklemleri içerisinde yerine konduğunda,

$$J^* = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_o \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}}\, dv + \int_\Gamma \tau |\Delta v|\, ds + \frac{m}{\sqrt{3}} \int_S \sigma_o \Delta V ds - \int_{S_i} T_i V_i ds \tag{5.25}$$

dışarıdan verilen toplam enerji,

$$E^p = F.v \tag{5.26}$$

Burada ; F, deformasyon için dışarıdan uygulanan kuvveti, v, takım hızını gösterir.

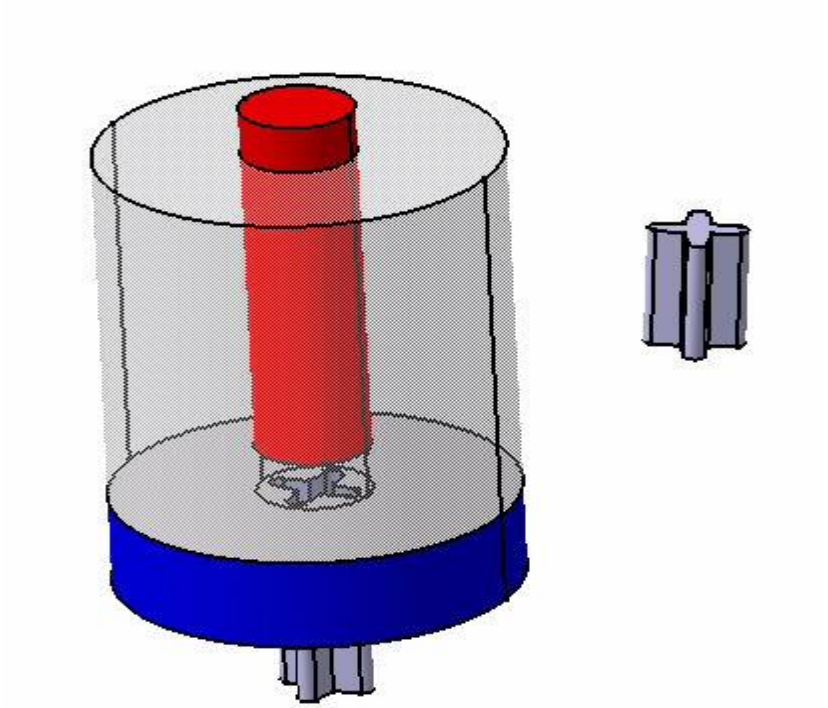
Böylelikle toplam güç hesaplanabilir ve minimum enerji gereksinimi toplam enerji minimize edilerek bulunabilir. Denklem (5.25)'de tüm güç terimleri bütün metal şekillendirme işlemleri için mevcut olmayabilir veya ihmal edilecek kadar etkisi zayıf olabilir. Bu da araştırmacılara kolaylık sağlar.

Birçok karmaşık metal biçimlendirme proseslerinde, mesela kapalı kalıpla dövme gibi, malzeme deformasyonu, işlem sırasında çeşitli kademelerde akış yönünde değişmektedir. Karmaşık akış mekanizması biçimlendirme kuvvetleri ve takım gerilmelerinin hesabını son derece zorlaştırır. Aşağıda da görüleceği gibi, eksene göre simetrik bir parçaya bir birleştirilmiş dövme tipi ekstrüzyon işleminin uygulandığı analitik araştırma ve bir deneyden elde edilen sonuçların sunulması görülmektedir. Gerek deneysel olarak, gerekse teorik olarak tespit edilmektedir ki, bu dövme tipi ekstrüzyon işlemi üç farklı bölgeden ibarettir. Her kademe sırasında üst sınır ifadesinin bir kısmı plastik deformasyon için gerekli enerjiyi izah etmek için, sürtünmeyi yenmek için ve iç hız süreksizlerinin yüzeyindeki kat sayıyı izah edebilmek için türetilmektedir.

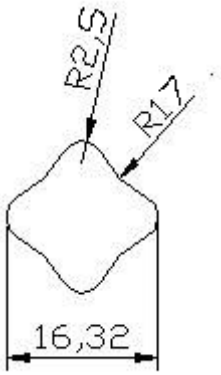
6.YONCA (CLOVER) BİÇİMLİ BİR PARÇANIN MATEMATİK MODELİ

6.1. Giriş

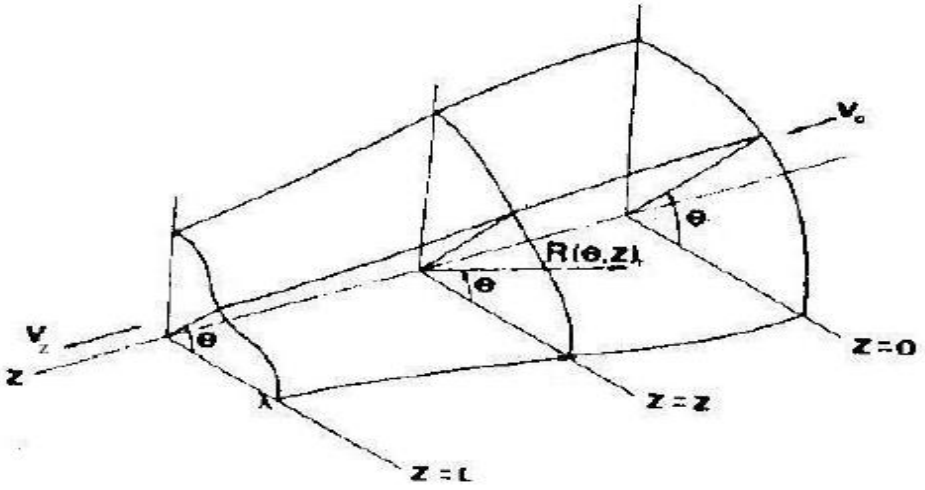
Sunulan projede matematiksel modellemenin yapılması amacıyla silindirik (r,θ,z) koordinat sistemi kullanılmıştır. Seçilen eksen takımının orijini hammaddenin alt yüzeyinin merkezi ile çakışmakta ve düşey eksen, z ekseni, hammaddenin ve deliğin ekseni ile çakışmakta ve yukarı doğrudur.



Şekil 6.1. Ekstrüzyon Kalıbı ve Ürün

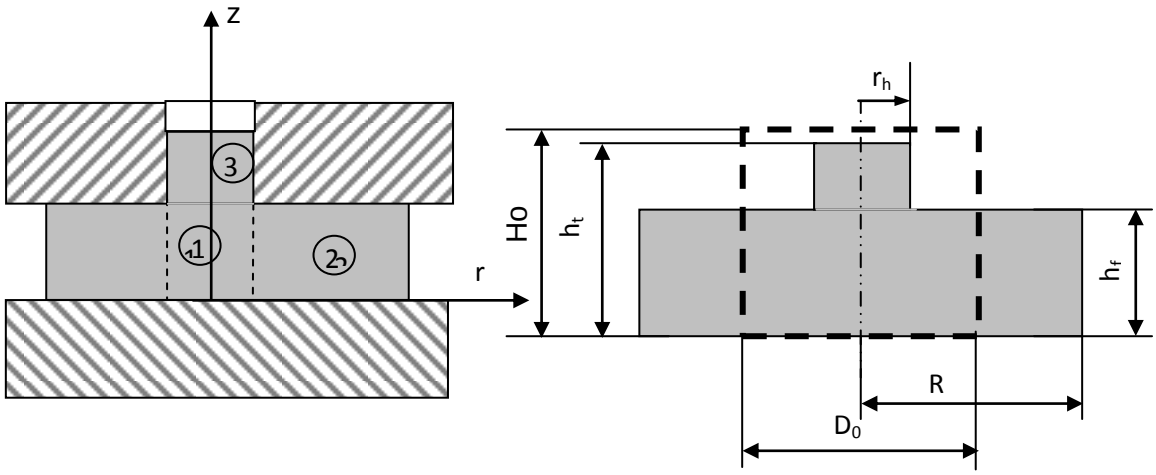


Şekil 6.2 Ürün Boyutları (R=3.675)



Sekil 6.3 Koordinat Ekseni Tanımı

Düz bir alt plaka ve merkezinde yonca tipinde bir delik bulunan üst plaka arasına yerleştirilen silindirik hammadde aşağı doğru Vo hızı ile hareket eden üst plaka ile sıkıştırılır. Hammaddenin üst yüzeyinin merkezi ile üst kalıbın deliğinin merkezi çakışır. Koordinat sistemi olarak silindirik (r,θ,z) koordinat sistemi kullanıldı. Seçilen eksen takımının orijini hammaddenin alt yüzeyinin merkezi ile çakışmakta ve düşey eksen, z ekseni, hammaddenin ve deliğin ekseni ile çakışmakta ve yukarı doğrudur. Şekil 6.4.'de ayrıca hammadde ve ürünün başlangıç ve bitiş geometrileri gösterilmiştir.



a) **b)**

Şekil 6.4. a) Ekstrüzyon Tipi Dövme İşleminde Deformasyon Bölgeleri,

b)Deforme Olmuş İş Parçasının Başlangıç ve Bitiş Geometrileri

6.2. Birinci Kademe Başlangıç Deformasyonu

Deformasyon esnasında üst plaka birim hız ile, yani Vo= -1 ile düşey olarak aşağıya doğru hareket eder ve malzeme merkezde yani 1 numaralı bölge içinde aynı şekilde düşey doğrultuda bir $V_D < 1$ hızı ile hareket eder. Şekil 4.4.'de gösterilen radyal hız bileşenleri için hacim sabitliği durumunda kullanılarak aşağıda verilen hız alanları ifadeleri elde edilebilir.

Merkezdeki 1 numaralı kısım için, yani $0 \le r \le R_h$ için Radyal, eksenel ve çevresel hızlar; (U_r, V_{θ}, W_z) (6.1) denklemi ile verilir.

$$U_{r1} = V_D . r/3h$$
$$W_{z_1} = -\frac{1}{h}.z \qquad (6.1)$$
$$V_{\theta 1} = 0$$

2 numaralı flanş kısmı için yani $R_h \le r \le R$ için Radyal, eksenel ve çevresel hızlar ; (U_r, V_{θ}, W_z) 4.2 denklemi ile verilir.

$$U_{r2} = \frac{r}{2h}\left[1-\left(\frac{R_h}{r}\right)^2\left(1+V_D\right)\right]$$
$$W_{z2} = -\frac{V_D}{h}.z \qquad (6.2)$$
$$V_{\theta 2} = 0$$

Silindirik koordinatlarda genleme hızları aşağıda denklem (6.3) deki gibi verilir.

$$\dot{\varepsilon}_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r} \quad \dot{\varepsilon}_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z} \quad \dot{\varepsilon}_{\theta\theta} = \frac{u_r}{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial V_{\theta}}{\partial \theta}$$

$$\dot{\varepsilon}_{rz} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial r}\right) \quad \dot{\varepsilon}_{r\theta} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial \theta}\right) \quad \dot{\varepsilon}_{\theta z} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial \theta}\right) \tag{6.3}$$

Bu hız bileşenlerine göre denklem (6.3) deki ifadeler kullanılarak genleme hızı bileşenleri aşağıda, denklem (6.4) ve denklem (6.5) de gösterilmektedir.

$R_h \le r \le R$ bölgesi için,

$$\begin{aligned}
\dot{\varepsilon}_{rr} &= \frac{dU_r}{dr} = \frac{1}{3h}\left[1 + \left(\frac{R_h}{r}\right)^2 (1 + V_D)\right] \\
\dot{\varepsilon}_{vv} &= \frac{U_r}{r} = \frac{1}{3h}\left[1 - \left(\frac{R_h}{r}\right)^2 (1 + V_D)\right] \\
\dot{\varepsilon}_{zz} &= \frac{dW}{dz} = -\frac{1}{h}
\end{aligned} \tag{6.4}$$

$0 \le r \le R_h$ bölgesi için,

$$\dot{\varepsilon}_{rr} = \frac{V_D}{2h}$$

$$\dot{\varepsilon}_{vv} = \frac{V_D}{2h} \tag{6.5}$$

$$\dot{\varepsilon}_{zz} = -\frac{V_D}{2h}$$

6.2.1. İç Deformasyon İçin Enerji İhtiyacı

Birinci kademe sırasında iç deformasyondan dolayı enerji dağılımının hesabı için, denklem (6.4) ve (6.5) de verilen genleme hızları denklem (5.25) in birinci kısmında silindirik koordinatlarda yazılmış ifadesi olan denklem (6.6) da yerine konulduğunda,

$$W_D = \frac{2\sigma}{\sqrt{5}} \int_V \sqrt{\frac{1}{2}(\dot{\varepsilon}_{rr}{}^2 + \dot{\varepsilon}_{\theta\theta}{}^2 + \dot{\varepsilon}_{zz}2) \; + \dot{\varepsilon}_{rz}{}^2 + \dot{\varepsilon}_{r\theta}{}^2 + \dot{\varepsilon}_{z\theta}} \; dV \tag{6.6}$$

Merkezdeki 1 numaralı kısım için ideal deformasyon enerjisi,

$$W_{D1} = \frac{2\sigma}{\sqrt{5}} \int \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{V_D^2}{4h^2} + \frac{V_D^2}{4h^2} + \frac{V_D^2}{h^2} \right)}\ r dr d\theta dz$$

(6.7)

$$W_{D1} = \sigma \pi R_h^2 V_D \tag{6.8}$$

Flanşta yani 2 numaralı bölgedeki ideal deformasyon enerjisi hesabında 1 numaralı bölgede izlenen prosedür izlenerek,

$$W_{D2} = \frac{2\sigma}{\sqrt{5}} \int \sqrt{\frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{2h}\left(1 + \frac{R_A^2}{r^2}\right) \right)^2 + \left(\frac{1}{2h}\left(1 - \frac{R_A^2}{r^2}\right) \right)^2 + \frac{1}{h^2} \right]}\ R dR d\theta dz$$

(6.9)

$$R_A = R_h \sqrt{1 + V_D} \tag{6.10}$$

$$W_{D2} = 2\pi\sigma \int_{R_h}^{R} \sqrt{R^4 + \frac{1}{3} R_A^4}\ \frac{dR}{R} \tag{6.11}$$

denklem (6.10) daki integral için $R^2 = x$ dönüşümü yapılırsa,

$$\frac{dR}{R}=\frac{1}{2}\frac{dx}{x} \tag{6.12}$$

böylece (6.11) denklemi,

$$W_{D2}=2\pi\sigma\int_{R_h}^{R}\sqrt{x^2+\frac{1}{3}R_A^4}\;\frac{dx}{x} \tag{6.13}$$

daha sonra,

$$W_{D2}=\pi\sigma\left\{\frac{R_A^{\,2}}{\sqrt{3}}\left(\sqrt{3\left(\frac{R}{R_A}\right)^4+1}-\sqrt{3\left(\frac{R_h}{R_A}\right)^4+1}-\mathrm{Ln}\left[\left(\frac{R_h}{R}\right)^2\left\{\frac{\sqrt{3\left(\frac{R}{R}\right)^4+1}+1}{\sqrt{3\left(\frac{R}{R}\right)^4+1}+1}\right\}\right]\right)\right\} \tag{6.14}$$

elde edilir.

Toplam ideal deformasyon enerjisi,

$$W_D=W_{D1}+W_{D2} \tag{6.15}$$

Denklem (6.9) ve (6.14) denklem (6.15) de yerine konursa birinci bölge için toplam ideal deformasyon işi elde edilir.

$$W_D = \pi\sigma\left\{\frac{{R_A}^2}{\sqrt{3}}\left(\sqrt{3\left(\frac{R}{R_A}\right)^5+1}-\sqrt{3\left(\frac{R_h}{R_A}\right)^4+1}\right)\right.$$

$$\left.-Ln\left[\left(\frac{R_h}{R}\right)^2\left\{\frac{\sqrt{3\left(\frac{R}{R}\right)^5+1}+1}{\sqrt{3\left(\frac{R}{R}\right)^5+1}+1}\right\}\right]+V_D.{R_h}^2\right\} \qquad (6.16)$$

6.2.2.Sürtünmeden Dolayı Enerji İhtiyacı

Deforme edilen parçasının üst ve alt temas yüzeylerinde sürtünmeden dolayı enerji dağılımı daha önce üçüncü bölümde de açıklandığı gibi denklem (6.17) ile verilir.

$$\dot{E}_F = \int_S \tau\,|\Delta V|\;dS \qquad (6.17)$$

τ yerine m.$\sigma/\sqrt{3}$ koyduğumuzda "m" yüzeyler arası sürtünme faktörü ve σ malzeme akma gerilmesi olmak üzere hız süreksizliği birinci bölge için,

$$|\Delta V| = \frac{V_D R}{3h} \tag{6.18}$$

$$W_{F1} = m\frac{\sigma}{\sqrt{5}}\int_0^{R_h} |\Delta V|\, R\, dR\, d\theta \tag{6.19}$$

böylece,

$$W_{F1} = \frac{2\pi m\sigma}{h\sqrt{5}}\left[\frac{V_D R_h^3}{6}\right] \tag{6.20}$$

İkinci bölge için sürtünme yüzeylerindeki relatif hız, $\Delta V = U_{r1}$ ve U_{r2} (6.1) ve (6.2) denklemlerinden alınarak,

$$|\Delta V| = \frac{R}{2h}\left[1-\left(\frac{R_h}{R}\right)^2\left(1+V_D\right)\right] \tag{6.21}$$

$$W_{F2} = m\frac{\sigma}{\sqrt{5}}\int_{R_h}^{R} |\Delta V|\, R\, dR\, d\theta \tag{6.22}$$

(4.21) denklemi (4.22) numaralı denklemde yerine konup, deforme olan iş parçasının üst ve alt yüzey yüzeyleri boyunca integre edilirse, sürtünme için harcanan iş ifadesi,

$$W_{F2} = \frac{2\pi m\sigma}{h\sqrt{3}}\left[\frac{R^3 - R_h^3}{5} - R_A^2\left(R + R_h\right)\right] \tag{4.23}$$

elde edilir.

Sürtünme için harcanan toplam enerji,

$$W_F = W_{F1} + W_{F2} \tag{6.24}$$

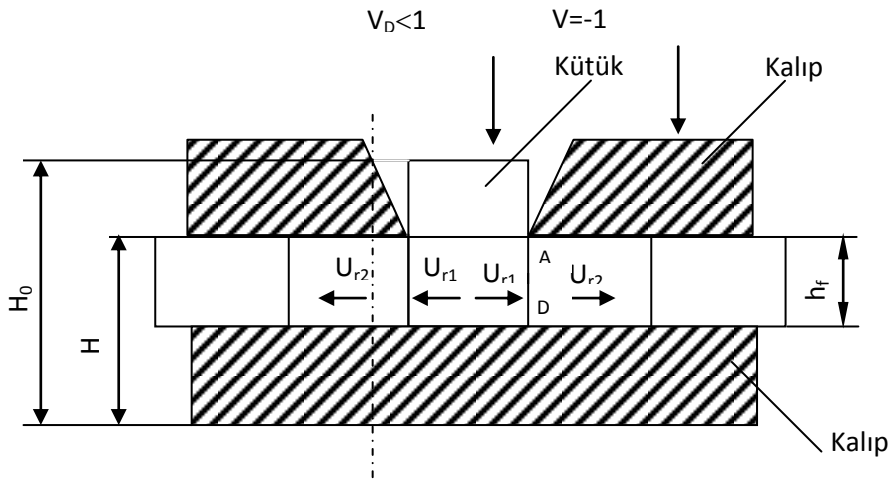
$$W_F = \frac{2\pi m\sigma}{h\sqrt{3}}\left[\frac{R^3 - R_h^3}{3} - R_A^2\left(R - R_h\right) + \frac{V_D R_h^3}{6}\right] \tag{6.25}$$

olarak bulunur.

6.2.3. Hız Süreksizlikleri Boyunca Enerji İhtiyacı

Hız süreksizliklerinin yüzeyleri boyunca enerji ihtiyacı için ifadeler denklem (6.17) de verilen sürtünme için kullanılan ifade ile aynı yoldan elde edilir. Sürtünme

faktörü m = 1 olduğu takdirde ve hız, ΔV, Şekil 6.2.'de gösterildiği üzere AD



çizgisi ile ayrılan 1 ve 2 bölgeleri boyunca dikey yönde relatif hızdan elde edilir. Üçüncü bölümde açıklandığı üzere denklem (6.26) verilen ifade ile bulunur.

Şekil 6.5. Birinci Kademede Hız Süreksizliği Yüzeyleri

$$W_S = \int_S \tau |\Delta V| \, dS \tag{6.26}$$

$$\tau = \frac{\sigma}{\sqrt{5}} \tag{6.27}$$

AD yüzeyi boyunca hız süreksizliği,

$$|\Delta V| = -\frac{z}{h}(1 + V_D) \tag{6.28}$$

(6.28) denklemi (6.26) numaralı denklemde yerine konursa AD hattı boyunca hız süreksizliğinden dolayı harcanan iş,

$$W_{S1} = -\frac{\pi\sigma}{\sqrt{5}} R_h (1 + V_D) h \tag{6.29}$$

olarak bulunur. Aynı surette, Şekil 6.2.'de verilen hız süreksizlikleri, AH boyunca enerji dağılımı için ifade,

$$|\Delta V| = -\frac{V_D . R}{2h}$$

(6.30)

(6.30) denklemi (6.26) denkleminde yerine konursa AH hattı boyunca enerji dağılımı için ifade,

$$W_{s2} = \frac{\pi V_D \sigma R_h^3}{3h\sqrt{3}} \tag{6.31}$$

şeklinde elde edilir.

Hız süreksizliğinden dolayı toplam enerji ihtiyacı,

$$W_S = W_{S1} + W_{S2} \tag{6.32}$$

$$W_S = W_{S1} + \frac{\pi V_D \sigma R_h^3}{3h\sqrt{3}} \tag{6.33}$$

6.2.4.Birinci Kademe İçin Toplam Enerji İhtiyacı

Birinci kademe için gerekli olan enerji (6.16), (6.25) ve (6.33) denklemlerinin toplamından elde edilir.

$$W_{T1} = W_D + W_F + W_S \tag{6.34}$$

Dövme basıncının malzemenin akma gerilmesine oranı, P/σ oranı,

Denklem (6.34) de verilen toplam enerji denklemimin, Vo=1 birim hızı ile ve temas alanı ; $A= \pi (R^2-R_h^2)$ ile ve malzemenin akma gerilmesine bölünmesi suretiyle elde edilir.

$$\frac{P}{\sigma}=\frac{1}{R^2-R_h^2}\left\{\frac{R_A{}^2}{\sqrt{3}}\left(\sqrt{3\left(\frac{R}{R_A}\right)^4+1}-\sqrt{3\left(\frac{R_h}{R_A}\right)^4+1}-\mathrm{Ln}\left[\left(\frac{R_h}{R_A}\right)^2\left\{\frac{\sqrt{3\left(\frac{R}{R}\right)^4+1}+1}{\sqrt{3\left(\frac{R}{R}\right)^4+1}+1}\right\}\right]\right)\right.$$

$$\left.+V_D.R_h{}^2+\frac{V_D R_h^3}{3h\sqrt{3}}+\frac{R_h h}{\sqrt{3}}(1+V_D)+\frac{2m}{\sqrt{3}}\left[\frac{R^3-R_h^3}{3}+R_A^2(R-R_h)+\frac{V_D R_h^3}{6}\right]\right\}$$

(6.35)

Ekstrüze olan merkez de malzemenin dikey hızı V_D ,

$$V_D=\frac{H_i-H_o}{H_i-h} \tag{6.36}$$

şeklinde elde edilebilir. Burada H_i iş parçasının başlangıç yüksekliği ve H_o iş parçasının tam deformasyon yüksekliği, ve h flanşın yüksekliğidir.

7.DENEYSEL ÇALIŞMA

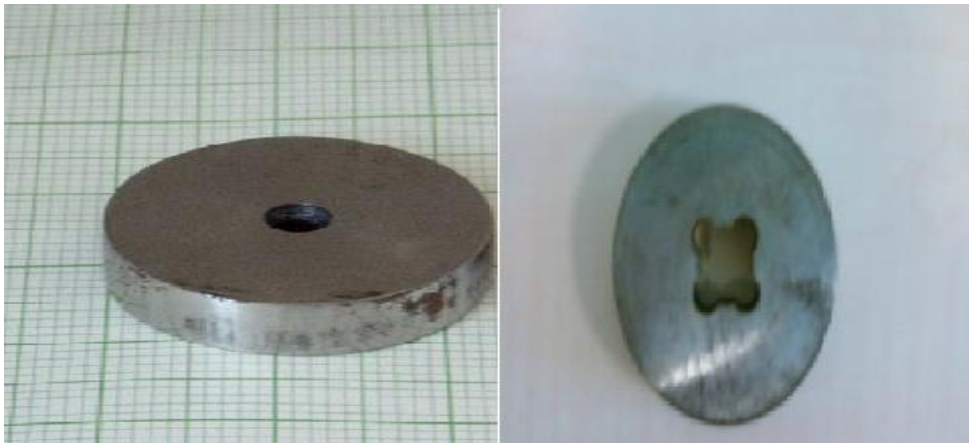
7.1. Giriş

Bu bölümde dördüncü bölümde elde edilen teorik sonuçların doğruluğuna karar verebilmek için yapılan deneyler ve deney prosedürü ve sonuçları gösterildi. Deneyler sırasında kuvvet ve strok ölçümleri yapıldı ve birinci kademeden ikinci kademeye geçiş için yükseklikteki kısalma tespit edildi. Bu yükseklikte ki kısalma değeri ve elde edilen maksimum çap değerleri teorik çalışmada kullanıldı.

7.2. Deney Prosedürü

Deneyler oda sıcaklığında ve 150 kN'luk hidrolik preste yapıldı. Deney parçaları blok halindeki alimünyum (AL99,5) küçük parçalara ayrılarak piknik tüpü üzerinde ergitilip ekstrüzyon alıcısına dökülmesi ve burada tekrar katılaşan alüminyum (AL99,5) 30.1 mm.'ye ileri ekstrüzyonu ile elde edilen çubuklardan kesme ve tornalama yoluyla elde edilmiştir. Ekstrüzyon sonucu oluşan bloklar yükseklikleri 30 mm. olacak şekilde kesilip, çapları da 30 mm. olacak şekilde tornalanarak aynı çap ve yüksekliğe sahip numuneler elde edilmiştir.

Bu numunelere basma deneyi yapıldı ve gerilme-genleme eğrisinde elde edilen sonuç gösterdi ki, basmanın akma gerilmesi olan σ =95,0 N/mm^2 olan bir sabit değere sahip olduğu kabul edildi. Bu değer sonradan dövme oranı hesaplarında kullanıldı.



(a) (b)

Şekil 7.1. a) Deneylerde Kullanılan Dairesel Kalıp,

b) Deneylerde Kullanılan Yonca Tipi Kalıp

Deneylerde Şekil 7.1.'de görülen üst kalıplar kullanılmıştır. Bu üst kalıplar merkezine 60 mm. genişliğinde ve 10 mm. derinliğinde dairesel bir oyuk açılmış 87 mm. çapında ve 30 mm. kalınlığındaki bir kovanın içine oturtularak dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kovana 11 mm. kalınlığında ve 60 mm. genişliğinde dairesel üst kalıpların sıkı geçmesi sağlanmıştır. Yapılan deneylerde iki adet üst kalıp mevcuttur. Bunlardan birincisi tek parça halinde olan ve merkezinde 10 mm. çapında tam delik bulunan kalıptır. Bu kalıbın alt kısmında, çıkan iş parçasının kalıptan rahat bir şekilde çıkması için üst delikten 3 mm. derinlikte açılan 10 mm. lik delik 15mm. çapa

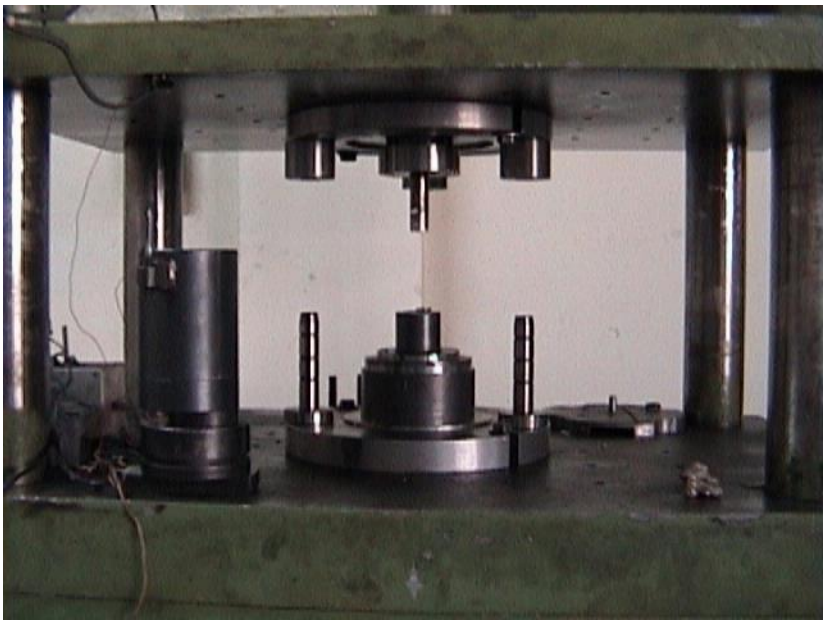
genişletilmiştir. İkinci alt kalıp ise yonca tipinde olan kalıptır. Ayrıca preste kullanılan ıstampanın deney numunesine zarar vermemesi ve kuvveti numunenin her yerine aynı oranda uygulaması için deney numunesi ile ıstampanın arasına 18 mm. kalınlığında ve 75 mm. çapında düz bir üst plaka kullanılmıştır. Kalıp malzemesi olarak kimyasal bileşimi Tablo 7.1.'de verilen 1050 H14 Standart Alüminyum Levha malzeme numaralı sıcak iş takım çeliği (AL99,5) kullanılmıştır.

.

Fe(%)	Si(%)	Zn(%)	Ti(%)	Mg(%)	Mn(%)	Cu(%)	Al(%)
0,4	0,25	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	99,5

Tablo 7.1. Sıcak İş Takım Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

Kalıpların sertleştirilmesi 1040 ^{0}C sıcaklıkta ısıtılarak daha sonra yağda soğutma ile sağlanmıştır. Temperleme 550 ^{0}C'de iki saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonunda ortalama sertlik değeri HR_C=48 olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.2. Deneyde Kullanılan Pres

Dövme kalıplarının birbirine yaklaşması elektronik olarak kontrol edilerek deneyler istenilen redüksiyon oranlarında durdurulmuştur. Bunun için otomatik bir durdurma devresi kullanılmıştır.

Dövme kuvvetini ölçmek için hidrolik presin basınç saatine yağ gönderen borudan –T- bağlantı elemanı ile tek bir devre kurulmuş, bu devrenin ucuna, dolu kesitli bir çubuğun içi t=2 mm. olacak şekilde boşaltılıp silindir şeklinde bir depo yapılmıştır. İki adet strain-gage (aktif) bu deponun üstüne yapıştırılmış, iki adet strain-gage ise dikdörtgen kesitli bir çelik parçanın üzerine yapıştırılmıştır. Böylece yapıştırılan bu dört adet strain-gage yardımıyla bir Wheatstone köprüsü oluşturulmuştur. Köprüden alınan dört adet uçtan ikisi ile doğru akım kaynağına, ikisi ile de x(t)-y(t) kaydedicisinin bir kanalına girilmiştir.

7.3. Deneylerin Yapılışı

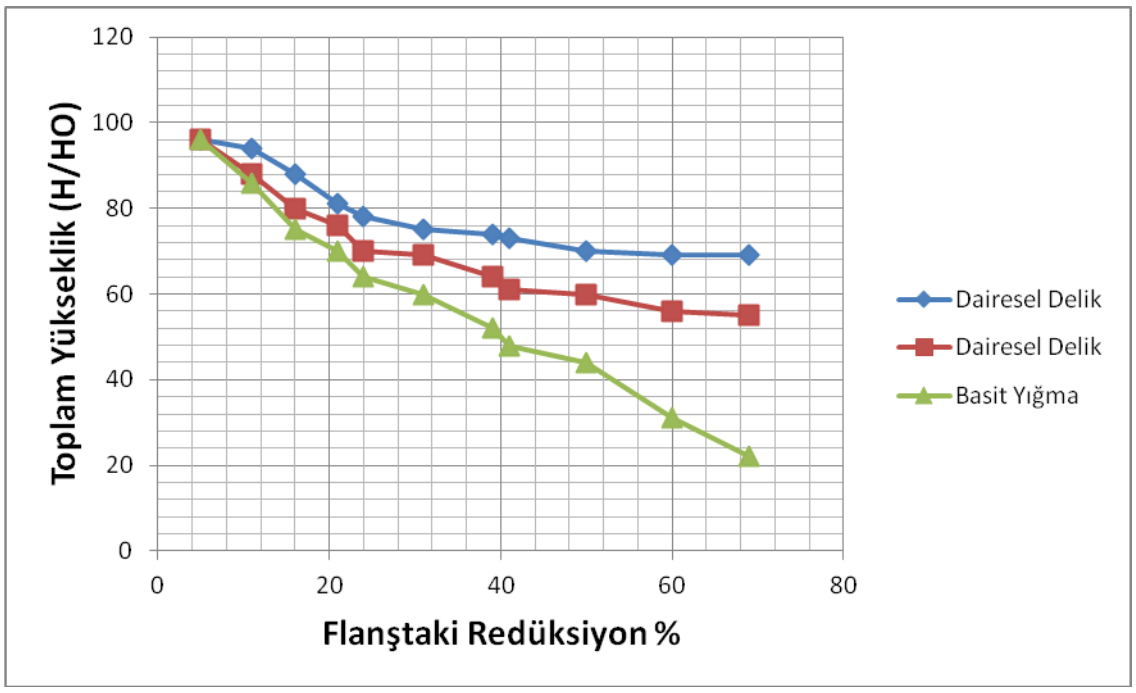
Deney numuneleri sürtünme koşullarının eşit olmasını sağlamak amacı ile asetonla silinerek kalıba yerleştirilmiştir. Dövme işlemi süresince kuvvet-strok eğrisi kaydedilmiştir. Deneylerde kullanılan kalıplar, deneylerin gerçekleştirilmiş olduğu presin üzerinde bağlı olarak bulunan altlığa kovanın içine sıkı geçirilerek monte edilmiştir. Daha önce de bahsedildiği üzere deneyler esnasında iki farklı üst kalıp kullanılmıştır. Bu kalıplardan tek parça olan ve merkezinde 10 mm. çaplı delik olan kalıp ile dairesel kesitli profiller yığılarak ekstrüze edilmiştir.

Deneye başlamadan önce numunenin üst kalıp üzerindeki merkezlenmesi yapılmış ve üst plaka da numunenin merkezini ortalayacak şekilde numune üzerine oturtularak dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde verilecek olan redüksiyon oranlarını belirlemek için, presin üst ve alt tablalarının arasına bir mihengir yerleştirilmiştir. Üst

tabla üst plakaya değdiği anda otomatik durdurma devresinin bir ucunun mihengirin ucuna değmesi sağlanmıştır. Böylelikle verilecek olan redüksiyon oranı mihengir üzerinde tespit edilerek ayarlanmış ve dövme işlemi gerçekleştirilmiştir. Mihengir üzerinde işaretlenen her bir redüksiyon oranından sonra dövme işlemi gerçekleştirilmiş ve istenen oranda basma gerçekleştirildikten sonra otomatik durdurucu sayesinde durdurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra pres ters yönde hareket ettirilerek üst tablanın üst plakadan ayrılması sağlanmıştır. Deney numunesi üst kalıbın üzerinden çıkartılarak, şekil değişiminden sonraki toplam yüksekliği, flanş yüksekliği, üst çapı ve alt çapı 0.01 mm hassasiyetli mikrometre ile ölçülerek kaydedilmiştir. Deney sırasında zaman kuvvet ilişkisi bir x(t) -y(t) yazıcısına kaydettirilmiştir. Daha önceden Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mekanik atölyesinde test amaçlı kullanılan disk-komparatör sistemi ile presin maksimum yükündeki kalibrasyonu yapılmış, sonra maksimum yükteki yazıcının kaleminin almış olduğu mesafe ile deformasyon sırasında oluşan mesafe oranlanarak deformasyon sırasındaki kuvvetler sayısal olarak elde edilmiştir.

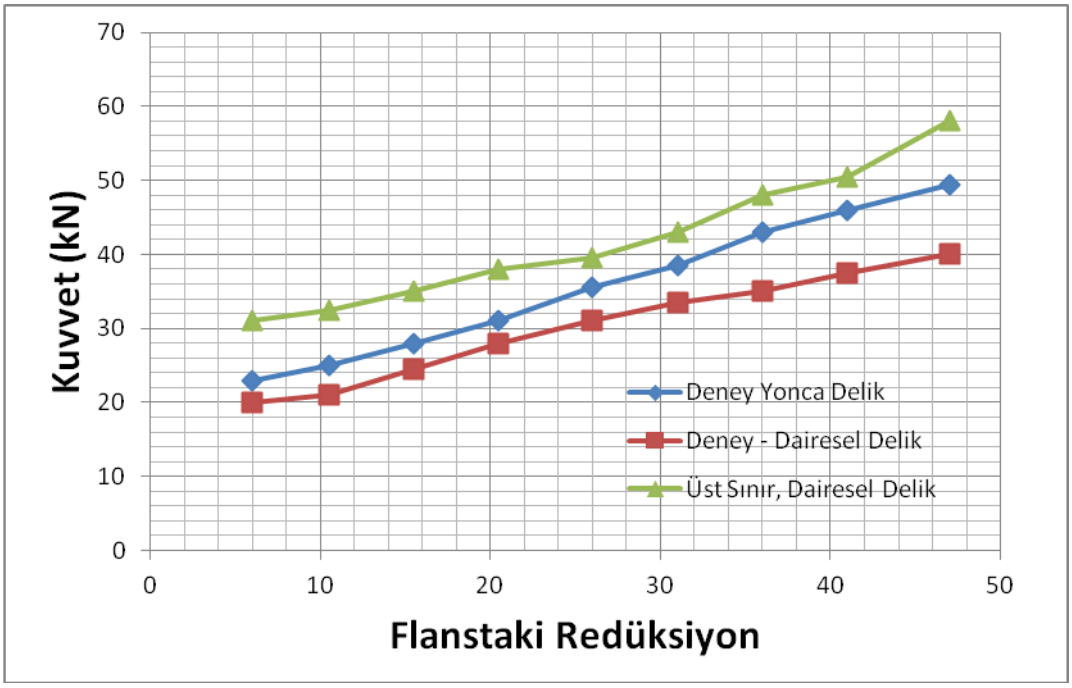
8. SONUÇLAR VE İRDELEME

Dördüncü ve beşinci bölümde anlatıldığı şekilde yapılan teorik hesap ve deneylerden elde edilen sonuçlar, bu bölümde açıklanmıştır. Grafik 7.1.'de flanştaki redüksiyona karşılık yükseklikteki azalma gösterilmiştir. Üçüncü bölümde de anlatıldığı üzere başlangıçta belirli bir redüksiyona kadar parçanın toplam yüksekliği azalmaktadır. Bu bölge giriş veya birinci bölge diye adlandırılmaktadır. Yapılan deneylerde birinci bölgeden ikinci bölgeye geçiş %40 flanştaki redüksiyon değerinde olmaktadır.



Grafik 7.1. Ekstrüzyon Tipi Dövmede Farklı İki Delik İçin Azalmaya Karşı Yükseklik.

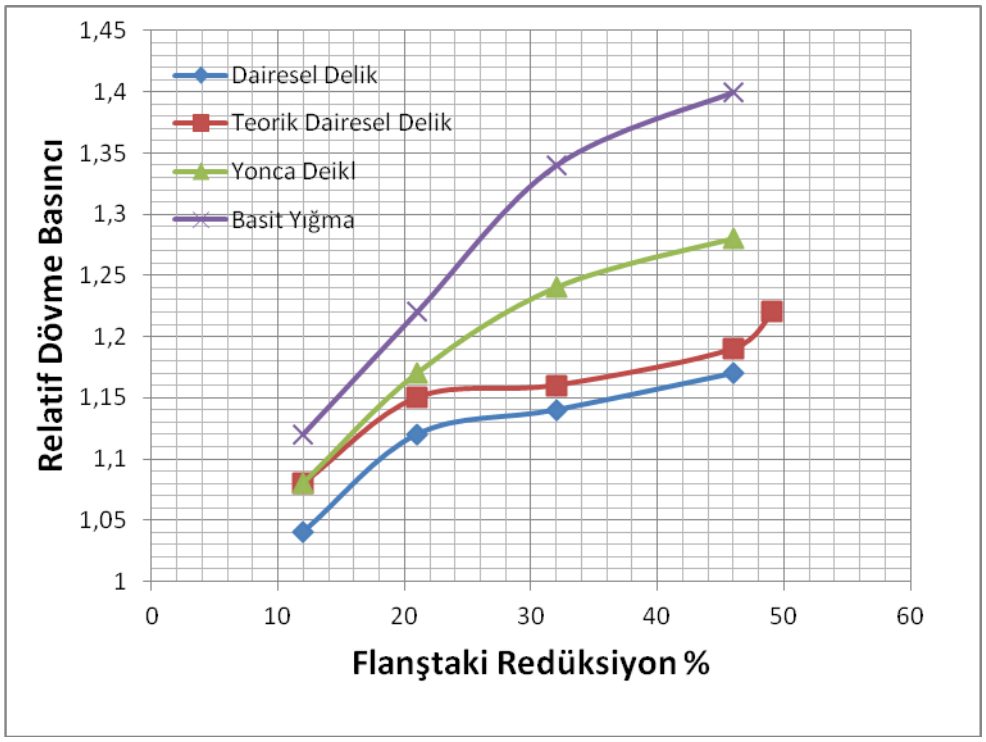
Grafik 7.1.'den de görüldüğü üzere %40 redüksiyon değerinden sonra yükseklikteki azalmada bir değişim olmamakta ve parçanın yüksekliği flanş kalınlığı azalmasına rağmen değişmektedir. Deneyler deformasyonun başlangıç kademesi incelendiği için ikinci bölgedeki redüksiyon değerlerinde kesilmiştir. Yapılan deneylerde aynı kesit alanına sahip dairesel delik ve yonca delik için boydaki azalmada hiçbir fark olmamaktadır. Üst kalıbında delik olmayan iki düz plaka arasında yapılan basit yığmada redüksiyon ve boydaki azalma yine Grafik 7.1.'de gösterilmektedir. Buradan da görüleceği üzere redüksiyon ve boydaki azalma arasında doğrusal bir ilişki olmasına rağmen ekstrüzyon tipi dövme işlemlerinde bu ilişki doğrusal olmayıp deformasyonun başında çok küçük redüksiyon değerlerinde basit yığma ile elde edilen sonuçlarla çakışmaktadır. Ancak artan redüksiyon değeri ile basit yığma ile olan benzerlik giderek azalmaktadır.



Grafik 7.2. Teorik ve Deneysel Sonuçlar Arasındaki Kuvvet Basıncı

Grafik 7.2.'de flanştaki redüksiyon değerine karşılık gerekli kuvvet grafiği gösterilmiştir. Bu grafik sadece %40'e varan redüksiyon değerleri için çizilmiştir. Çünkü bu değere kadar redüksiyon değerleri incelenen prosesin birinci kademe deformasyonuna karşılık gelmektedir. Bu grafikten görüldüğü üzere artan redüksiyon değeri ile gerekli kuvvet de artmaktadır. Çünkü daire deliğe göre yonca delik daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu için, yapılan işlemde daha fazla kuvvet gerekir. Dairesel delik için üst sınır metodu kullanılarak yapılan teorik hesap umulduğu üzere deneysel değerlerden daha yüksek çıkmaktadır.

Grafik 7.3.'de flanştaki yığmaya karşılık relatif deformasyon basıncı (p/σ) değerinin değişimi farklı delik kesitleri ve basit yığma hali için verilmektedir.



Grafik 7.3. Flanştaki Redüksiyona Karşılık Relatif Dövme Basıncının Değişimi.

Grafikten gözlendiği üzere artan redüksiyonla birlikte relatif deformasyon basıncıda artmaktadır. Basit yığma halindeki relatif deformasyon basıncı ekstrüzyon dövme tipindeki relatif deformasyon basıncına kıyasla daha fazladır.

Ekstrüzyon tipi dövme prosesinde aynı kesit alanına sahip ancak geometrisi farklı delik tipinin aynı hammadde çapı ve proses parametreleri için kuvvete ve kademeler arası geçişe etkisi gözlenmemiştir. Ancak farklı kesit alanına ve boyuna sahip ve hammadde kullanılarak kalıp geometrilerinin etkisi incelenmelidir. Ayrıca malzeme akışı ve kademeler arası geçişi gözlemek için renkli Plasticine kullanılarak fiziksel modelleme yapılabilir.

SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında farklı geometriler için sınır şartlarını ve sıkıştırılamazlık şartlarını sağlayan farkı denklemler oluşturularak denenmesi amaçlanmaktadır. Teorik olarak yapılan bu çalışmaların sonuçlarının ileri ki çalışmalarda deneysel sonuçlara desteklenmesi planlanmaktadır. Nihai amaç evolvent profile sahip ve ek işlem gerektirmeyen düz dişli çark elde edebilmektir. Matematiksel model oluşturulurken denklemlerin sınır şartlarını ve sıkıştırılamazlığı sağlayan denklemler olması gerekmektedir.

9.KAYNAKLAR

Brayden, L., and Monaghan J., (1991), "An Analysis of Closed Die Extrusion Forging" J. Mat. Proc. Tech., Vol:26, pp:141-157

Giardini, C., Ceretti E. and Maccarini, G., (1995), "Formability in Extrusion Forging: The Influence of Die Geometry and Friction Conditions", J. Mat. Proc. Tech., Vol:55, pp:305-308

Hu, W., and Hashmi, M.S.J., (1994) "Study of Metal Flow in Extrusion Forging of Rectangular Billets",J. Mat. Proc. Tech., Vol:43, pp:51-59

Hwang, B.C., Hong, S.J., Bae, W.B., (2001) An UBET Analysis of Non-Axisymetric Extrusion Forging of Process",J. Mat. Proc. Tech., Vol:111, pp:135- 141

Jain, S.C., Bramley, A.N., Lee, C.H., and Kobayashi, S., (1970), "Theory and Experiments in Extrusion Forging" Proc. 11th MTDR Conf. Birmingham, Sept. 1970, Pergamon, Oxford, 1971, pp: 1097-1115

Kudo, H. (1960), "Some Analytical Experimental Studies of Axisymmetric Cold Forging and Extrusion", Int. J. Mech. Sci. Vol:2, pp:71-117

Lange K (1985), Handbook of Metal Forming, Copyright by McGraw-Hill Book Company. Printed in the United States of America.

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

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

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

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

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

AKATA H. E. (1987), 'Çeliğin Dövülmesinde Kuvvet ve Malzeme Akışına Etkiyen Faktörlerin incelenmesi', Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Onuh S. O., Ekoja M., Adeyemi M.B. (2003) ; Effects of Die Geometry and Extrusion Speed on the Cold Extrusion of Aluminium and Lead Alloys, Journal of Materials Processing Technology vol. 132 pp. 274-285

Karabay S., Zeren M., Yılmaz M., (2003) Investigation Extrusion Ratio Effect On Mechanical Behaviour of Extruded Alloy AA-6063, Journal of Materials Processing Technology vol. 135 pp. 101-108

Airod A.,Vandekinderen H., Barros J., Colas R., Houbaert Y.,(2003) Constitutive Equations for the Room Temparature Deformation of Commercial Purity Aluminium, Journal of Materials Processing Technology vol. 134 pp. 398-404

Byon S.M., Hwang S.M., (2003) Die Shape Optimal Design in Cold and Hot Extrusion, Journal of Materials Processing Technology vol. 138 pp. 316-324

Mooi H.G., Koenis P.T.G., Huetink J.,(1999) An effective Split of flow and die deformation calculations of aluminium extrusion, Journal of Materials Processing Technology vol. 88 pp. 67-76

Gouveia B.P.P.A., Rodrigues J.M.C., Martins P.A.F., (1998); Finite Elamany modelling of cold forward extrusion using updated Lagrangian combined Eulerian-lagrangian formulations, Journal of Materials Processing Technology 80-81 pp. 647-652

Shafry D.,Tırosh J., Ber A., (1989) American society of mechanical engineers

Sheu J.J., Lee R.S.,(1991) Optimum die design of genereal three-dimensional section extruisons by using a surface model with tension parameter, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.31 No.4 pp 521-537

Yang D.Y., Han C.H., Kim M.U., (1986) A generalized method for analysis of thredimensional extrusion of arbitrarily-shaped sections, Int. J. Mach. Sci.. Vol.28 No.8 pp 517-534

Sofuoğlu H.,Gedikli H., (2004) physical and numerical analysisi of three dimensional extrusion process, Computaional materials science vol.31 pp 113-124

Song J.H., Im Y.T., (2004) Determination of a major design parameter for forward extrusion of spur gears, Journal of manufacturing science and engineering vol.126 pp 255-263

Lee R.S., Sheu J.J., Gau Y.J., (1991) Optimum die-surface design of gear spline extrusions using a general surface model, journal of materials processing technology vol.28, pp.365-382

Han C.H., Yang D.Y., Kiuchi M., (1986) A new formulation for three-dimensional extrusion and its application to extrusion of clover sections, Int. J. Mech. Vol.28, no. 4, pp.201-218

M.Bakhshi – Jooybari (2002) A theoretical and experimental study of friction in metal forming by the use of the forward extrusion process

Çapan L.,(2004) Dövme Teknolojisi TMMOB Yayın No:128 2.Baskı

Çapan L.,(1999) Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi,Üçüncü Baskı

Çan Y., (1998) 'Incremental Metal Forming and Analysis of Tube Spinning, PhD. Thesis, University of Bath

Mısırlı C., (2002), Ekstrüzyon Tipi Dövme Proseslerinin Analizi', Yüksek Lisans Tezi, T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Önder A.. (2006), Dişli Benzeri Parçaların İleri Ekstrüzyonunda Teorik Kuvvet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Mehmet Baki KALAMIŞ, İmalat Yöntemleri

ÖZGEÇMİŞ

İlhan DİNÇ 26.08.1975 yılında Malatya ili Hekimhan ilçesinde doğdu. Edirne Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi'ni bitirdikten sonra Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi'nden 1999 yılında mezun oldu. Aynı yıl Edirne Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde Öğretmenliğe başladı. Halen Edirne İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nde Şube Müdürü olarak görev yapmakta olup, Azra ve Alya isminde iki kız çocuğuna sahiptir.