

T- 19300

YIGMA SICAKLIĞININ SURTUNME KOŞULLARINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Şaban ÖZMEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Haziran 1991

Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Temmuz 1991

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mehmet DEMİRKOL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. M. ÇAPA
Prof.Dr. A. ARAN

TEMMUZ 1991

ÖNSÖZ

Kütlesel şekil değiştirme yöntemlerinin en önemlilerinden biri olan dövme işleminde kalıp/parça ara yüzeyindeki sürtünme şartlarının gerek mamülün biçimi, gerekse işlem için gerekli yükün mertebesi açısından çok önemli olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla işlem öncesinden kalıp/malzeme ara yüzeyinde söz konusu olabilecek sürtünme şartlarının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu amaçla değişik teknolojik deneyler önerilmekte olup, bunlardan "Halka Yığma Deneyleri" en yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada halka yığma deneyleri kullanılarak sürtünme koşulları sayısal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu koşulların yığma sıcaklığı, deformasyon hızı ve deformasyon miktarı ile olan değişimleri farklı yağlama şartları için incelenmiştir.

Endüstri için önemli bir konu olduğuna inandığım bu çalışmaya beni yönelten ve yönetimini titizlikle yapan, çalışmalarında gerek maddi ve gerekse manevi desteklerini esirgemiyen değerli hocam Doç.Dr. Mehmet DEMİRKOL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney malzemesinin sağlanmasında önemli katkılarda bulunan OMTAŞ A.Ş. ve KORKMAZ ÇELİK A.Ş.'ne, deneylerin yapılışında yardımlarını esirgemiyen Araş.Gör. Şafak YILMAZ ve Araş.Gör. E.Erdal YÜKSEL'e ve deneyi gerçekleştirilmesinde değerli yardımlarından dolayı tüm Malzeme ve İmalat Teknolojisi Birimi çalışanlara ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	VI
SUMMARY	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİ	4
2.1. Plastik şekil verme	4
2.2. Soğuk ve sıcak şekillendirme	6
2.3. Şekil değiştirme miktarı ve şekil de- ğiştirme hızının malzeme özelliklerine etkisi	8
2.4. Plastik şekil değişiminde hacim sabit- liği	10
2.5. Yığma dışında kalan diğer dövme yöntem- leri	10
2.6. Dövme makinaları	11
2.7. Plastik şekil vermede kuvvet hesaplama yöntemleri	12
2.7.1. Dilim yöntemi	13
2.7.2. Kayma çizgileri	17
2.7.3. Yük sınırlama	18
2.7.4. Viziyoplastisite	18
2.7.5. Sonlu elemanlar yöntemi	18
2.8. Yıgmada sürtünmenin azaltılması	19
2.8.1. Yağlama mekanizmaları	20
2.8.2. Yağlayıcılar	22
2.8.3. Yağlayıcıların özellikleri	24
2.9. Yığma sırasında kalıp/işparçası arayü- zeyinin özellikleri	25
2.9.1. Sürtünme	27
2.9.2. Halka yığma deneyi	32
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA	36
3.1. Malzemeler	36
3.1.1. Deney malzemesi	36
3.1.2. Yağlayıcılar	37
3.2. Deneyde kullanılan makina ve teçhizat ...	39
3.2.1. Hidrolik pres	39
3.2.2. Çekiç (Şahmerdan)	40
3.2.3. Fırınlr ve diğer gereçler	41
3.3. Halka basma deneyleri	42
3.3.1. Deney parçaları ve yükseklik mastar- larının hazırlanışı	42
3.4. Deneylerin yapılışı	45

3.5. Deney parçasının yığma sonrası değerlendirilmesi	50
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI	54
4.1. Prestes yapılan halka yığma deney sonuçları	54
4.2. Çekiçte yapılan halka yığma deney sonuçları	55
BÖLÜM 5. İRDELEME	92
5.1. Sabit sıcaklıkta ve düşük şekil değiştime hızında m değerinin deformasyon miktarı ile değişimi	92
5.2. Sabit deformasyon miktarı için ve düşük şekil değişimi hızında m değerinin sıcaklıkla değişimi	95
5.3. Sabit sıcaklıklarda ve düşük şekil değiştirme hızında sürtünme katsayısı μ değerinin deformasyon miktarıyla değişimi	96
5.4. Sabit deformasyon miktarı için düşük şekil değişimi hızlarında μ değerinin sıcaklıkla değişimi	97
5.5. Sabit sıcaklıkta ve yüksek şekil değişimi hızlarında deformasyon miktarına göre m değerinin değişimi	97
5.6. Sabit deformasyon miktarında ve yüksek şekil değiştirme hızında m değerinin sıcaklıkla değişimi	99
5.7. Sabit sıcaklıklarda, yüksek şekil değişimi hızlarında sürtünme katsayısı μ değerinin deformasyon miktarıyla değişimi	99
5.8. Sabit deformasyon miktarında ve yüksek şekil değiştirme hızında μ değerinin sıcaklıkla değişimi	100
5.9. Sabit deformasyon miktarında ve yağlama şartlarında m değerinin değişen sıcaklıklarda yüksek ve düşük şekil değiştirme hızlarındaki değişimi	101
5.10. Sabit deformasyon miktarında ve yağlama şartlarındaki μ değerinin sıcaklıklarda yüksek ve düşük şekil değiştime hızlarındaki değişimi	101
5.11. Sabit sıcaklıkta ve yağlayıcı şartlarda m değerinin deformasyon miktarına göre yüksek ve düşük şekil değiştirme hızlarındaki değişim	102

5.12. Sabit sıcaklıkta ve yağlayıcı şart- lardaki μ değerinin deformasyon mik- tarında yüksek ve düşük şekil değiş- tirme hızındaki değişim	103
BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIşMALAR için ÖNERİLER	104
6.1. Genel sonuçlar	104
6.2. İleri çalışmalar için öneriler	105
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİş	109

ÖZET

Üretim yöntemleri içerisinde, gerek üretim hızı gerekse metale kazandırdığı mekanik özellikler açısından tercih edilen dövme yöntemi, diğer üretim yöntemlerinde meydana gelen gelişmeler sonucu bazı üstünlüklerini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Ayrıca çapak ve tufal gibi malzeme kaybı dövme yöntemlerinde bunları önleyici veya azaltıcı çalışmalar gerektirmektedir.

Söz konusu bu çalışmalar içerisinde sıcak dövme işleminin ısı kaybının önlenmesinin yanında, kalıp/iş parçası arasındaki sürtünme şartlarının gerek malzemenin şekillendirilmesi için gerekli kuvvet ve gerekse parça kalitesinin yükselmesine etkiyecek şekilde geliştirilmesine yöneliktir.

Bu çalışmada deney parçasına değişik deformasyon miktarlarında, değişik şekil değiştirme hızlarında, farklı yağlama şartlarında ve farklı yığma sıcaklıklarının sürtünme üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Yığma deneylerinde AISI 1040 çeliğinden halka şeklinde hazırlanmış deney parçaları kullanılmıştır. Deneyler sıcak şekil verme olarak gerçekleştirilmiştir ve kalıp sıcaklıkları oda sıcaklığında tutulmuştur.

Sıcak dövmede, kalıp/iş parçası arasında meydana gelen sürtünme üzerinde yağlama şartlarının, şekil değiştirme hızlarının, deformasyon miktarlarının ve sıcaklık etkilerinin önemli ölçüde etkili olabilecekleri görülmüştür.

THE EFFECTS OF UPSETTING TEMPERATURES ON FRICTIONAL PROPERTIES

SUMMARY

In metal forming, the flow of metal is caused by the pressure transmitted from the dies to the deforming workpiece. Therefore, the frictional conditions at the material/die interface greatly influence metal flow, formation of surface and internal defects, stresses acting on the dies, and load and energy requirements. In metal processes, friction arises from sliding of the workpiece against the die.

The interface has a well-defined macrogeometry, as given by the die and workpiece geometry (Fig.1a). In the cold working of technically important metals, the die temperature T_D and the workpiece temperature T_W are close to room temperature, although the work of deformation is transformed into heat and together with the work of friction, may cause a temperature rise of several hundred degrees Celsius. In hot working T_W is at some temperature below the melting point of the alloy: $T_D = T_W$ in isothermal working, but much more frequently, $T_D < T_W$ in conventional hot working. The normal pressure p on the die may be a small fraction of the flow strength σ_f of the material in sheet-metal working, but frequently reaches a multiple of σ_f in bulk deformation processes.

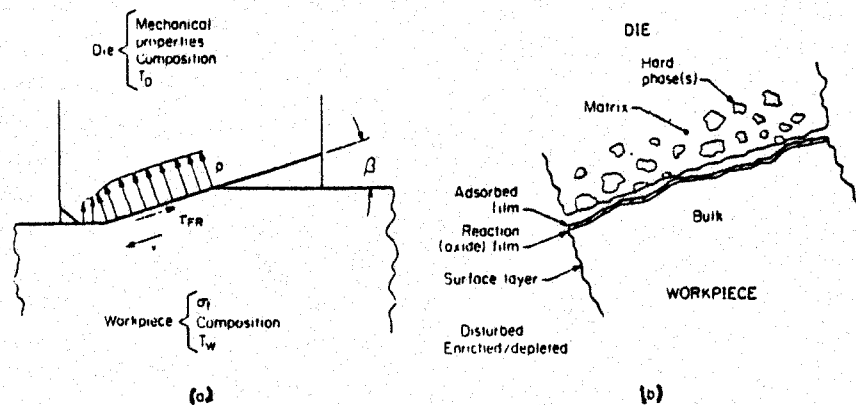


Figure 1. Die-workpiece interface. (a) on the macro scale (b) on the micro scale.

The simplified macroscopic view is totally inadequate if the sources of friction and the mechanisms of lubrication are to be understood. On the microscopic scale both die and workpiece show minute peaks, asperities, and valleys (Fig.1b). Both the magnitude and the directionality of this microgeometry play an important part in creating friction and also in establishing and sustaining lubricant films designed to friction. Metallurgical factors also come into stage and the die and workpiece are usually described by their composition. More important may be the kind and distribution of phases. The composition of the surfaces may differ from that of the bulk, either because of intentional surface treatment or because of diffusion effects in the materials. Pure metal surfaces (in the language of tribology, virgin surface) seldom exist. Instead, surfaces are covered with reaction products formed through exposure to air, humidity, or lubricants. Often films resulting from different reactions are superimposed. For example a naturally formed oxide film may be impregnated with a lubricant film, which may also enter into chemical reactions with the oxide and/or substrate.

In most forming applications, the lubricity of a lubricant is the single most significant factor, since it is directly the interface friction, which in turn influences the stresses, the forming load and the forming energy. In order to evaluate the performances of various lubricants and to be able to predict forming pressures, it is necessary to express the interface friction quantitatively, in terms of a factor or a coefficient. The frictional shear stress, τ , is most commonly expressed as:

$$\tau = \sigma_n \mu \dots\dots\dots(1)$$

or

$$\tau = f \bar{\sigma} = \frac{m}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} \dots\dots\dots(2)$$

where $0 \leq m \leq 1$, and σ is effective stress.

Equation (1) indicates that the frictional shear stress τ is proportional to the normal stress σ_n at the die/material interface by way of the friction coefficient μ . Equation (2) expresses that τ is dependent on the flow stress of the deforming material, $\bar{\sigma}$, and the shear

factor f or the friction factor m . Recent studies in forming mechanics indicate that equation (2) represents the frictional shear stress in metal forming adequately and offers advantages in evaluating friction and in performing stress and load analysis.

In determining the shear factor, f , or the friction factor, m , for hot forming, in addition to lubrication effects, the effects of die chilling or heat transfer from the hot material to colder dies must be considered. Therefore, the lubrication tests used for determining friction factors must include both lubrication and die-chilling effects. Consequently, in hot forming, a good test for determining frictional properties must satisfy the following requirements:

- The specimen and die temperatures must be approximately the same as those encountered in the actual hot forming operation,
- The contact time between specimen and tools under pressure must be approximately the same as in the forming operation of interest,
- The ratio of the new generated deformed surface area to the original surface area of the undeformed specimen must be approximately the same as in the process investigated,
- The relative velocity between deforming metal and dies should have approximately the same magnitude as in the forming process.

Friction Measurements

There are some metalworking processes which are uniquely suited for lubricant evaluation, because the magnitude of interface friction can be judged without resorting to additional instrumentation. In the so-called "cigar test" a thin, long rectangular slab is upset between overhanging platens, and the increase in length (which is greater for low friction) is measured (Fig.2a). The test is very sensitive at low friction values of metal/die interfaces.

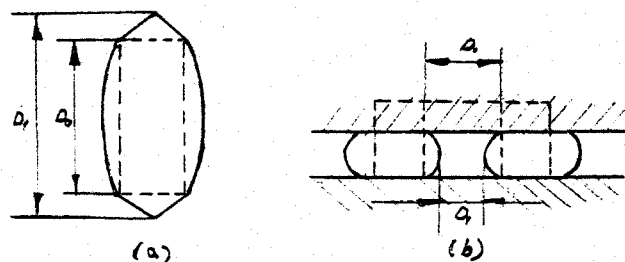
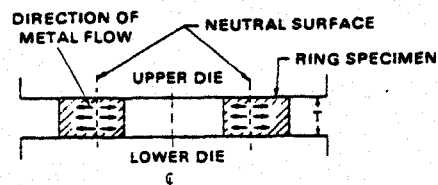


Figure 2. Methods for determining frictional properties
(a) Cigar test. (b) Ring compression.

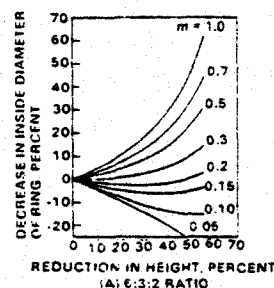
A wider range of friction is covered by "the ring-compression (Ring upset) test". When a ring is compressed with zero friction it expands as though it would be a part of a solid cylinder. Increasing friction presents increasing resistance to free expansion, and the hole grows to a lesser extent. At yet higher friction a neutral circle develops from which material flows both outward and also toward the center, resulting in a decrease of the ring internal diameter (Fig.2b).

Lubricity, as defined by the friction factor, m , is most commonly measured by using the ring upset test. In ring upset test, a flat ring-shape specimen is compressed to a known reduction. The change in internal and external diameters of the ring after deformation is very much dependent on the friction at the die/specimen interface. If friction were equal to zero, the ring would deform in the same way as a solid disk, with each element flowing radially outward at a rate proportional to its distance from the center. With increasing deformation, the internal diameter of the ring is decreased if friction is high, and increased if friction is low. Thus, only the measurements changing the internal diameter specimen represents a simple method for evaluating interface friction (Fig.3a).

The ring test has an advantage when it is applied to the study of friction. In order to measure friction with this test, the force necessary to deform the ring and the flow stress of the specimen material do not have to be known. Thus evaluation of test results is greatly simplified. To obtain the magnitude of the friction factor m , the internal diameter of the compressed ring must be compared with the values predicted by using various calibration curves obtained by previous theoretical studies (Fig.3b).



(a)



(b)

Figure.3. (a) Metal flow in ring compression test.
(b) Calibration curve.

Several theoretical analysis are available for this purpose. In one of these analysis, a computer program has been developed for mathematically simulating the metal flow in ring compression with bulging. Thus, ring dimensions for various reductions in height and friction factors, m , can be determined. The results are platted in the form of "theoretical calibration curves", for ring having OD:ID:thickness ratios of 6:3:2, 6:3:1 and 6:3:0.5. In determining the value of the friction factor, m , for a given experimental condition, the measured dimensions (reduction in height and variation in internal diameter) are located on the appropriate calibration diagram. From the position of that point with respect to theoretical curves the value of the friction factor, m , which existed in the experiment can be obtained.

Frictional effects are of importance both from a practical and a theoretical point of view in all mechanical-working operations where the stock material is deformed in contact with relatively rigid tools or dies. Experimentally determined values of the coefficient of friction, μ , have been reliably established for cold rolling but values appropriate to other cold-working processes or to hot-working operations are still in some doubt.

The method presented here for studying the frictional behaviour of metal under the conditions of bulk plastic deformation involves a simple upsetting operation carried out on flat ring-shaped specimen and the coefficient of friction μ as well the friction factor m are related to the change in diameter produced by a given amount of compression in the thickness direction. Measurement of the internal diameter of compressed ring

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Bir katı cismin şeklini başka bir şekle dönüştürmek amacıyla ve bu işlem sırasında cismin malzemesinde kütle ve bileşim değişikliğine yol açmayacak biçimde gerçekleştirilen üretime, plastik şekil verme yöntemleri ile üretim denilmektedir.

Bu yöntemlerle üretilen parçalar aşağıda belirtilen sektörlerde geniş kullanım alanı bulmaktadır:

- Otomotiv, ulaştırma sektörü için üretilen parçalar (örneğin otomobil kaportaları, krank milleri, bağlantı elemanları, iletim organları, vb.),
- Kerpeten, çekiç, tonavida anahtar gibi el takımları ve tıp aletleri,
- Vida, somun, cıvata, perçin gibi bağlama elemanları,
- Tünel, maden ve taş ocaklarında kullanılan yapı elemanları.

Karbonlu ve alaşımlı çelikler (paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelikler dahil), alüminyum, çinko, bakır ve bunların alaşımları gibi demir dışı malzemeler plastik şekil verme yöntemleri ile üretime uygun malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, uzay ve nükleer reaktör teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda, titanyum ve alaşımları, nikel esaslı ısıya dayanıklı malzemeler, tungsten, molibden, zirkonyum içeren alaşımlar ile benzeri malzemelere de, giderek artan talep nedeniyle, plastik şekil verme yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır.

Plastik şekil vermede iki ana problem vardır; bunlardan birisi malzemenin çatlamadan şekil değiştirmesi yani malzemenin sünekliğini koruması, diğeri ise şekil değiştirmesine neden olacak gerilmenin dağılımı ile yükün belirlenmesidir. Metalik bir cisme belirli bir kuvvet uygulandığında cisimde meydana gelecek şekil değiştirmenin, veya belirli bir şekil değiştirme meydana getirmek için uygulanması gereken gerilme dağılımının, dolayısıyla kuvvetin hesaplanması üretim mühendisliğinde büyük önem taşımaktadır. Bir plastik şekil verme işlemini gerçekleştirecek olan kuvvetin bilinmesi, takım ve kalıp malzemelerin seçimi ile işlemin yapılacağı tezgahın kapasitesinin tayini bakımından çok önemlidir. Bu nedenle, şekil değiştirme ile bu şekil değiştirmeyi sağlayan kuvvet arasındaki bağıntı plastik şekil vermenin temel parametrelerinden biri olarak kabul edilmektedir.

İş parçasının düz kalıplar arasında basılarak şekillendirilmesi basit olarak "yığma" adını almaktadır. Yığma sırasında malzeme kalıp yüzeylerinde genişlemeye çalışmakta, bu hareket neticesinde kalıp-iş parçası arayüzeyinde sürtünme kuvvetleri oluşmakta, bu da malzemenin serbestce genişlemesine engel olmaktadır. Gerçekte parçanın basma takımları ile temas eden yüzeyleri sürtünme nedeniyle serbest olarak hareket edemediği için, parçanın yan yüzleri fıçıya benzer bir hal almaktadır. Bu durum literatörde "Fıçılama" olarak tanımlanmaktadır.

Bu olayın oluşumuna katkıda bulunabilecek diğer bir etken de, sıcak iş parçasının nisbeten soğuk kalıplarla yığılması halinde, sıcak iş parçasının soğuk kalıplarla temas ettiği sırada iş parçası/ kalıp arayüzeylerine yakın malzeme bölgelerin hızla soğumaya başlamasıdır. Soğuyan kısım, malzemenin sıcak kısmına kıyasla şekil değişimine karşı daha fazla direnç

göstereceğinden ve iş parçasının orta kısımları da hala sıcaklığını koruduğu için daha rahat şekil değişimine uğrayarak ve fıçılasmayı meydana getirecektir.

Sürtünmeli yığmada yani fıçılasmının olduğu gerçek durumda şekil değişimi ideal haldeki gibi homojen (üniform) gerçekleşmemektedir. Sürtünmesiz ideal yığmada parça şekli aynı kalır yani basma kuvvetinin etkisiyle parçanın yüksekliği azalır, buna karşılık malzeme kuvvete dik doğrultuda hacim sabitliğini koruyacak şekilde uniform olarak akar.[1]

Sıcak dövmede, ısı kaybı ve sürtünme olumsuz etkileri çok belirgin olan işlem değişkenleri olarak kabul edilmektedir. Sürtünme şartlarının belirlenebilmesi gerek akış özelliklerinin gerekse yük gereksiniminin saptanması açısından önemli bir noktayı oluşturmaktadır. Bu amaçla halka basma deneylerinin verilerinden yararlanılmaya çalışılmaktadır. Bu deneylerde halka şeklindeki deney parçasına eksenî doğrultusunda basma kuvveti uygulanmakta ve yığma sonrası deney parçasının iç ve dış çaplarındaki değişimlere göre sürtünme şartları belirlenmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışma değişik yığma işlemi parametrelerinin kalıp/metal ara yüzeyindeki sürtünme şartlarını nasıl etkilediğinin belirlenmesine yöneliktir. AISI 1040 çelik malzemeden hazırlanan halka deneyi parçaları, değişik dövme sıcaklıklarında, farklı şekil değişimlerinde ve hızlarında ve farklı ara yüzey yağlayıcıları kullanılarak eksenel yığma deneyine tabi tutulmuş, böylece bu değişkenlerin ara yüzeydeki sürtünme şartlarını nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır.

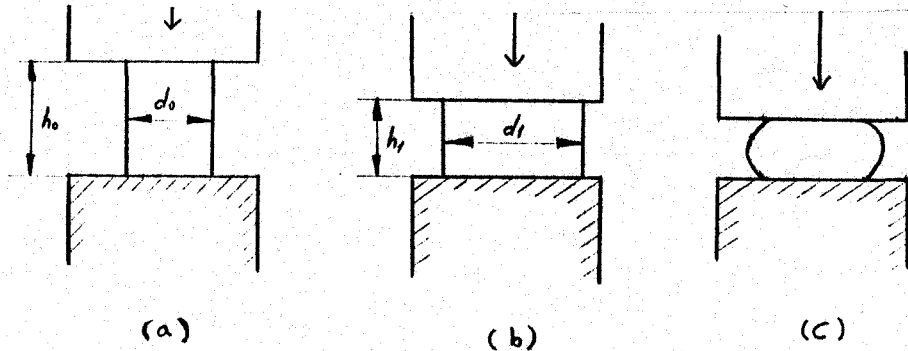
BÖLÜM 2: GENEL BİLGİ

2.1. PLASTİK ŞEKİL VERME

Bir katı cismin şeklini başka bir şekle dönüştürmek amacıyla uygulanan ve bu işlem sırasında cismin malzemesinde kütle ve bileşim değişikliğine yol açmayan üretim yöntemlerine plastik şekil verme yöntemleri denilmektedir.

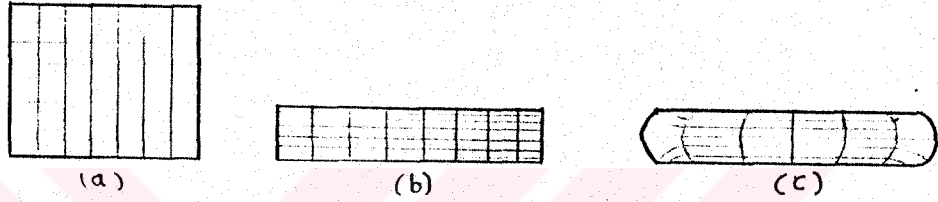
Tüm plastik şekil verme işlemlerinde malzeme çekme, basma ve kayma gibi üç temel şekil değişiminden birinin veya birkaçının etkisinde kalır. Şekillendirilecek malzemede meydana gelen birim şekil değişimi, malzemenin şekil değiştirme işleminden önceki ve sonraki boyutları esas alınarak tarif edilmektedir.

Açık kalıpta aksenal olarak gerçekleştirilen dövme işlemine basit olarak yığma denmektedir. Bu örneğin silindirik bir parçaya, iki düzlemsel kalıp arasında, eksenini doğrultusunda uygulanan basma kuvveti etkisiyle şekil verilmesi olarak da tanımlanabilir. Bu işlemde, iş parçasının boyu basma gerilmeleri nedeniyle kısalırken, çapı kuvvet doğrultusuna dik olarak genişlemektedir (şekil 2.1).



şekil 2.1 Silindirik parçanın iki düzlemsel kalıp arasında basılması: (a) ve (b) yığma ideal homojen şek. deg. hali

Gerçekte bu durumda ise, iş parçası ile kalıp yüzeyleri arasında oluşan sürtünme kuvvetleri nedeniyle yığılma fıçı şeklinde gerçekleşmektedir (şekil 2.1c). iş parçası/kalıp arayüzeylerindeki sürtünme kuvvetleri malzemenin dışa doğru hareketini engelleyici rol oynadığından parçanın fıçılmasına yol açmaktadır- lar.[2]



şekil 2.2 Yığılma malzeme akışı.(a) Yığılmadan önce.(b) Yığılmadan sonra (sürtünmesiz yığılma).(c) yığılmadan sonra(sürtünmeli yığılma).

Sürtünme nedeniyle fıçılama oluşumu etkin bir yağlama uygulanarak önlenmeye çalışılır. Ayrıca kalıplara ultrasonik titreşim uygulanmasında sürtünmeyi büyük ölçüde azaktan bir yöntem olarak dikkati çekmektedir.

Yığılmanın dışında metaller, değişik plastik şekillendirme örneğin metal bir malzemenin matris veya hadde olarak adlandırılan ve üzerinde bir (veya daha fazla) delik bulunan bir takımdan çekilerek uzatılmasına çekme denilmektedir. Çekme kuvveti matrisin çıkış tarafından uygulanmakta, metal kesiti ise genellikle dairesel, kare ve altıgen gibi şekilleri içermektedir.[1] Ayrıca değişik profillerde haddelme, ekstrüzyon ve saç şekillendirme yöntemleri de bu grup içinde yer almaktadır.

2.2 Soğuk ve Sıcak Şekillendirme:

Bir plastik şekil değiştirme olayı, çok genel olarak yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda meydana gelirse soğuk şekil değiştirme, ancak soğuk şekil değişimi metalin erime sıcaklığının mutlak sıcaklık cinsinden %25'inden düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı metalin erime sıcaklığının yarısı olarak tanımlandığı için sıcak şekillendirme bu ve bunun üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında fakat soğuk şekillendirme sıcaklığının üstündeki bölgede yer alan şekil değiştirme işlemleri yarı sıcak adı verilmektedir.

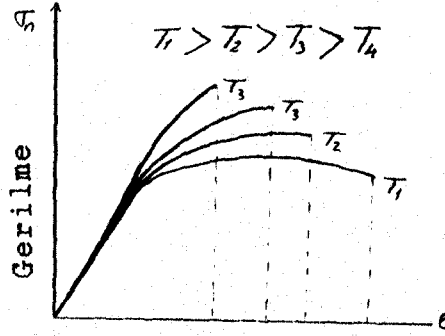
Soğuk şekil değiştirmede kristal ve tane yapısı sürekli olarak bozulmakta, pekleşme nedeniyle sertlik ve dayanım değerleri artmakta, süneklik ve elektrik iletkenliği de azalmaktadır. Ayrıca bir soğuk şekil verme işlemi için gerekli kuvvet ve iş, aynı işlemin sıcak olarak yapılmasına kıyasla daha büyük olmaktadır. Buna karşılık soğuk şekil vermede, sıcak şekil vermeye kıyasla daha hassas boyut toleransları ve daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmektedir. Soğuk şekil değiştirmede sünekliğin azalması malzemenin istenilen şekli almadan hasara uğramasına neden olabilir. Bu durumda, uygulanacak bir yeniden kristalleşme tavlı sonrasında şekillendirmeye devam edilmektedir.

Oda sıcaklığının üstünde fakat yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan yarı sıcak şekil vermede yeniden kristalleşme görülmekte, ancak soğuk şekil değiştirmeye göre daha küçük şekil verme kuvvetleri gerekmektedir. Aynı zamanda malzemenin şekil değiştirirken hasara uğrama tehlikesi azalmaktadır.

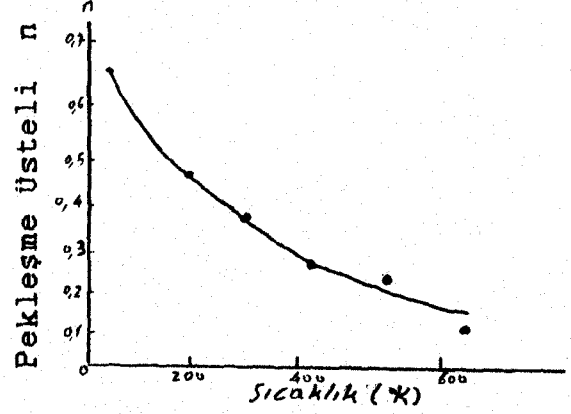
Sıcak şekil verme yeniden kristalleşme sıcaklığı-
nın üstünde yapıldığı için, şekil değiştirme sırasında
bozulan yapı hemen yani dinamik olarak yeniden
kristalleşmektedir. Sıcaklığın etkisiyle malzemenin
akma sınırının düşmesi, sıcak şekil verme işleminin
soğuk şekil vermeye kıyasla daha küçük bir kuvvetle
yapılabilmesini sağlamaktadır. Sıcak şekil verme
sırasında döküm yapısındaki büyük ve çubuksu taneler
küçülerek eşeksenli tanelere dönüşmektedir. Bu ayrıca
ingotlardaki gaz boşluklarının kapanıp kaynamasına
yardımcı olmaktadır.

Sıcak şekillendirme ile soğuk şekillendirme yük ve
boyut hassasiyeti dışında karşılaştırıldığında; sıcak
şekillendirmenin ısıtma harcamaları nedeniyle üretim
maliyetini arttırdığı, sıcak şekil verilmiş mamüllerin
yüzeylerinin kalın oksit tabakaları içerdiği ve bu
tabakanın kalınlığı ve tipinin malzemeye, sıcaklığa ve
süreyle bağlı olduğu söylenebilir, gene sıcak şekil verme
gerekli önlemler alınmamışsa sırasında yüzeydeki oksit-
ler malzemeye gömülerek yüzey kalitesinin çok
bozulmasına yol açabilmektedir.

Genelleştirme yapılması bir dereceye kadar zor ol-
makla beraber, sıcaklığın yükselmesi çoğunlukla
süneklikle tokluğu artırmakta, elastiklik modülü, akma
sınırı ve çekme dayanımı değerleri ise düşürmektedir
(şekil 2.3). Pekleşme üsteli de sıcaklıktan etkilenen
bir malzeme özelliğidir. Sıcaklığın yükselmesi pekleşme
üstelinin düşmesine yol açmaktadır (şekil 2.4).[1]



Şekil 2.3 Sıcaklığın mühendislik çekme diyagramına etkisi.



Şekil 2.4 Sıcaklığın pekleşme üsteline etkisi. Mal.:Saf Alüminyum(1).

2.3 Sekil Değistirme Miktarı ve Sekil Değistirme Hızının ve Malzeme Özelliklerine Etkisi:

Mühendislik birim şekil değistirme miktarı, başlangıç ölçü boyu l_0 olan bir silindirik deney parçasının deneyin herhangi bir anında uygulanan p yükünün etkisi ile l değerini aldığıında,

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Birim şekil değistirme, yukarıdaki ifadeden de görülebileceği gibi l_0 başlangıç ölçü boyuna bağlı olarak hesaplanmaktadır. Gerçekte deney sırasındaki ölçü boyu sürekli olarak değişmektedir. Ölçü boyu deneyin herhangi bir anında l iken, dl gibi sonsuz küçük bir uzama sonunda birim şekil değistirmedeki artış dl/l olarak tanımlanmaktadır. Bu bakımdan başlangıç ölçü boyu l değerini alıncaya kadar meydana gelen toplam gerçek şekil değistirme gerçek birim şekil değişimi olarak,

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Tarif olarak mühendislik birim şekil değiştirme hızı $\dot{\epsilon} = de/dt$ ve gerçek birim şekil değiştirme hızı $\dot{\epsilon} = de/dt$ şeklinde tanımlanmaktadır. Mühendislik birim şekil değiştirme miktarı $e = (l-l_0)/l_0$ ve gerçek şekil değiştirme miktarı $\epsilon = \ln (l/l_0)$ olduğuna göre, mühendislik birim şekil değiştirme hızı;

$$\dot{\epsilon} = \frac{d(l-l_0)/l_0}{dt} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{V}{l_0}$$

ve gerçek birim şekil değiştirme hızı;

$$\dot{\epsilon} = \frac{d(\ln l/l_0)}{dt} = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{V}{l}$$

olarak yığmayı gerçekleştiren üst kalıbın hızı V_k cinsinden hesaplanmaktadır.

Şekil değiştirme hızının çekme dayanımına etkisi düşük sıcaklıklarda nisbeten az, yüksek sıcaklıklarda ise oldukça büyüktür. Bu nedenle malzemenin alçak sıcaklık ve düşük şekil değiştirme hızındaki çekme dayanımı, yüksek sıcaklıkta çok daha büyük şekil değiştirme hızındaki çekme dayanımına eşit olabilmektedir. Akma sınırıda, çekme dayanımında olduğu gibi artan birim şekil değiştirme hızına bağlı olarak yükselmektedir.

Şekil değiştirme hızının süneklige etkisi her malzeme için sıcaklığa da bağlı olmak üzere farklı olması nedeniyle kolay bir genelleme yapmaya imkan vermektedir. Fakat çok kaba olarak şekil değiştirme hızı arttıkça

sünekliğin azaldığı söylenebilmektedir.

Hidrostatik basınçın malzeme özelliklerine en büyük etkisi malzemenin sünekliğini arttırması ve dolayısıyla kopmadan önce çok daha büyük şekil değişimleri elde edilebilmesini sağlamasıdır. Hidrostatik basınçın büzülme başlangıcına kadar oluşan üniform uzama ile maksimum yüke ise etkisi yoktur [1,3]. Bu nedenle zor şekillendirilebilen yani normal şartlarda süneklikleri kısıtlı olan malzemelerin plastik şekillendirilmesinde hidrostatik basınçın bulunduğu yöntemler (hidrostatik ekstrüzyon) kullanılmaktadır.

2.4 Plastik Şekil Değişiminde Hacim Sabitliği :

Plastik şekil değişiminde, yaklaşık olarak hacmin sabit olduğu kabul edilmektedir. Yani işlem sırasında hacimdeki değişme olmadığından asal gerçek şekil değişimlerinin toplamının sıfır olması gerekmektedir [4].

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$$

2.5 Yıkma Dışında Kalan Diğer Dövme Yöntemleri:

Çok eski bir üretim tarzı olan dövme, iş parçasının basma kuvvetlerinin etkisi altında plastik şekil değiştirdiği bir şekil verme yöntemleri ailesi oluşturmaktadır.

Kapalı kalıpta dövme işleminde iş parçası tamamen kalıplar tarafından çevrelenerek dövme yapılmaktadır. Kafa şişirme, genellikle dairesel kesitli metal bir

çubuğun, eksenini doğrultusunda uygulanan basma kuvvetiyle bir ucunun yığılarak şekillendirilmesidir. Delme işlemi, kalın cidarlı içi boş parçalar elde etmek için uygulanan bir yöntemdir.

Dövme haddeleri ile dövmede malzeme üzerine uygun gravürler açılmış iki matrise sahip merdaneler arasında haddelenmektedir. Radyal dövme iki veya dört kalıbın karşılıklı olarak radyal hareketi ile sağlamakta ve büyük parçaların yuvarlak kesitlerde dövülmesinde kullanılmaktadır. İzotermal dövme, kalıbın dövme sıcaklığına kadar ısıtılarak yapılan dövme işlemidir. Orbital dövme, malzemenin yörüngesel hareket yapan bir üst ve her hangi bir rotasyon hareketi olmayan bir alt kalıp arasında dövülerek şekillendirilmesi olarak tanımlanmaktadır [1,5].

2.6 Dövme Makinaları:

Malzemenin şekil değiştirmesi için gerekli olan kuvveti sağlayan teçhisat dövme makinaları olarak adlandırılmaktadır. Bu makinalardan hidrolik preslerin çalışma tarzı basittir ve esas olarak hidrolik bir pistonun bir silindir içinde hareket etmesine dayanmaktadır. Hidrolik preslerde koç hızı diğer dövme makinalarına göre düşük sayılmakta olup 0.06...0.30 m/sn aralığında değişmektedir. Uyguladığı yük ve deformasyon hızı strok boyunca yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Kapasitesi 750 MN'a (≈ 80000 ton) ulaşan hidrolik presler mevcuttur.

Mekanik presler kranklı veya eksantrik tipte imal edilmektedir. Bu preslerde gerek koç hızı gerek yük strok boyunca değişmektedir. Koç hızları 0.06...1.5 m/s aralığında ve kapasiteleri yaklaşık olarak 100 MN'a

(≈12000 ton) kadar ulaşabilmektedir.

Vidalı preslerde, kare dişli büyük adımlı bir vida kendisini koça bağlayan sistem içinde serbestce dönmektedir. Volan enerjisinin tümü bu vidaya bir sürtünme mekanizmasıyla iletilmekte ve iş parçasını şekillendirmekte kullanılmaktadır. Dövme sonrası volan tersine çalıştırılarak koç yukarı alınmaktadır. Koç hızları 0.6...1.2 m/s arasında olup. Özellikle küçük miktarlardaki dövme işlemleri ve türbün kanadı gibi hasas parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Friksiyon pres de denilen bu makinelerin 160 MN kapasitesinde olanları vardır.

Dövme makineleri içinde en ucuzu ve basiti olan çekiçlerdir. Şahmerdan olarak da adlandırılan bu makinelerin kapasitesi enerji birimi cinsinden belirlenmektedir. Koç hızının yüksek olması şekillendirme sırasında malzeme/kalıp temas süresini kısaltmakta dolayısıyla iş parçasının daha az soğumasına neden olmaktadır. Bu nedenle çekiçler karmaşık şekilli, girintili çıkıntılı parçaların dövülmesine çok uygun makinelerdir. Dövme sırasında koç sadece kendi ağırlığı ile düşebildiği gibi hareketi buhar, hava ve yağ gibi bir akışkanla hızlandırılabilir. Güç düşmeli çekiçler olarak sınıflanan bu makineler koç hızı 3...9 m/s aralığında değişebilmektedir. Alt ve üst kalıpların birliktede hareket ederek dövme işlemini gerçekleştirildiği karşı vuruşlu çekiçlerin kapasitesi 1.5 MN'ı bulmaktadır [1,4,5].

2.7 Plastik Şekil Vermede Kuvvet Hesaplama Yöntemleri:

Bir plastik şekil verme işlemini gerçekleştirecek gerilme dağılımını dolayısıyla gerekli kuvvetin saptanması ve işlem sırasındaki parçada oluşacak

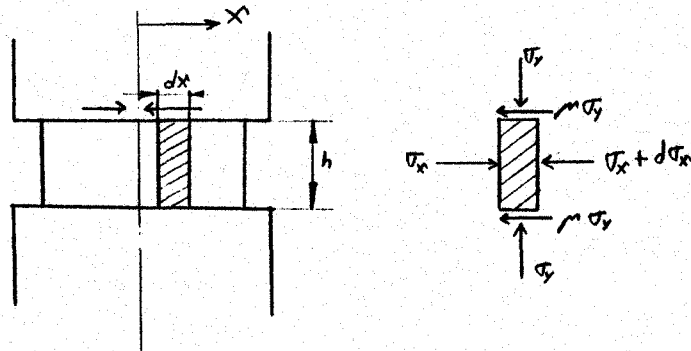
sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi işlem için gerekecek olan takım ve teçhizatın seçimi ve tasarımı açısından ve işlem sırasındaki malzeme davranışı bakımından büyük önem taşımaktadır.

Bu amaçla değişik analitik yöntemlerden yararlanmaya çalışılmaktadır.

2.7.1 Dilim Yöntemi :

Plastik şekil verme işlemlerinde gerilme ve yük hesaplamaları için kullanılan en basit yöntemlerden biri olan dilim yönteminde malzeme içinde belirlenen küçük bir elemana etkiyen bütün normal kuvvetlerle sürtünme kuvvetlerinin denge şartını sağlayacak şekilde eşitlenmesi prensibinden hareket edilmektedir. Dilim yöntemi düzlem birim şekil değiştirme ve eksenel yığılma şartları gibi iki uygulama alanları vardır.

Örnek olarak dikdörtgen prizmatik bir parçanın düzlemsel takımlarla basma deneyinde, düzlem birim şekil değişimi şartlarında bir eksenle şekil değişimi olmadığı için analiz iki boyuta indirgenebilir.



Şekil 2.5 Düzlemsel kalıplarla basma.

Hız bağıntıları,

$$V_z = -V_k \frac{z}{h} \quad V_x = V_k \frac{x}{h} \quad V_y = 0$$

olamaktadır. Deformasyon hız bağıntıları ise,

$$\dot{\epsilon}_z = \frac{\partial V_z}{\partial z} = -\frac{V_k}{h}, \quad \dot{\epsilon}_y = 0, \quad \dot{\epsilon}_x = \frac{\partial V_x}{\partial x} = \frac{V_k}{h}$$

olmaktadır. Tüm kayma birim şekil değişim hızları sıfırdır. Birim şekil değişimi bağıntıları,

$$\epsilon_z = \ln \frac{h_1}{h_0}, \quad \epsilon_x = -\epsilon_z, \quad \epsilon_y = 0$$

olmaktadır. Efektif deformasyon hızı ise,

$$\dot{\epsilon} = [2/3 (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)]^{1/2}$$

$$\dot{\epsilon} = [2/3 (\epsilon_x^2 + \epsilon_z^2)]^{1/2}$$

$$\dot{\epsilon} = 2/\sqrt{3} |\dot{\epsilon}_z|$$

olmaktadır. Aynı şekilde efektif birim şekil değişimi,

$$\epsilon = 2/\sqrt{3} |\epsilon_z|$$

olmaktadır. Metale etkiyen kuvvet ve akma yönündeki gerilmelerin asal olduğu varsayımıyla ve gerilmelerin çekme veya basma olması göz önüne alınmadığında; $\sigma_z = \sigma_1$ (maksimum), $\sigma_y = \sigma_2$ (orta değer), $\sigma_x = \sigma_3$ (minumum) yazılabilir. Plastisite denlemleri ise,

$$\dot{\epsilon}_1 = \lambda (\sigma_1 - \sigma_m)$$

$$\dot{\epsilon}_2 = \lambda (\sigma_2 - \sigma_m)$$

$$\dot{\epsilon}_3 = \lambda (\sigma_3 - \sigma_m)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

olmakta. Düzlem genlemede,

$$\dot{\epsilon}_y = \dot{\epsilon}_z = \lambda (\sigma_2 - \sigma_m) = 0$$

$$\sigma_2 = \sigma_m$$

olur. Bu denklemlere göre,

$$\sigma_m = 1/2 (\sigma_1 + \sigma_3)$$

bulunur. Von mise's kriterine göre,

$$\left\{ 3/2 [(\sigma_1 - \sigma_m)^2 + (\sigma_2 - \sigma_m)^2 + (\sigma_3 - \sigma_m)^2] \right\}^{1/2} = \sigma_0$$

olması gerektiğinden,

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sqrt{2/3} \sigma_0$$

bulunur. $\sigma_1 = \sigma_z$ ve $\sigma_3 = \sigma_x$ olduğuna göre,

$$\sigma_z = \sigma_x + \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0$$

Taralı dilimi dengede tutan kuvvetlerin toplamı sıfır olmasö gerektiğinden,

$$\Sigma F_x = \sigma_x \cdot h - (\sigma_x + d\sigma_x)h - 2\tau \cdot dx = 0$$

$$d\sigma_x = (-2\tau/h) dx$$

ifadesinin her iki tarafıda integre edilirse,

$$\sigma_x = -\frac{2\tau}{h} x + C$$

bulunur. Sınır şartları $x=l/2$, $\sigma_x=0$ olduğunda,

$$C = \tau l/h$$

oldüğunda σ_z ifadesi,

$$\sigma_z = -\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_0 - \frac{2\tau}{h} \left(\frac{l}{2} - x \right)$$

olarak bulunur. Kalıp ve malzeme ara yüzeyindeki sürtünmeden ileri gelen kayma gerilmesi sahip olarak ve

$$\tau = \frac{m \cdot \sigma_0}{\sqrt{3}}$$

şeklinde tarif edildiğinde yük ise,

$$P = \int_{-l/2}^{l/2} \sigma_z dz$$

olarak bulunur.

Eksenel yığma şartlarında dilim yönteminin kullanılmasında, simetri eksenini z olan bir silindir eksenini boyunca bir kuvvet uygulanarak V_k hızıyla yığıldığında malzemenin radyal yöndeki hızı V_r , bastırılan yüzeyin oluşturulan yan yüzeye eşit olduğu düşüncesiyle,

$$\pi \cdot r^2 \cdot V_k = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot V_r \cdot h$$

$$V_r = \frac{V_k \cdot r}{2h}$$

olur. Düşey eksenindeki hız V_z 'nin z yönü boyunca doğrusal olarak değiştiği varsayılarak ve $z=0$ olduğunda $V_z=h$ ve $z=h$ olduğunda $V_z=-V_k$ sınır şartları dikkate alındığında,

$$V_z = - \frac{V_k \cdot z}{h}$$

bulunur. θ yönünde bir metal akışı olmadığı varsayımı ile $V_\theta = 0$ olarak bulunur. Birim şekil değişimi hızı denklemleri,

$$\dot{\epsilon}_z = \frac{\partial V_z}{\partial z} = - \frac{V_k}{h} \quad \dot{\epsilon}_r = \frac{\partial V_r}{\partial r} = \frac{V_k}{2h}$$

olarak bulunur. Açısal genlemede artış miktarı tarif olarak r değişirke yay boyundaki değişimin ilk yay boyuna oranıdır.

$$d\epsilon_\theta = \frac{d\theta (r + dr) - r d\theta}{r d\theta} \quad d\epsilon_\theta = dr/r$$

olur. Açısal hız ise,

$$\dot{\epsilon}_\theta = d\epsilon_\theta/dt \quad \dot{\epsilon}_\theta = V_r/r = V_k/2h$$

olur. Kayma genleme hızları ise sıfırdır. Efektif deformasyon hızı ise,

$$\dot{\bar{\epsilon}} = \sqrt{2/3 (\dot{\epsilon}_\theta^2 + \dot{\epsilon}_r^2 + \dot{\epsilon}_z^2)} \\ \dot{\bar{\epsilon}} = V_k/h = \dot{\epsilon}_z$$

bulunur. Birim şekil değişimi denklemleri deformasyon hızlarının zamana göre integre edilmesi ile elde edilir,

$$\epsilon_z = - \ln \frac{h}{h_0} \quad \epsilon_\theta = \frac{1}{2} \ln \frac{h}{h_0} \quad \epsilon_r = \frac{1}{2} \ln \frac{h}{h_0}$$

olur. Efektif birim şekil değişimi,

$$\bar{\epsilon} = [2/3 (\epsilon_\theta^2 + \epsilon_r^2 + \epsilon_z^2)]^{1/2} \\ \bar{\epsilon} = \ln (h/h_0)$$

olmaktadır. $\dot{\epsilon}_\theta = \dot{\epsilon}_r$ olduğundan $\sigma_\theta = \sigma_r$ olacaktır. Diğer bir değişle $\sigma_z = \sigma_1$, $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_r = \sigma_\theta$ olacak ve Von Mises'e göre, $\sigma_z = |\sigma_\theta| + |\sigma_r|$ olunca akma başlayacaktır. Dilim dengede olduğuna göre,

$$\Sigma F_r = \sigma_z(d\theta r)h - (\sigma_r + d\sigma_r)(r+dr)d\theta \cdot h + 2\sigma_\theta \cdot \sin(d\theta/2)drh \\ - 2 \cdot \tau \cdot r \cdot d\theta \cdot dr = 0$$

$d\theta$ 'nın küçük olduğu varsayımı ile $\sin(d\theta/2) \approx d\theta/2$ ve $\sigma_r = \sigma_\theta$ olduğundan,

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2.\tau}{h} = 0$$
$$\sigma_r = - \frac{2.\tau.r}{h} + C$$

serbest yan yüzeyde gerilme olmayacağından $r=R$ de $\sigma_r=0$ sınır şartı kullanılarak,

$$C = (2.\tau.R)/h$$

bulunur. Buna göre radyal yöndeki gerilmede yerine korsağın akma kriterine göre z yönündeki gerilme,

$$\sigma_z = \frac{2.\tau}{h} (r - R) - \sigma_\theta$$

bulunur. Toplam yığılma yükü hesaplanırken σ_z tüm kesit alanı boyunca integre edilir ise,

$$P = \int_0^R \sigma_z . 2 . \pi . r . dr$$

olarak bulunmaktadır.

2.7.2 Kayma Cizgileri :

Rijit tam plastik izotrop bir malzemenin düzlem şekil değişimi hali için kullanılan kayma çizgileri yöntemi iki ortogonal eğri (veya doğru) ailesinin çizilmesini gerektirir. Bu eğrilerin üzerindeki herhangi bir noktadan çizülen teğet malzemenin o noktadaki maksimum kayma gerilmesi doğrultularından biri ile çakışır.

Çizilmesi büyük ölçüde deneyim ve sezgiye dayanan kayma çizgileri alanının (ağının) kuvvetlerin statik dengesini, bir akma kriterini ve sınır şartlarını

sağlaması gerekir. Örneğin denge koşulları nedeniyle kayma çizgilerinin serbest bir yüzeyle yaptığı açı 45° olmalıdır. Ayrıca malzema hareketi kütlede sürekliliğin bozulmasına yol açmamalıdır.[1]

2.7.3 Yük Sınırlama :

Bir plastik şekil verme işlemi için gerekli olan kuvvetin hesaplanmasında bazı araştırmacılar kayma çizgileri alanı tekniğinden daha basit yöntemler uygulamışlardır. Bu yöntemler alt sınır teoremi ve üst sınır teoremi olarak adlandırılır. Gerçek kuvvet her iki teoremle bulunan alt ve üst değerlerin arasındadır. Bir plastik şekil verme işlemi için gerekli olabilecek en büyük kuvveti hesaplamak durumunda olan mühendisler bakımından üst sınır teoremi önem kazanmaktadır. Bu teoremle, her hangi bir plastik şekil verme işlemi gerçekleştirmek için tezgahtan geliştirilmesi beklenen en büyük kuvvetin hesaplanması mümkün olmaktadır.[1]

2.7.4 Viziyoplastisite :

Bu yöntem, şekil değiştirme bölgesinde şekil değiştirme hızı ve gerilme dağılımlarını belirlemek için geliştirilmiş deneysel bir tekniktir. Bu amaçla bir yüzey üzerindeki işaretlenen ağın başlangıç ve küçük bir şekil değişiminden sonraki durumları gözlenmektedir. Şekil değiştirme ve süresi bilindiğinden, şekil değiştirme hızları ve daha sonra da plastisite denklemleri vasıtası ile gerilmelerin hesaplanması yoluna gidilir [1].

2.7.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi :

Bu yöntemde, elastik-plastik bir cisimdeki şekil değiştirme bölgesi sonlu sayıda düğüm noktası ile bir-

birine bağılı elemanlara bölünerek gerilmelerin hesaplanmasına çalışılmaktadır.[1]

2.8 Yığmada Sürtünmenin Azalması:

Plastik şekil verme yöntemlerinde metalin akışı kalıplar tarafından iş parçasına uygulanan basınç vasıtasıyla sağlanır. bu nedenle malzeme/kalıp ara yüzeyindeki sürtünme koşullarının metal akışı, iş parçasının yüzeyinde ve içinde kusur oluşumu, kalıplara etkiyen gerilmeler, şekil değişimi için gerekli olan kuvvet ve iş değerleri üzerindeki rolü büyüktür. Plastik şekil vermede sürtünme koşullarını belirleyen üç tip yağlamadan söz edilebilir :

1. "Kuru" halde, arayüzeyde herhangi bir yağlayıcı yoktur. Kalıp ve işparçası malzemeleri veya bunların üstünde bulunan oksit tabakaları şekil verme sırasında birbirleriyle doğrudan temas ederler. Sürtünmenin yüksek olduğu bu durum slab ve levhaların sıcak haddelenmesi, alüminyum alaşımlarının yağlamasız ekstrüzyonu gibi ancak bazı plastik şekil verme yöntemlerinde faydalı olmaktadır.

2. Kalıp ve işparçası arasında kalan bir yağlayıcı tabakasının bulunması hali "hidrodinamik" olarak nitelendirilir. Bu halde sürtünme koşulları yağlayıcının viskozitesi ve kalıpla işparçası arasındaki bağıl hız tarafından belirlenir. Bir çok yağlayıcının viskozitesi sıcaklık yükseldikçe hızla düşer. Dolayısıyla, tel çekme ve bantların haddelenmesi gibi yüksek hızlı işlemlerde hidrodinamik hal, arayüzeyde sıcaklığın nisbeten düşük olduğu belirli hız sınırları arasında söz konusu olabilir.

3. Arayüzey sıcaklık yükselmeleri ve şekil verme sırasında doğan yüksek basınçlar hidrodinamik yağlama rejiminin bozulmasına neden olur. Dolayısıyla plastik şekil verme yöntemlerinin çoğunda "sınır" yağlama hali

vardır. Kalıp ve iş parçası yüzeylerinin birkaç molekül kalınlığında bir yağlayıcı film tarafından ayrıldığı sınır yağlama halinin teorik olarak incelenmesi zor olduğu için hakkındaki bilgilerin çoğu ampiriktir.

2.8.1 Yağlama Mekanizmaları:

Kuru arayüzeylerde yani her hangi bir yağlayıcının olmadığı durumlarda, deformasyon sırasında yüzey genişlemekte, normal şartlarda birbiri ile temas etmeyen yüzeylerin bir araya gelmesi sağlanmaktadır. Kalıp ve iş parçası arasında hiç bir yağlayıcı tabaka bulunmaması nedeniyle basınçtan dolayı meydana gelen yapışmalar sonuçları etkilemektedir. Eğer yapışma yüksek ise yüzey soguk olarak kaynama durumu gösterecektir. Basınç daha da arttırılması ile oluşan ilave kayma neticesinde alüminyum gibi hafif metallerin kalıp yüzeyine kaynamış noktalardan yırtılmalar meydana gelebilir. Buda bir çentik etkisi doğurmaktadır.



Şekil 2.8 Kuru yüzey

Kalıp ve iş parçasının bütün noktalarına yayılmış yeterli kalınlıktaki bir katı filmi $\tau_c < k$ olduğunda bir yağlayıcı olarak hareket edebilir, eğer $\tau_c > k$ ise film kalıp-iş parçasının temasını önlemekte, yağlayıcıdan ziyade gerçek bir ayırıcı olarak adlandırılır.

Eğer yağlayıcı olarak oksit tabakası (filmi) kullanılıyorsa metalden yumuşak olmak zorunda ve kopmaksızın iş parçasının genişleyen yüzeyini takip etmek zorundadır. Yumuşak tabaka olarak bir metal oksit filmi yerine, bir polimer tabakası ayırıcı film yada

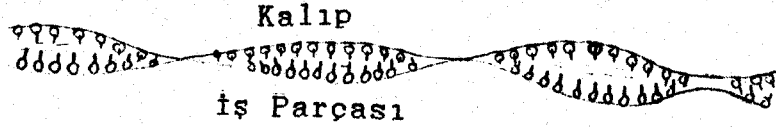
kalıp ve iş parçası yüzeyinde olaştıurulan bir arayüzey tabakası olabilir. Her hangi bir polimerin kayma gerilmesi etki altında kaldığı hidrostatik basıncın bir fonksiyonudur.



Şekil 2.9 Katı-yaglayıcı arayüzeyi.

Hidrokinamik yağlayıcıda, uygun bir deformasyon yönteminde ve bağıl hızı çok yüksek olduğu zaman, vizkoz bir yağlayıcı pürüzlü olmasına rağmen iş parçası ve kalıp yüzeylerine yayılabilen (bazen tam yağlayıcı film olarak adlandırılan) sürekli bir film şeklinde olabilmektedir. Tam bir sıvı filmi yalnızca ideal konumlarda var olabilir. Bir çok metal şekillendirme şartlarında yüzey pürüzlerinin teması kaçınılmazdır. Dolayısıyla kayma hızı çok düşebildiği gibi , yağ filminin sıcaklığı ve iç yüzey basınçları da çok yükselebilir.

Karışık-film yağlayıcısı kullanıldığında sınır konumundan hidrokinamik konuma kademeli olarak değişmektedir. Arayüzeydeki basıncın artması sınır konuma geri bir dönüşüme sebep olmaktadır. Bu önemli yağlayıcı mekanizmasının tam bir analizi henüz elde edilememiştir. Karışık-film yağlayıcılarda plostohidrokinamik ve sınır yağlayıcıları gibi her iki konum bütün karmaşıklıkları oluşturmakta, bu nedenden dolayı mekanizmayı incelerken metarulujik ve kimyasal faktörlerin yanında yağ filminin dinamikliği ile kırılması da hesaba katılmak zorundadır [6].



Şekil 2.10 Kalıp-iş parçası arayüzeydeki karışık-film yağlayıcı.

2.8.2 Yağlayıcılar :

Plastik şekil verme yöntemlerinde kullanılan yağlayıcılar hakkında kısaca aşağıda değinilecektir.

a) Sıvı yağlayıcılar : Sıvı yağlar sürtünme ve aşınmayı azaltmakla beraber ısı iletkenliklerinin ve özgül ısılarının düşük olması nedeniyle, şekil verme sırasında doğan ısı aktarmamaktadır, yani yalıtım özelliğine sahiptir. Mineral, hayvansal veya bitkisel esaslı olan sıvı yağlara çeşitli katkı maddeleri veya başka yağlar ilave edilerek daha iyi kaydırıcı özelliklerine sahip yağlayıcılar elde edilir.

b) Emülsiyonlar : Biri ötekinin içinde çok ince damlalar halinde dağılmış birbiri içinde çözünmeyen en az iki sıvı maddeden oluşan heterojen sıvılara emülsiyon denilmektedir [1]. Yağlama amacıyla kullanılan emülsiyonlar su ve yağ karışımları olup direkt ve en-direkt olmak üzere ikiye ayrılır. Çok küçük mineral yağ damlacıklarının su içinde yayılmış olduğu su ve yağ karışımlarına direkt emülsiyon, su damlacıklarının yağ içinde yayılmış olduğu su ve yağ karışımlarına da en-direkt emülsiyon denir.

c) Sentetik Çözeltiler : Bu yağlayıcılar suda çözünmüş çeşitli inorganik kimyasal maddelerden oluşan sıvılardır. Ayrıca değişik özellikler kazandırmak amacıyla yağlayıcıya çeşitli kimyasal maddeler de katılabilir.

d) Gresler. Sabunlar ve Mumlar : Katı ve yarı katı yağlayıcılar olan gresler genellikle sabun, mineral yağ ve çeşitli dolgu ve katkı maddelerinden oluşur. Metal yüzeylerine yapışan ve vizkoziteleri yüksek olan greslerin plastik şekil vermede sınırlı bir kullanma alanları vardır.

Sabunlar, sodyum veya potasyum tuzlarının yağ asitleriyle reaksiyon ürünleridir. Alkali sabunlar suda erir, diğer metal sabunları ise genellikle erimez. Plastik şekil vermede oldukça sık kullanılırlar.

Mumlar hayvansal veya bitkisel(parafin) kökenli olabilir. Bakırın, paslanmaz çeliklerin ve yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımların şekillendirilmesi dışında kullanma alanları sınırlıdır.

e) Katı Yağlar : Grafit, molibden disülfid(MoS_2), cam ve polimer filmler en çok kullanılan katı yağlayıcılar.

Grafit, kristal yapıda(hegzagonal) bir karbon çeşidi olan grafit yağlayıcı olarak mikron derecesinde öğütülmüş kuru toz halinde veya su, yağ ve alkol gibi sıvılar içinde koloidal çözelti halinde kullanılır. Grafitin yağlayıcı olarak kullanabilmesi için oksijen veya subuharı gerekir. Vakumda veya nötr gaz atmosferinde ise grafitin sürtünmesi çok yüksektir.

Molibden disülfid, yağa veya suya katılarak oda sıcaklığında yağlayıcı olarak kullanılır. 400 C sıcaklığın üstünde oksitlenmesimolibden disülfidin kullanımını sınırlandıran bir faktördür.

Metal ve polimer filmler ise, düşük dayanımları nedeniyle ince bir yumuşak metal veya polimer filmi de katı yağlayıcı görevi yapabilir. Metallere örnek kurşun

kadmiyum, kalay, gümüş ve indiyum gösterilebilir. Poli-
mer filmler ise metil metakrilat, politetrafluoretilen-
PTFE(teflon) ve polietilen olabilir.

f) Camlar : Oda sıcaklığında sert ve gevrek olan cam-
lar yüksek sıcaklıkta vizkoz hale geldiklerinden sıvı
yağlayıcılar olarak kullanılabilir. Belirgin bir tip
camın vizkozitesi sıcaklığa bağlı olup basınçtan et-
kilenmezler. Çok yüksek sıcaklıklardaki şekillendirmeler
için camlar, ısı iletkenlerinin düşüklüğü nedeniyle,
nisbeten soğuk kalıpları işparçasının yüksek
sıcaklığından da korurlar.

g) Dönüştürülebilir Kaplamalar : Takım/işparçası arayüzeyin-
deki çok yüksek basınçlar yağlayıcının işparçası yüzeyine
bağlı kalmamasına veya yağlayıcı filmin parçalanmasına
neden olabilir. Bu gibi hallerde, örneğin karbonlu ve
düşük alaşımlı çeliklerde, malzeme çinko fosfat kaplanır
Çinko fosfat kristalleri takım/işparçası arayüzeyindeki
yüksek basınçların etkisi altında plastik davranış gös-
tererek işparçası ile birlikte şekil değişimine katılır.

h) Ultrasonik Titreşimler : Takım/işparçası arayüzeyine
ultrasonik titreşimler(20 Hz) uygulanması sürtünmeyi
önemli ölçüde düşürmektedir. Örneğin tel çekmede çekme
matrisine eksenine doğrultusunda veya eksene dik doğrul -
tuda titreşim uygulanmakta ve sonuçta çekme kuvveti
önemli ölçüde düşebilmektedir.

2.8.3 Yağlayıcıların Özellikleri :

Plastik şekil verme işlemlerinde, belirli uygula-
malar için uygun yağlayıcılar kullanılarak sürtünme
kontrol altında tutulmaya çalışılır. Yağlayıcı belirli
özelliklere sahip olmalı ve aşağıda belirtilen

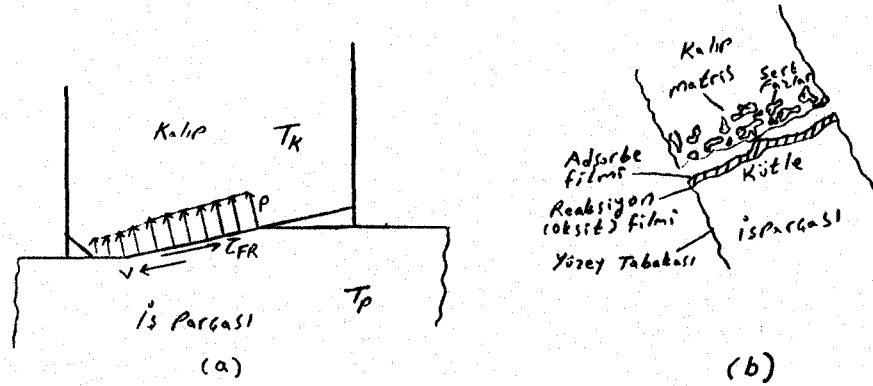
hususların tümünü olmasa bile bazılarını yerine getirebilmelidir [1,5]:

- Kalıp ve iş parçası arasında sürtünmenin azaltılması
- iş parçasının kalıba yapışması ve sürtünme nedeniyle oluşabilecek yüzey kusurlarının önlenmesi,
- iş parçası ile kalıp arasında ısı yönünden yalıtıcılık sağlanması ve böylece sıcak şekil vermede iş parçasından kalıba ısı kayıplarının azaltılması,
- Şekil verme sıcaklığında iş parçası ve kalıp malzeleri arasında reaksiyon oluşumunun önlenmesi,
- Kalıpta yüzey erezyonu ve aşınmanın azaltılması. Yağlayıcının aşındırıcı olmaması,
- Yağlayıcının zehirleyici ve kirletici elemanlar içermemesi, tehlikeli ve rahatsız edici gazlar çıkarmaması,
- Uygulanabilme kolaylığı ve işlem sonunda iş parçası ile kalıp yüzeylerinden kolay temizlenebilmesi,
- Uygun fiyata ve kolay bulunabilmesi.

2.9 Yığılma Sırasında Kalıp-iş parçası Arayüzeyinin Özellikleri:

Kalıp/iş parçası arayüzeyinin makrogeometrik olarak görünüşü Şekil 2.11a da verilmektedir. Genellikle deformasyon kalıp/iş parçası arasındaki bağıl hareketle oluşmaktadır. Deformasyon sırasında şekilde görüldüğü gibi kalıpta basınç kuvvetleri meydana gelmektedir. Parçanın bağıl hareketi ara yüzeyde meydana gelen kayma gerilmesi ile zıt yönde olmaktadır. Deformasyon sırasında gerek plastik şekil değişiminden kaynaklanan ısınma gerekse sürtünmeden kaynaklanan ısınma nedeniyle parçanın sıcaklığı bir kaç yüz santigrat derece mertebelerinde artabilir. Başlangıç kalıp sıcaklığı T_k , parça sıcaklığı ise T_p olarak tanımlandığında, sıcak işlemlerde, T_p alaşımların ergime

noktasından birkaç derece aşağıdadır: izotermal çalışmalarda $T_K = T_P$, fakat çok sık olarak bilinen sıcak çalışmalarda $T_K \ll T_P$.



Şekil 2.11 Kalıp/iş parçası ara yüzeyi. (a) Makro skala. (b) Mikro skala.

Kalıp/iş parçası ara yüzeyinin mikroskobik görünümü Şekil 2.11b de verilmiştir. Bu mikroskobik görünüm ara yüzeyde meydana gelen sürtünme şartlarını tesbit etme çalışmalarında önemli yer teşkil etmektedir. Bu görünümde iş parçasının yüzeyinde bulunan oksit filmi, matris içerisindeki sert fazları incelemeye büyük kolaylık sağlamaktadır. Temas yüzeyleri sürtünme nedeniyle kütleden farklı olduğu görülmektedir [6].

Hesaplamalarda kolaylık olması için arayüzey boyutsuz bir faktör olarak tanımlanmıştır. Makina mühendisliğinde sürtünme katsayısını şu şekilde tanımlanabilmesi mümkündür;[6]

$$\mu = \frac{F}{P} = \frac{\tau_1}{p}$$

burada F:kütleyi deforme etmek için gerekli kuvvet, P: normal kuvvet, τ_1 : ortalama kayma gerilmesi ve p: normal basınç. Amonton'un bilinen basit iki sürtünme kanununa

göre, sürtünme kuvveti normal kuvvetle orantılıdır ve temas alanının boyutlarına bağlı değildir. Sabit bir μ için, arayüzeydeki kayma gerilmesi arayüzey basıncı p ile aynı oranda artmak zorundadır.[6]

τ_1 akma gerilmesinin değerine ulaştığı zaman kalıp yüzeyine zıt kayma yerine, iş parçasının kütlelerinin içerisindeki malzemenin kayması için az bir enerji gerekli olmasından dolayı bu durum malzemelerde istenilen bir konum olmaktadır. Bu sıfır sürtünme olarak tanımlanmakta olmakta fakat gerçek durumda ulaşılamamaktadır. Ara yüzeydeki kayma gerilmesi ise;

$$\tau_1 = m k \quad \text{veya} \quad \tau = f \sigma = (m/\sqrt{3}) \bar{\sigma}$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada m sürtünmesiz bir arayüzey için $m=0$ değerine ve sıfır sürtünme için $m=1$ değerine sahip sürtünmedeki kayma faktörüdür. Bu matematikte oldukça uygundur, çünkü τ_1 akma gerilmesinin yardımıyla tanımlanmaktadır. Fakat μ 'nün kullanımında p 'nin değeri saptanması zorluğundan dolayı karmaşıklık bulunmaktadır.[7]

2.9.1 Sürtünme :

Bir plastik şekil verme işleminde basınç, yük ve iş hesaplamaların yapılabilmesi için iş parçası/ kalıp arayüzeyindeki sürtünmenin sayısal olarak ifade edilmesi gerekir. Bu amaçla sürtünme gerilmesi (veya arayüzey kayma gerilmesi)

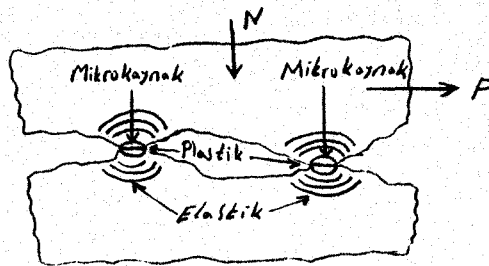
$$\tau = \sigma_n \mu$$

veya $0 \leq \mu \leq 1$ olmak üzere

$$\tau = mk$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemlerde σ_n kalıp/iş parçası ara yüzeyindeki normal gerilme, μ sürtünme katsayısı m kayma faktörü, k ise şekil verilen malzemenin basit kayma halindeki akma sınırıdır. Çeliklerin, aliminyum alaşımlarının ve bakırın fosfat-sabun yağlayıcılar veya sıvı yağlar kullanılarak yapılan soğuk şekil verme işlemlerinde $m=0.05...0.15$. Çeliklerin, bakır ve aliminyum alaşımlarının grafit esaslı (grafit-su veya grafit-sıvı yağ) yağlayıcılar kullanılarak yapılan sıcak şekil verme işlemlerinde $m=0.2...0.4$; titanyum ve ısıya dayanıklı alaşımların cam yağlayıcılarla yapılan sıcak şekil verme işlemlerinde $m=0.1...0.3$; slap ve levhaların sıcak haddelenmesi ve aliminyum alaşımlarının yağlamasız ekstrüzyonu gibi yağlayıcı kullanılmayan şekil verme işlemlerinde $m=0.7...1,0$ değeri arasındadır. Bakır, princi ve aliminyumun derin çekilmesinde $\mu=0.08...0.15$, aliminyum ve çelik çubukların çekilmesinde $\mu=0.02...0.20$ tel çekmede aliminyum ve çinko için $\mu=0.02...0.20$; princi ve çelik için $\mu=0.03...0.10$; bakır ve paslanmaz çelik için $\mu=0.07...0.30$ mertebesinde dir.

Burdaki sürtünme şartlarını meydana getiren yüzeyleri şemetik olarak dikkate alınırsa, iki kuru (yağsız) yüzey arasındaki gerçek temas yüzeyi A_g , bu yüzeylerin pürüzlü olması nedeniyle, görünür temas yüzeyinden çok küçüktür (Şekil 2.12).

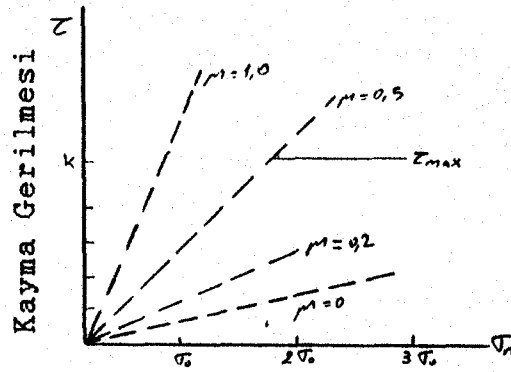


Şekil 2.12 İki kuru metal yüzey arasındaki temas (şematik).

Burda N kuvveti ancak birbiriyle temas eden pürüzler tarafından taşınmaktadır. Temas eden pürüzler arasındaki toplam alan gerçek temas yüzeyidir(A_g). Gerçek temas yüzeyi ile normal kuvvetin(N) belirli değerleri için (büyük A_g , küçük N değerleri) pürüzlerin temas yüzeyinde oluşan gerilmeler ise elastiktir. Normal kuvvet N arttıkça bu gerilmeler de giderek büyür ve nihayet pürüzlerin temas yüzeyi plastik olarak şekil değiştirir. Normal kuvvetin artmasıyla birlikte pürüzlerin temas yüzeyi de büyüdüğü için önceden temas etmeyen pürüzler arasında da temas oluşur. Pürüzlerin farklı yükseklikte olmaları, bazı temas yüzeylerine etkileyen normal gerilmelerin elastik bazılarının ise plastik olmasına yol açar. Normal kuvvetin(N) ve dolayısıyla pürüzlerin temas yüzeylerindeki normal gerilmelerin aşırı artması pürüzler arasında mikrokaymalar doğurur.

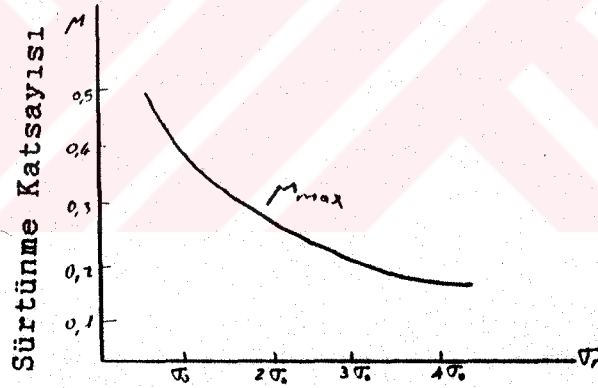
N normal kuvvetiyle birbirine bastırılan iki cismi birbirine göre hareket ettirebilmek için teğetsel kuvvet(F) uygulanmalıdır. Sürtünme kuvveti denen F kuvvetiyle N normal kuvveti arasındaki oran sürtünme katsayısı olarak adlandırılmakta ve μ ile gösterilmektedir. Gerçek temas yüzeyindeki normal gerilme σ_n ve arayüzey kayma gerilmesi (veya dayanımı) τ ise $N=\sigma_n A_g$ ve $F=\tau A_g$ olduğundan $\mu=\tau/\sigma_n$ elde edilir.

Sürtünme gerilmesi τ normal gerilme σ_n ile doğrusal olarak değiştiği takdirde μ sürtünme katsayısı sabit bir değer almaktadır (şekil 2.13).



Şekil 2.13 Sürtünme gerilmesinin normal gerilme ile değişimi.

Fakat sürtünme gerilmesi (veya $\mu\sigma_n$ çarpımı) şekilendirilen malzemenin basit kayma halindeki akma sınırından büyük olamayacağı için μ sürtünme katsayısının değeri de bir üst sınırı aşmaması gerekmektedir (şekil 2.14).

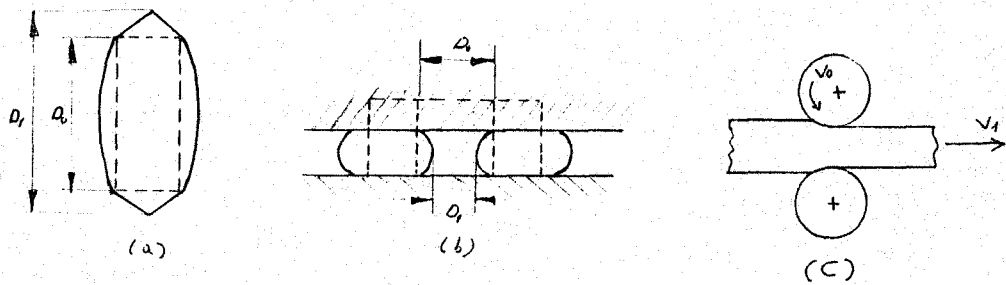


Şekil 2.14 Max. sürtünme katsayısının normal gerilme ile değişimi.

Malzemenin basit çekme halindeki akma sınırı σ_0 ile gösterilirse, Tresca kriterine göre $k = 0.5 \sigma_0$ (Von Mises kriterine göre ise $k = 0.577 \sigma_0$) olduğundan $\sigma_n = \sigma_0$ için sürtünme katsayısının en büyük değeri de $\mu_{max} = 0.5$ tir. Yukarıda da belirtildiği gibi sürtünme gerilmesi malzemenin basit kayma halindeki akma sınırından büyük olamaz; bu halde μ sürtünme katsayısı anlamını kaybeder, iş parçası takım üzerinde kayamaz [1,8].

Arayüzeydeki sürtünmenin büyüklüğü her hangi bir takıma başvurmaksızın tesbit edilebilir. İsim olarak ince kalınlıktaki sigara testi; uzun dikdörtgen dilim üstten asılı plakalar arasında yığılmaktadır, ve uzunluktaki (boydaki) artış (sürtünme küçükse uzama büyüktür) ölçülür (şekil 2.15a). Test düşük sürtünme değerlerinde oldukça hassastır.

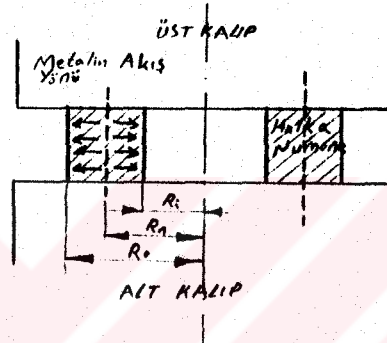
Sürtünme önemli oranda halka yığma deneyleriyle saptanmaya çalışılmaktadır. Bu deneylerde halka sıfır sürtünme ile sıkıştırıldığı zaman katı bir silindirin parçası gibi dışarı doğru genişler. Sürtünmenin yükselmesi malzemenin serbest genişlemesine zıt yönde meydana gelen direncin artmasına sebep olmasıyla birlikte iç çapının küçük bir miktar büyümesine neden olmaktadır. Yüksek sürtünmelerde, doğal eksenden itibaren halkanın iççapının azalmasıyla sonuçlanan merkeze doğru bir metal akışı olduğu gibi doğal eksenden dışarı doğru metal akışıda meydana gelmektedir (şekil 2.15b). Bu durum haddeme (rolling) için de aynıdır (şekil 2.15c). Şerit silindir boşluğundan yüksek bir V_1 hızında öbür taraftan çıkmakta. Hız değişimleri sürtünmenin artmasıyla yükselmektedir.[6]



Şekil 2.15 Deformasyondan sürtünmenin belirtilmesi için metodlar. (a) Sigara testi, (b) Halka Yığma, (c) İleri Doğru Şerit.

2.9.2 Halka Yığma Denevi:

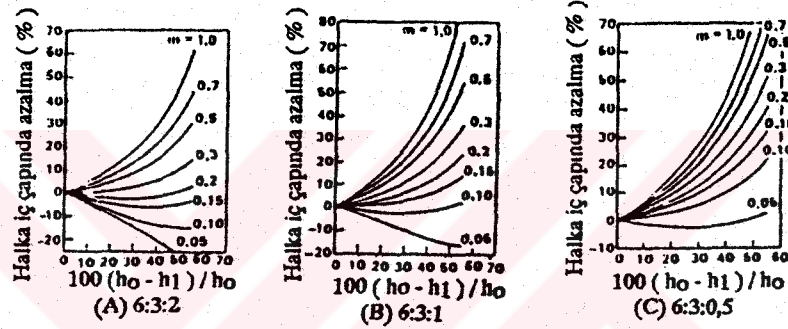
Sürtünmenin ölçülmesinde en Cok kullanılan deney olan halka basma deneyinde, halka şeklindeki deney parçasına eksenî doğrultusunda uygulanan basma kuvvetiyle, iki düzlemsel kalıp arasında plastik şekil verilir (şekil 2.16).



Şekil 2.16 Halka Basma Deneyi.

Eksenel doğrultuda belirli bir birim şekil değış - tirme için, halkanın dış ve iç çap değerlerindeki değışme, kalıp/halka arayüzeyindeki sürtünmeye büyük ölçüde bağılıdır. Sürtünmesiz halde halkanın hem dış hem iç çapı büyür. Fakat sürtünme arttıkça iç çapın büyümesi giderek azalır. Halkanın basmadan önceki ve sonraki yüksekliği sırası ile h_0 ve h ile gösterilirse, bir $(h_0-h)/h$ değeri için, μ sürtünme katsayısının kritik bir değerden küçük olması halinde iç çapın başlangıç değerine kıyasla büyüdüğü, kritik değerden büyük olması halinde ise iç çapın başlangıç değerine kıyasla küçüldüğü görülür. Bu durum, iç çaptaki değışimin, arayüzeydeki sürtünmenin belirlenmesi amacı ile kullanılabileceğini gösterir.

Gerek halkaya uygulanan basma kuvvetinin gerek halka malzemesinin akma sınırının bilinmesine gerek olmaması halka basma deneyinin üstünlüğüdür. Belirli ölçülerde halkalar için, iç çaptaki azalmanın halka yüksekliğindeki birim kısalma ile değişim eğrileri teorik olarak çizilmiş bulunmaktadır. Bir halka basma deneyinde, halka yüksekliğindeki % şekil değiştirme ile halka iç çapındaki % azalma tarafından belirlenen noktanın konumu teorik eğrilerle kıyaslanarak deney koşullarındaki m değeri bulunur. [1,9,10]



Şekil 2.17 Halka basma; iç çaptaki azalmanın yükseklikteki birim kısalma ile teorik değişim eğrileri.

Bu deneyde sürtünme şartlarını grafiksel yani kalibrosyon eğrilerinden tesbit edildiği gibi teorik olarakta bulunabilmektedir. Düz bir halka yığmasının tatmin edici ilk analizi Avitzur tarafından üst sınır matematik çözümü kullanılarak yapılmıştır. Son zamanlarda gerilme analizi kullanılarak Hawkyord ve Johnson tarafından doğrulanmıştır. Her iki çözümde şu yaklaşımlar esas alınmıştır: (a) Şekil değiştirme esnasında malzemede değişim olmamaktadır, (b) halka malzemesinde Mises'ın gerilme-birim şekil değiştirme hızı kanunları geçerlidir, şekil değiştirmede sertleşme etkisi yoktur, elastik deformasyon yoktur ve hacimsel değişim yoktur ve (c) sabit yüzey şartları ve sıcaklık konumlarındaki kalıp/iş parçası için sürtünme faktörünü içeren ara yüzeydeki kayma gerilmesi;

$$\tau = m \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}}$$

olmaktadır. Burda σ_0 : halka malzemesinin akma gerilmesi. m ve σ_0 'nın sabit olduğu farzedilirse otomatikman τ 'numda sabit olacağı anlamındadır.

Avitzur-Hawkyord-Johnson 'nun teorik çözümleri, sıkıştırılmış bir halka malzemesinin akışını bölen doğal eksenî göz önüne alarak şu şekilde olmaktadır [11];

1- $R_n \leq R_i$ olduğu zaman

$$\left(\frac{R_n}{R_o} \right)^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\left[1 + \left(\frac{R_i}{R_o} \right)^4 \right] x^2}{\left[x(x-1) \left(1 - \frac{R_i^4}{R_o^4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$x = \left\{ \frac{R_o}{R_i} \exp \left[-m \frac{R_o}{\tau} \left(1 - \frac{R_i}{R_o} \right) \right] \right\}^2$$

2- $R_i \leq R_n \leq R_o$ olduğu zaman,

$$m \frac{R_o}{\tau} = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{R_i}{R_o} - \frac{2R_n}{R_o} \right)} \times \ln \left[\left(\frac{R_o}{R_i} \right)^2 \frac{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_i}{R_o} \right)^4 \left(\frac{R_o}{R_n} \right)^4}}{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_o}{R_n} \right)^4}} \right]$$

Eşitlik 1'de R_n 'in değeri R_i ve 0 arasında bulunduğu zaman şu denklem geçerlidir,

$$\frac{m R_o}{\tau} \leq \frac{1}{2 \left(1 - \frac{R_i}{R_o} \right)} \ln \left[\frac{3 \left(\frac{R_o}{R_i} \right)^2}{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_o}{R_i} \right)^4}} \right]$$

Eşitlik 2'de R_n değeri $(R_o + R_i)/2$ ve R_i arasında bulunduğu zaman Su denklem geçerlidir,

$$\frac{m R_o}{h} \geq \frac{1}{2 \left(1 - \frac{R_i}{R_o}\right)} \ln \left[\frac{3 \left(\frac{R_o}{R_i}\right)^2}{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_o}{R_i}\right)^4}} \right]$$

Gerek malzemenin akma gerilmesi gerekse ara yüzey kayma gerilmesi bir m oranının degerini belirten yukardaki terimlerin son eşitliğinde görülmektedir. Buda hesaplamalarda kolaylık sağlamaktadır.

BÖLÜM 3: DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Malzemeler:

Deneysel çalışmada iki tür malzeme kullanılmıştır. Birinci malzeme halka yığıma deneylerinde kullanılan basit karbonlu çelik, ikincisi ise yığıma sırasında kalıp/metal arayüzeyinde kullanılan yağlayıcılardır.

3.1.1 Deney Malzemesi:

Halka deneyi parçalarının malzemesi AISI 1040 çeliğidir. Bu çelik dövme sanayiinde en çok kullanım alanı bulan çeliklerden biri olma özelliğine sahiptir. Bu nedenle deney malzemesi olarak bu çelik seçilmiştir.

Kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi yüzde (%) olarak standartlarda;

C	Mn	Si	P	S
0.37-0.44	0.6-0.9	0.15-0.35	0.040 max.	0.050 max.

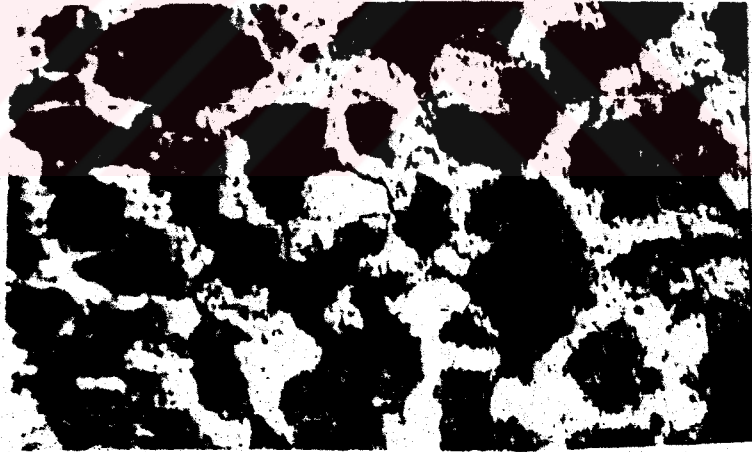
olarak verilmektedir. Malzeme iç piyasada sıcak hadde mamülü olarak temin edilmiştir [12].

Çeliğin sıcak hadde mamülü durumu için sahip olması gereken mekanik özellikler ile yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda toplu olarak verilmiştir.

Tablo 3.1 Deney malzemesinin mekanik özellikleri.

	Çekme dayanımı (kgf/mm ²)	Akma Dayanımı (kgf/mm ²)	Yüzde Uzama %	Kesit Daralması %
Standartlara göre olması gereken D. (en az)	64	40.8	27	50
Deneylerde elde edilen sonuçlar.	66	41.0	32	52

Deney malzemesinin mikro yapısı ise şekil 3.1 de verilmiştir. Burada çeliğin ferritik + perlitik bir yapıda olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.1 Çeliğin mikro yapısı, Nital boyama x 600

3.1.2 Yağlayıcılar:

Bu deneylerde iki tür yağlayıcı kullanılmıştır. Bu yağlayıcılar Metalflo-2180(R) ve grafit-yag karışımıdır. Bu yağlayıcıların seçilmesindeki amaç dövme endüstrisinde en yaygın şekilde kullanılıyor olmalarıdır.

Metalflo-2180(R), tamamen sentetik bir yağlayıcıdır, içinde grafit veya çözünmeyen katı maddeler bulunmamaktadır. Su bazlıdır, kokusuz ve yeşil renklidir, sıcak kalıba püskürtüldüğünde yağlayıcı katılardan oluşan beyaz renkli ince bir film tabakası oluşmaktadır. Metalflo-2180(R) dövme endüstrileri için kalıp yağlayıcısı olarak geliştirilmiştir. Bununla beraber grafit katkılı yağlayıcıların kullanıldığı tüm sıcak metal şekillendirme işlemlerinde de kullanılabilir. Bu yağlayıcının belli başlı özelliklerini şu şekilde sıralanmaktadır:

- Grafit ihtiva etmediklerinden dolayı kullanımı temizdir,
- Çok az duman yapar, çalışılan yerdeki hava kirliliğini önemli oranda azaltmaktadır,
- Uygulaması daha kolaydır.

Metalflo-2180(R) saf olarak fırca veya bezle tatbik edilebilmektedir. En iyi neticeyi almak için bu yağlayıcıyı püskürterek tatbik etmek gerekmektedir. Su ile değişik oranlarda seyreltilebilmekte, optimum seyreltme oranı deneme yanılma ile bulunmaktadır. Genel kaide olarak 1 kısım Metalflo-2180(R), 5 kısım su ile seyreltilerek dövme işlemine hazırlanmaktadır. Yeşil renkli vizkoz sıvı olan bu maddenin spesifik gravitesi 1.24 olup kokusuzdur. 10 °C ile 40 °C arasında normal şartlarda kolayca depolanabilmektedir. Sağlık açısından zehirli maddeler ihtiva etmemektedir. Ancak gene de cilde devamlı temasından kaçınılmalıdır.

Grafit-yağ karışımı yağlayıcı ise hegzogonal kristal yapıdaki saf karbonun mikron derecesinde öğütülmüş kuru toz halinde organik veya sentetik yağ ile çözelti haline getirilmesiyle elde edilmektedir. Karışım oranı kesin olarak belirlenmiş olmadığından kullanıcıdan kullanıcıya değişmektedir. Deneylerde

kullanılan grafit-yağ karışımı bir dövme tesisinde kullanılmakta olan karışım olup, kullanıma hazır durumda teslim alınmıştır.

3.2 Deneyde Kullanılan Makina ve Techizat:

Deneyisel çalışmada hidrolik pres, güç düşmeli çekiç (şahmerdan) ve değişik fırınlar kullanılmıştır.

3.2.1 Hidrolik Pres:

Hidrolik presin çalışma tarzı basit ve esas olarak hidrolik bir pistonun bir silindir içinde hareket etmesine dayanmaktadır. Hem açık hem kapalı kalıpla dövme işleminde kullanılan hidrolik presler yük kontrollü dövme makinalarındandır.

Deneyde kullanılan hidrolik presin üst plaka ve alt plaka iki düz sütun tarafından taşınmaktadır. Sütunlar her iki plakanın birbirine paralallığını sağlamakta, dövme sırasında doğan kuvvetleri taşımakta ve üst kalıbın bağlı olduğu koça klavuzluk etmekte. Üst tarafta bulunan ana silindir üst koçun aşağı ve yukarı hareket etmesini sağlamaktadır. Ana silindire gönderilen basınçlı yağ pistonu aşağı doğru hareket etmesini sağlamaktadır. Presin alt tablasını sabit tutarak gerekli yükü ve hızı üst tablayı hareket ettirerek sağlanmıştır.

Deneyde kullanılan hidrolik pres 200 ton kapasitesindedir. Deney sırasında pres 100 tonluk yük kapasitesine ayarlanmıştır. Presin üst tablasının şekil değiştirme anındaki (tam yük altında) hızı 4.5 mm/sn olarak ölçülmüştür.

Preste kullanılan düz yığma kalıpları AISI H13 kalitesinde sıcaklık iş takım çeliğinden imal

edilmiştir. Bu çelik yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı dirençli , dayanıklılığı yüksek ve ısıl yorulmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Sertleşme kabiliyeti oldukça iyi olan bu çelik ayrıca sertleşme sırasında oldukça az çarpılmaya uğramaktadır. Kalıplar işlendikten sonra sertleştirme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. 600 °C ön ısıtmaya tabi tutulan kalıp parçaları daha sonra 1020 °C de ostenitlenmiştir. Bu sıcaklıkta parçalar 1 saat bekletildikten sonra havada soğutulan kalıp parçaları 570 °C'de 2 saat bekletmek suretiyle temperleme (menevişleme) işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu işlemlerden sonra kalıp parçalarında yaklaşık 45 Rocwell-c sertlik elde edilmiştir. Kalıba en son işlem olarak hassas bir yüzey ortamında çalışmak için yüzeyleri taşlamaya tabi tutulmuştur. Taşlama alt ve üst kalıbın her iki yüzeyine de aynı şartlarda olmak üzere yapılmıştır.

3.2.2 Çekiç (Sahmerdan):

Dövme makinaları içinde en ucuzu olan çekiçlerin kapasitesi enerjileri cinsinden belirlendiğinden enerji sınırlı makinalar sınıfına girmektedir. Koç hızının yüksek olması şekillendirme süresini kısaltmakta dolayısıyla iş parçasında daha az soğuma görülmektedir.

Deneyde kullanılan çekiğin koç ağırlığı 250 kg olup güç düşmeli çekiç sınıfına girmektedir. Bu çekişte koç kendi ağırlığı ile aşağı düşerken pnömatik bir sistemle hava gönderilmek suretiyle koç'un düşünü hızlandırılmakta veya koç'u yukarı çekebilmektedir.

Çekiğin alt ve üst kalıbı kendi orjinal kalıbıdır. Bu kalıplar sertliği 50 Rocwell-C sertliğindedir. Bu kalıpların alt ve üst yüzeyleri deneyler öncesinde taşlanmıştır. Bunda amaç yüzeyde bulunan pürüzlülükleri mümkün olduğu kadar yok etmek veya pürüzlülük derecesi

standart yüzeylerde çalışma imkanı bulmaktadır. Çekiğin koçunun şekil değişimi sırasında yaklaşık olarak 3 m/sn hızında hareket ettiği yapımcı firmanın kataloglarında belirtilmektedir.

3.2.3 Fırınlar ve Diğer Gereçler:

Deneyde iki tip fırın kullanılmıştır. Bu fırınların birinde deney parçaları istenilen sıcaklığa ısıtılmış, diğerinde ise deney parçalarını fırından prese veya çekiçe taşımada kullanılan maşanın çenelerinin ısıtılması gerçekleştirilmiştir.

Deney parçalarını ısıtan fırın 1200 °C max. ısıtma kapasiteli olup 120 x 145 x 250 mm³ iç hacmindedir. Fırının sıcaklık ayarı bir röle yardımıyla sağlanmaktadır. Fırını ısıtan rezistanslar ise iç kısımda görünür şekilde yerleştirilmiştir. Fırının ısıtma hızı ortalama 200 °C/saat 'dir. Sıcaklık kontrol hassasiyeti ise +10 °C mertebelerindedir. Maşayı ısıtan fırın ise kullanılır iç hacim bakımından daha büyük olup mufl yapıdadır. Isıtma kapasitesi yaklaşık 1200 °C max. dur. Isıtma hızı ise çok daha yüksek olup hassasiyeti + 50 °C mertebelerindedir.

Deneyde kullanılan diğer gereçler ise; numuneyi fırından prese veya çekiçe taşımaya yarayan maşalardır. Maşalar deney parçalarına göre hazırlanmıştır. 32 mm dış çapa sahip deney parçalarını tutabilecek dairesel çenelere sahiptir.

Yağlayıcıları kalıplara sürmek için küçük boyacı fırçası kullanılmıştır. Yağlayıcılar alt ve üst kalıplara bu fırça yardımı ile sürülmüştür. Deney sonunda kalıba yapışmış tufal, kalıntı, vb. gibi pislikleri temizlemek için önce üstübü ile kaba bir temizleme yapıldıktan sonra alkolla yüzey temizlenir. Daha sonra

"0" numara zımpara ile temizleme yapıldıktan sonra alkol emdirilmiş kağıtla sonkez yüzeyler alkolla temizlenmiştir.

3.3 Halka Basma Denevleri

3.3.1 Denev Parçaları ve Yükseklik Masterlarının Hazırlanması:

Deney parçalarının boyutları olarak iç çap, dış çap ve yükseklik çok önemlidir. Halka basma deneyi parçalarının dışçap:iççap:yükseklik boyutları standart olarak belirli oranları içermektedir. Bu oranlar 6:3:2, 6:3:1 ve 6:3:0.5 olabilmektedir[13]. Halka basma deneyinde bu oranlardan biri dikkate alınarak deney parçasının boyutları belirlenmekte tüm deneyler bu oranı dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu deneylerde deney parçaları için 6:3:2 oranı seçilmiştir. Deney parçaları bu oran korunmak kaydıyla şekil 3.2 de verilen resindeki boyutlarda işlenmiştir:



Şekil 3.2 Halka Basma Deney parçası.

Yukardaki boyutlara sahip deney parçalarının hazırlanmasında sırasıyla şu işlemler yapılmaktadır:

Tornaya bağlanacak boyutlarda kesilen malzemenin alın yüzeyi işlenmekte daha sonra kademeli olarak 16 mm iç çap elde edilecek şekilde delinmektedir. Bu işlemden sonra dış çapı elde etmek için tornalama işlemi

yapılmaktadır. Son paso dikkatli ve ince bir paso verilmeye çalışılmıştır. Yükseklikleri, diğer bir deyimle kalınlıkları oluşturmak için parçayı tezgahtan sökmeden torna keski kalemıyla 12 mm boyunda kesilir. Bu kesim gerçek boydan 2 mm daha fazla kesilmiştir. Bunun 0.5 mm si keski kalem izlerini yok etmede geri kalan 1.5 mm'si ise alt ve üst yüzeylere taşlama payı olarak bırakılmaktadır.

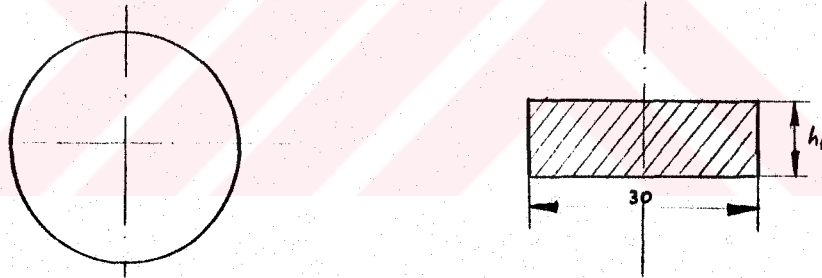
Bu şekilde yeteri sayıda deney parçası torna tezgahında işlendikten sonra kalıplara temas edecek yüzeylerdeki pürüzlülükleri mümkün olduğunca yok etmek ve daha hassas yüzeylerde çalışmak için deney parçalarının düz yüzeyleri, düzlem taşlama tezgahında aynı şartlarda taşlanmaktadır. Deney parçasının üzerinde en son işlem olarak oluşan çapakları çok dikkatli bir şekilde zımpara ile numune üzerinden yok edilmektedir. Böylece çok küçük de olsa keskin yüzeylerin pah kırılması gerçekleştirilmektedir.

Yığılma deneyleri sırasında son yüksekliği kontrol edebilmek amacıyla yükseklik masterlarından yararlanılmaktadır. Masterların en hassas olması gereken boyutu yükseklikleridir. Master yüksekliklerinin belirlenmesinde eksenel yığılmadaki birim şekil değişimi miktarından yararlanılmıştır. Bilindiği gibi yığılmadaki deformasyon miktarı $\epsilon = \ln (h_0/h_1)$ şeklinde tanımlanmaktadır. Burada h_0 deney parçasının yığılma öncesi yüksekliğini, h_1 de masterların yüksekliğini (deformasyon sonundaki yığılan parçanın yüksekliği) verdiği için master yüksekliklerinin seçiminde aşağıdaki tablodaaki değerler esas alınmıştır.

Tablo 3.2. Deformasyon miktarına göre master yüksekliklikleri.

Gerçek yığıma birim şekil değişimi ϵ (%)	Mühendislik yığıma birim şekil değişimi e (%)	Master yüksekliği (h_1), mm
20	18	8.2
40	33	6.7
60	45	5.5

Burada ϵ gerçek birim şekil değişimi miktarını, e mühendislik birim şekil değişimi miktarını [$e = (h_0 - h_1)/h_0$] vermektedir. Deney parçasının başlangıç yüksekliği $h_0=10\text{mm}$ 'dir.



Şekil 3.3 Deformasyon masterı.

Defarmasyon miktarını belirleyen ve numunenin deney esnasında şekil değişimini belirleyecek olan yükseklik masterlarının malzemesi AISI 1040 çeliği olup yapımı şu hazırlık kademelerinden oluşmaktadır: Masterlar dış çapa tornalandıktan sonra üç deformasyon miktarı için ve her deformasyon için üçer adet olmak üzere önceden hesaplanmış yüksekliklerinden 3 mm daha fazla olarak tornalanmaktadır. Bu ölçü fazlalığının 1 mm'si keski kaleminin izini yok etmede, geri kalan 2 mm si ise parçalara uygulanan ısıtıl işleminden sonra masterlarda

yüzeyi düzeltmekte ve taşlanması sırasında kullanılmaktadır.

Mastarlar belirli bir dayanımı sağlamaları için aşağıdaki ıslah işlemine tabi tutulmuştur:

850 °C'ye kadar ısıtılan fırına konan mastarlara 30 dakika bu sıcaklıkta bekletildikten sonra tuzlu su verilmektedir. Su verildikten sonra parçalar 200 °C'de 80 dakika süreyle temperleme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlemler sonunda mastarların sertliklerinin Rocwell-C 40 ye ulaşması sağlanmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen mastarların üç adeti beraberce presin uyguladığı 100 tonluk yük altında elastik şekil değişimine uğramaktadır.

Isıl işleme tabi tutulan mastarlara son işlem olarak hem ölçü fazlalıklarını yok etmek hem de düzgün ve paralel bir yüzey oluşturmak için düz yüzeyleri taşlanmıştır.

Bu şekilde yapılan mastarlar preste yapılan deneyler için hazırlanmıştır. Çekiç için yapılan mastarlarda aynı işlemlere tabi tutulmuştur. Yalnız her bir deformasyon miktarı için iki adet mastar kullanılmıştır. Ayrıca çekiç mastarları pres mastarlarından az—olduğu için büyük çapta olmak üzere hazırlanmışlardır.

3.4 Deneylerin Yapılışı:

Deneysel çalışmanın amacı, metallerin kütleşel şekil değişiminde sıcaklığın sürtünme özelliklerine etkisini incelemek olduğundan deneyler 700 °C, 800 °C, 900 °C, ve 1000 °C'lerde gerçekleştirilmiştir. Yığına miktarları, gerçek birim şekil değişimi olarak %20, %40,

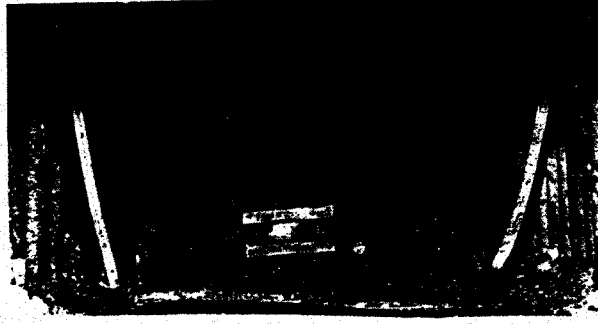
ve %60; mühendislik birim şekil değişimi olaraksa %18, %33 ve %45 olarak uygulanmıştır. Yağlama şartları olarak grafit-yag, Metalflo-2180(R) ve yağlamasız kuru durum seçilmiş, yığma işlemleri hidrolik pres ve çekicte yapılmıştır. Böylece deneylerde değişkenler olarak sıcaklık, deformasyon miktarı, yağlama şartları ve şekil değiştirme hızları ele alınmaktadır. Deney her sıcaklık için, üç yağlama şartında ve üç deformasyon miktarında yapılmaktadır. Deney sıcaklıkları deney parçasının yığma başlangıcındaki sıcaklık olmaktadır. Bu deneylerde tezgahımızın kalıbı oda sıcaklığında olmakta ve sıcak deney parçasını bu şartlar altında şekil değiştirmeye zorlamaktadır. Bu şartlar aynı zamanda endüstriyel amaçlı dövme uygulamalarında da geçerli olan şartlardır. Deney değişkenlerinin bu şekilde seçilmesi, çalışmanın endüstriye veri sağlayacak bir çalışma olarak planlanmasından kaynaklanmaktadır.

Deney sırasında parçanın fırından alınıp kalıba yerleştirilmesine kadar bir miktar ısı kaybı olmakta bu da numunenin sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Özellikle küçük deney parçaları bu olaydan çok etkilendiği için ve sıcaklık kaybını bir ölçüde telafi edebilmek için ısıtma sıcaklıkları bir miktar yüksek tutulmuştur. Bu kayıpları tesbit etmek için bir seri ısı deneyleri yapılmıştır. Yapılan bir seri deney sonucunda parçaların fırından 740 °C'de ortama çıkarıldığında yüzey sıcaklıkların 10 sn'de 700 °C'ye düştüğü, 850 °C'de ortama çıkarıldığında 800 °C'ye 9 sn'de düştüğü, 960 °C'de ortama çıkarıldığında 900 °C'ye 8 sn'de düştüğü ve 1080 °C'de ortama çıkarıldığında 1000 °C'ye 8 sn de düştüğü görülmüştür. Deney parçalarının fırından alınıp pres veya çekiç kalıplarına konup şekil verilmeye başlanması için geçen süre yaklaşık olarak 6-8 sn arasında kaldığından parçaların fırında ısıtılması için sıcaklık seçiminde bu değerler esas alınmıştır.

Deney parçalarının fırına konulması ve ısıtılması çok önemli bir noktayı oluşturmaktadır. Önce fırının içinin çok iyi temizlenmiş olması gerekmektedir. Herhangi bir toz ve katı zerreciğin parça üzerinde bulunması durumunda parçanın şekil değiştirmesi sırasında sürtünme şartlarını etkileyeceğinden sağlıklı sonuç alma şansı zayıflamaktadır. Bunun yanısıra deney parçaları yüzeylerinde yüksek sıcaklıklarda tufal oluşmaktadır. Tufallaşmanın sürtünme üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için aşağıdaki şekilde güdüldüğü gibi numunenin alt ve üstüne 316 kalite os-tenitik paslanmaz çelik saçlar konularak deney parçalarının basılma yüzeylerinin tufal tutmasına mekanik olarak engel olunmaya çalışılmıştır.

Bu saçların üzerine deney parçaları konulmadan önce, her defasında, bir seri temizleme işlemine tabi tutulmaktadır. Paslanmaz sacın yüzeyinde bulunan pislikleri temizlemek için sıfır zımpara ile silinmekte ardından kağıt peçete ile temizlenmekte, en son olarak da alkol emdirilmiş kağıt peçete ile bu saçların yüzeyleri son kez temizlenmektedir. Bu işlem hem alta hem de üste konulan saçlar için yapılmaktadır. Deney parçalarının ise alt ve üst yüzeyleri alkol emdirilmiş kağıt peçete ile temizlenmektedir. Bu şekilde temizlenen saçlar ve deney parçaları şekildeki gibi fırına konulmaktadır. Bu işlem her deney parçası için ayrı ayrı tekrarlanmaktadır.

Temizleme ve yerleştirme işlemi yapıldıktan sonra deney parçası deney sıcaklığına kadar ısıtılması için belirlenen sıcaklığa gelmiş fırına konmaktadır. Deney parçalarının homojen olarak istenilen sıcaklığa gelmesi için 30 dakika beklenmektedir. Bu kademedен sonra halka yığıma deneyine başlanmaktadır.



Şekil 3.4 Fırında parçanın konumu.

Pres ve çekiçin yığma kalıplarının deneye hazırlanışı için bir takım hazırlıklar yapılmaktadır. Taşlanmış kalıpların üzerinde herhangi bir kalıntı kalmaması için alt ve üst kalıpların yüzeyleri sıfır numara zımpara ile işleme tabi tutulmakta arkasından kuru bir kağıt peçete ile zımpara artıkları silinmektedir. Bu işlemin hemen ardından yağ gibi kalıntıların da temizlenmesi için alkol emdirilmiş kağıt peçete ile son yüzey temizlenmesi gerçekleştirilmektedir.

Alt kalıp üzerine hangi deformasyon miktarına göre deney yapılacaksa o deformasyon masterları aşağıdaki şekil 3.5 görüldüğü gibi yerleştirilmektedir. Bunun yanında deney hangi yağlama şartında yapılıyorsa o yağlayıcı yüzeye bir fırça yardımıyla alt ve üst kalıba sürülmektedir. Doğal olarak kuru durumda hiçbir yağlayıcı kullanılmamaktadır. Yağlamada alt ve üst kalıptaki yağ filminin kalınlıklarının olabildiğince aynı olmasına dikkat edilmiştir.

Fırındaki ısıtılan deney parçasını kalıplara taşımak için özel yapılmış maşalar kullanılmıştır. Böylece küçük deney parçasının tutulması sırasındaki ısı kaybının da önemli oranda önüne geçilmiş olmaktadır.

Bu amaçla maşanın ağızı yaklaşık olarak deney sıcaklıklarına kadar ısıtılmaktadır.

Tutma çeneleri ısıtılmış maşa ile fırından alınan deney parçaları Şekil 3.5'teki gibi alt kalıbın üzerine yerleştirilmektedir. Bunun hemen arkasından deney parçası yığılmaya başlanmakta ve üst kalıp mastarlara değdiği an işlem tamamlanmış olmaktadır. Bundan sonra üst kalıp yukarı doğru hareket ettirilerek şekil değişimine uğramış deney parçası alınmakta, şekil değişimi sırasında alt ve üst kalıba temas eden yüzeyleri işaretlenmektedir.

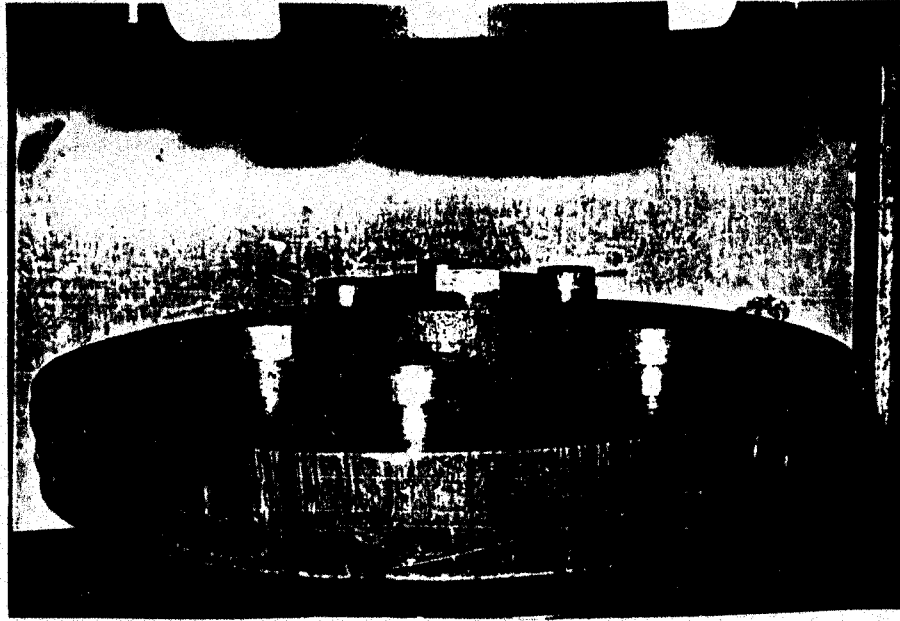
Deney tamamlanmış ıstampalar, numuneler ve numunenin alt ve üst yüzeylerine konan saçlara yukardaki temizleme işlemlerine tekrar tabi tutarak bir sonraki deney için hazırlıklara başlanmaktadır. Bu hazırlık işlemlerinin her bir deney için dikkatlice ve atlamaksızın itina ile yapılmasına dikkat edilmiştir. Bu işlem sırası hem pres için hemde çekiç için aynıdır.

Şekil değiştirme hızını hesaplamak için; çekiğin koç hızı $V_k = 3000$ mm/sn olmakta ve %20 deformasyon miktarında $h = 8.2$ mm olduğuna göre $\dot{\epsilon}_e$ ve $\dot{\epsilon}_r$ değerlerini hesaplamak için dilim analizine göre,

$$\dot{\epsilon}_e = - \frac{V_k}{h} = - \frac{3000}{8.2} = -366 \text{ sn}^{-1}$$

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{V_k}{2 h} = \frac{3000}{2 \cdot 8.2} = 183 \text{ sn}^{-1}$$

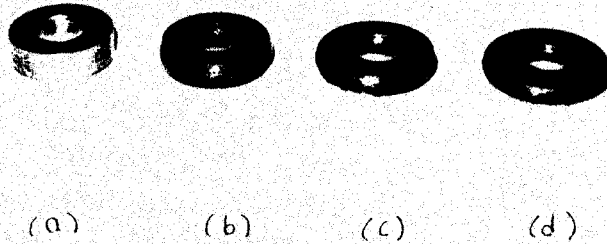
olmaktadır. Aynı şekilde %40 deformasyon için hesaplasak $\dot{\epsilon}_e = - 448$ 1/sn , $\dot{\epsilon}_r = 224$ 1/sn ve %60 deformasyon için ise, $\dot{\epsilon}_e = - 545$ 1/sn , $\dot{\epsilon}_r = 273$ 1/sn olmaktadır.



Şekil 3.5 Preste parçanın konumu.

3.5 Deney Parçasının Yığılma Sonrası Değerlendirilmesi:

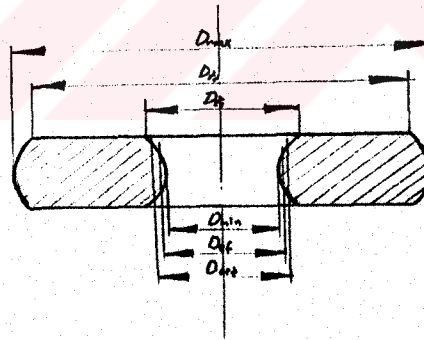
Önceki bölümde belirtildiği gibi halka basma deneyi sonunda, deney parçasının iç ve dış çaptaki değişimler en önemli deney verisini oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu değişimler kumpasla çok dikkatli bir şekilde ölçülmüştür [11].



Şekil 3.6 Halka yığılma deneyi parçası ve deney sonrası görünüşleri
(a) Deforme edilmemiş. (b) %20 deformasyona uğramış.
(c) %40 deformasyona uğramış. (d) %60 deformasyona uğramış.

Şekil 3.6 daki fotoğrafta halka yığma deney öncesi ve sonrasında deney parçalarının aldığı şekiller gösterilmektedir. Burada (a) deney parçasının yığma öncesi durumunu, (b) %20 lik geçek birim şekil değişimi sonrası durumunu, (c) %40'lık gerçek birim şekil değişimi sonrasındaki durumunu, (d) ise %60'lık gerçek birim şekil değişimine uğramış haldeki durumunu vermektedir.

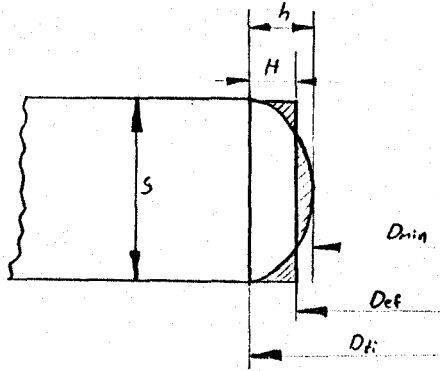
iç ve dış çap ölçümlerinden ve değerlendirilmelerde sürtünmeden kaynaklanan fıçılama da göz önünde bulundurulmuştur. Preste yığlan deney parçalarının kesit görünüşü şematik olarak Şekil 3.7 de verilmektedir. Burada D_{min} ve D_{max} değerleri her deney parçası için dikkatli bir şekilde bir kaç noktadan ölçülmüştür. Dikkate alınması gereken diğer boyutlar ise alt ve üst kalıplara temas eden D_{td} ve D_{ti} çaplarıdır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Preste yapılan yığma deneyi sonrasında deney parçasının kesiti.

Fıçılama nedeniyle hesaplarda iç çap D_{min} yerine D_{eff} 'in dikkate alınması daha uygun olacaktır. D_{eff} dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde sapma D_{min} ve D_{ort} kriter alındığındakine oranla daha az olmakta ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilmektedir. D_{eff} hesabında meydana gelen fıçılamanındairesel olduğu varsayılarak h yüksekliğinde ve S kiriş boyuna sahip

yayın çevrelediği alan;



$$A = \frac{h}{6S} (3h^2 + 4S^2)$$

ve buna bağlı olarak yay yüksekliği

$$H = \frac{A}{S}$$

şeklinde belirlenir.

$$D_{eff} = D_{t1} - 2H$$

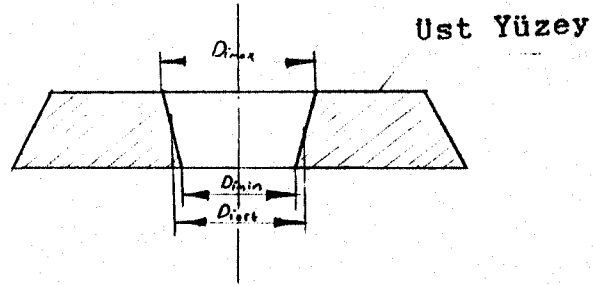
olarak tanımlanmıştır.

Bu şekilde elde edilen D_{eff} çalışmada kullanılan iç çapın deney sonrası durumunu belirlemektedir. Bu değere göre orjinal numunedeki iç çap ile deforme olmuş iç çap, yani deneye tabi tutulmuş numunedeki iç çap ile hesaplanan D_{eff} 'e göre iç çap azalmasının yüzdesi hesap edilmiştir. Yığılma sırasındaki deformasyon miktarı da bilindiğinden 6:3:2 oranının geçerli olduğu kalibrasyon eğrileri kullanılarak kayma faktörü ve sürtünme katsayısı grafiksel olarak saptanmaya çalışılmıştır.

Çekiç (Şahmerdan)'de yapılan deneylerde ise deney parçasının yığılma sonrası kesitinde, prestekine göre bazı farklılıklar görülmüştür. Bu şekilde yığılan deney parçalarının kesitlerine ait şematik görünüm şekil 3.8 de verilmektedir. Buradan da dikkat edileceği gibi alt ve üst kalıplara temas eden yüzeyler farklı boyutlarda ve tipte şekil değişimine uğramaktadır.

Bu şekilde çekiçte yığılmış deney parçalarının değerlendirilmesinde deney parçasının alt yüzeyindeki iç çap değeri D_{min} ve üst yüzeyindeki iç çap değeri D_{max} 'ın dikkatli ölçülmesi gereği ortaya çıkmıştır. μ ve m değerlerini tesbit etmek için kalibrasyon diyagramlarında kullanmak üzere D_{min} ve D_{max} değerlerin aritmatik ortalaması olan D_{ort} hesaplanmış ve diyagramlarda bu çapın yüzdesi dikkate alınarak

değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 3.8 Çekiç'te yapılan yığılma deneyi sonrasında deney parçası kesitinin şematik görünüşü.

BÖLÜM 4: DENEY SONUÇLARI

Halka yığma deneyleri, farklı iki deformasyon hızının uygulanabilmesi için, çene hızları değişik iki tezgahta gerçekleştirilmiştir. Bunlardan 4.5 mm/sn koç hızına sahip hidrolik pres ortalama olarak 5×10^{-1} sn⁻¹ mertebesinde şekil değişimi hızları yaratmaktadır. Buna karşılık çekiç yaklaşık 3000 mm/sn'lik koç hızıyla ortalama 3.5×10^2 sn⁻¹ mertebelerindeki şekil değişim hızlarını oluşturabilmektedir. Buna göre deneysel sonuçlar iki tezgah için ayrı ayrı gruplandırılarak sunulmuştur.

4.1 Preste Yapılan Halka Yığma Deney Sonuçları:

Preste gerçekleştirilen halka yığma deneylerinde elde edilen sonuçlar iç çap değişimlerine göre; Tablo 4.1'de %20, Tablo 4.2'de %40 ve Tablo 4.3'de %60 gerçek birim şekil değişimi miktarlarında alınmak üzere verilmiştir. Bu tablolar tüm deney sıcaklıklarında ve yağlama koşulları için D_{eff} ve D_{min} değerleri kriter olmak suretiyle hesaplanan iç çap değişimleri verilmektedir.

Şekil 4.1a da 700 °C deki deney verilerinin sürtünme faktörü "m" 'nün kalibrasyon diyagramındaki konumu belirtilmiştir. Şekil 4.1b ise aynı verilerin sürtünme katsayısı "μ" 'nın kalibrasyon diyagramı üzerindeki konumu yansıtılmıştır. Aynı şekilde Şekil 4.2 m ve μ değerlerinin 800 °C deki, Şekil 4.3 900 °C deki ve Şekil 4.4 1000 °C deki durumu vermektedir.

Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de kalibrasyon grafikleri kullanılarak elde edilen μ ve m değerleri, değişik yağlama şartları, deney sıcaklıkları ve deformasyon miktarları için toplu olarak verilmiştir.

Şekil 4.5'de 700 °C de elde edilen m ve μ değerlerinin şekil değişimi miktarı ve yağlama şartlarına göre değişimleri grafikler halinde verilmektedir. Şekil 4.6'da bu grafiklerin 800 °C deki, Şekil 4.7'de 900 °C deki ve Şekil 4.8 ise 1000 °C deki durumunu yansıtmaktadır. Şekil 4.9'da m değerlerinin sıcaklıkla değişimini (a) %20 gerçek birim şekil değişimi, (b) %40 gerçek birim şekil değişimi ve (c) %60 gerçek birim şekil değişimi değerleri için değişik yağlama şartlarında verilmektedir. Şekil 4.10'da ise μ değerinin aynı koşullarda değişimini vermektedir.

4.2 Çekiçte Yapılan Halka Yığılma Deney Sonuçları:

Çekiçte gerçekleştirilen halka yığılma deneylerinde elde edilen sonuçların iç çap değişimine göre; Tablo 4.6 de %20, Tablo 4.7'da %40 ve Tablo 4.8'de %60 gerçek birim şekil değişimi miktarlarında olmak üzere verilmiştir. Bu tablolar tüm deney sıcaklıkları ve yağlama koşulları için D_{ort} ve D_{min} değerleri kriter olmak suretiyle hesaplanan iç çap değişimleri verilmektedir.

Şekil 4.11a da 700 °C deki deney verilerinin sürtünme faktörü " m " kalibrasyon diyagramlarındaki konumu belirtilmiştir. Şekil 4.11b de ise aynı verilerin sürtünme katsayısı " μ " kalibrasyon diyagramları üzerindeki konumunu yansıtmaktadır. Aynı şekilde Şekil 4.12 m ve μ değerlerinin 800 °C deki, Şekil 4.13 900 °C deki ve Şekil 4.14 1000 °C deki durumu verilmektedir.

Tablo 4.9 ve Tablo 4.10'da kalibrasyon grafikleri kullanılarak elde edilen μ ve m değerleri, değişik yağlama şartları, deney sıcaklıkları ve deformasyon miktarları için toplu olarak verilmiştir.

Şekil 4.15'de 700 °C deki elde edilen m ve μ değerlerinin şekil değişimi miktarı ve yağlama şartlarına göre değişimleri grafikler halinde verilmektedir. Şekil 4.16'da bu grafiklerin 800 °C deki, Şekil 4.17'de 900 °C deki ve Şekil 4.18'de ise 1000 °C deki durumunu yansıtmaktadır. Şekil 4.19'da m değerlerinin sıcaklıkla değişimini (a) %20 gerçek birim şekil değişimi ve (b) %40 gerçek birim şekil değişimi değerleri için değişik yağlama şartlarında vermektedir. Şekil 4.20 ise μ değerlerinin aynı koşullarda değişimini vermektedir.

Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 m değerinin sıcaklık ve şekil değiştirme hızlarına göre yağlama şartlarındaki bütün deformasyon miktarlarında çekiçle presin karşılaştırmalı olarak grafikleri verilmiştir. Aynı şartlar altında Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de μ değerinin çekiç ve presin karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da m değerlerinin deformasyon miktarı ve şekil değiştirme hızlarına göre sıcaklıklara ve yağlama şartlarına göre değişimi verilmiştir. Aynı konumlar altında Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de μ değerinin değişimleri verilmektedir.

Kalibrasyon eğrileri kullanarak m ve μ değerlerini tesbit etmek için D iç çaptaki azalma yüzdesi kullanılmaktadır. Bu yüzdenin hesaplanması; deney parçasının şekil değişimine tatutulmamış halindeki orijinal iç çapa göre deformasyona tabi tutulmuş deney parçasının iç çapının dikkate alınarak bulunan D_{eff} 'e oranla azalma yüzdesi bulunur. Bu bulunan yüzdesi hem m hemde μ 'ye göre hazırlanmış kalibrasyon eğrilerine

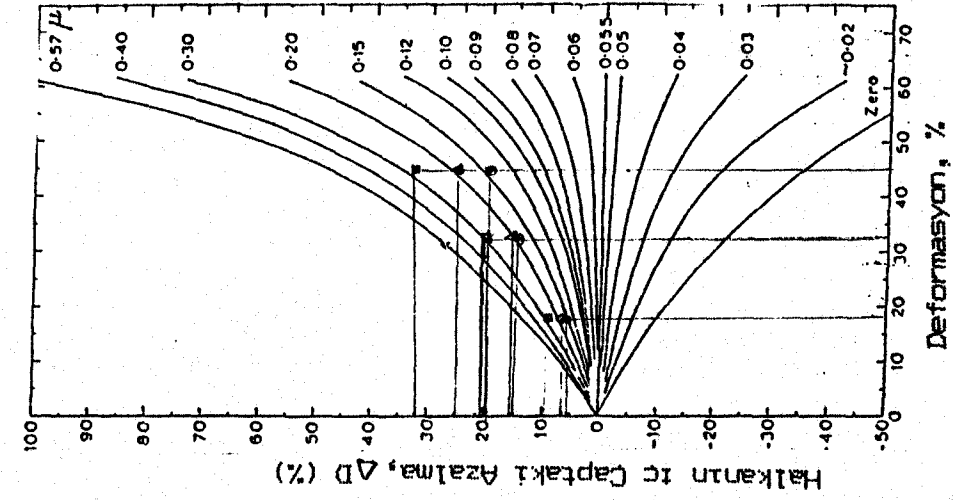
yerleştirilir. Bulunan bu nokta eğri arasında bulunuyorsa tam değerini interpolasyonla bulunmaktadır. Bu şekilde bütün şartlarda yapılan deney sonuğlarına göre yapılarak m ve μ değerleri bulunur.



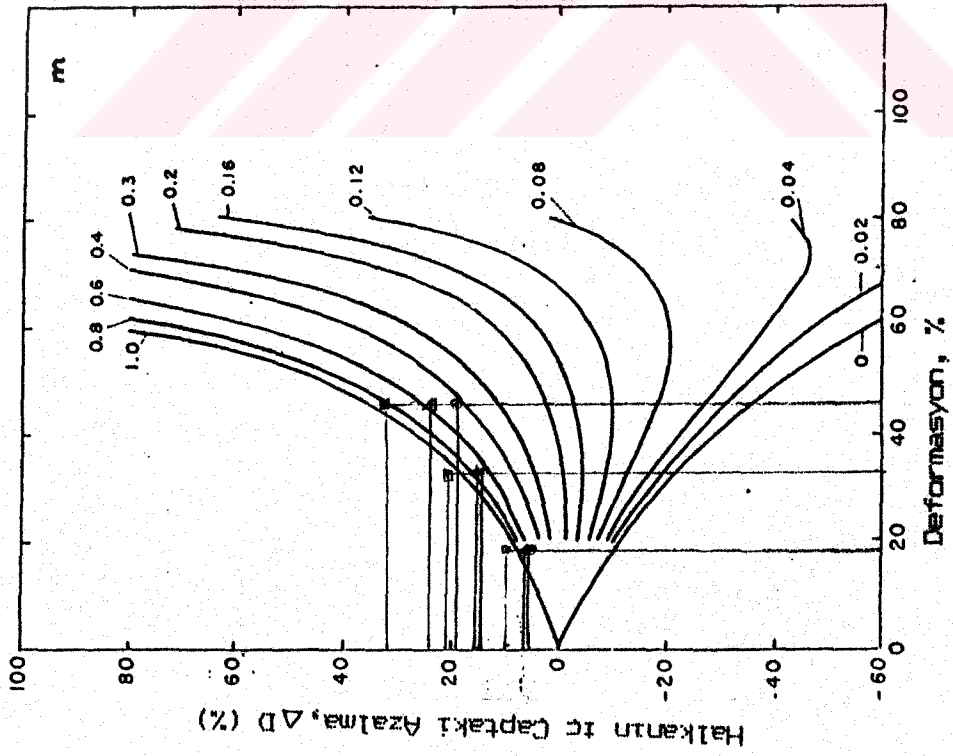
Tablo 4.3 Preste %60 deformasyon miktarında yapılan deney sonuçları.

		7 0 0 °C			8 0 0 °C			9 0 0 °C			1 0 0 0 °C		
		Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180
D ₃₅	(mm)	9,8	11,1	11,9	9,6	11,5	11,95	9,7	10,8	12	9,8	11,1	11,4
	ΔD (%)	38,75	30,63	25,63	40	20,12	25,3	39,4	32,5	25	38,8	30,9	26,75
D ₄₅	(mm)	10,9	12,12	12,9	10,67	12,56	13	10,75	11,9	12,9	10,8	12,1	12,6
	ΔD (%)	32	24,23	19,33	33,32	21,53	18,75	32,8	25,6	19,4	32,3	24,5	21,25

ΔD : Halkanın iç çaptaki azalma yüzdesi (%).

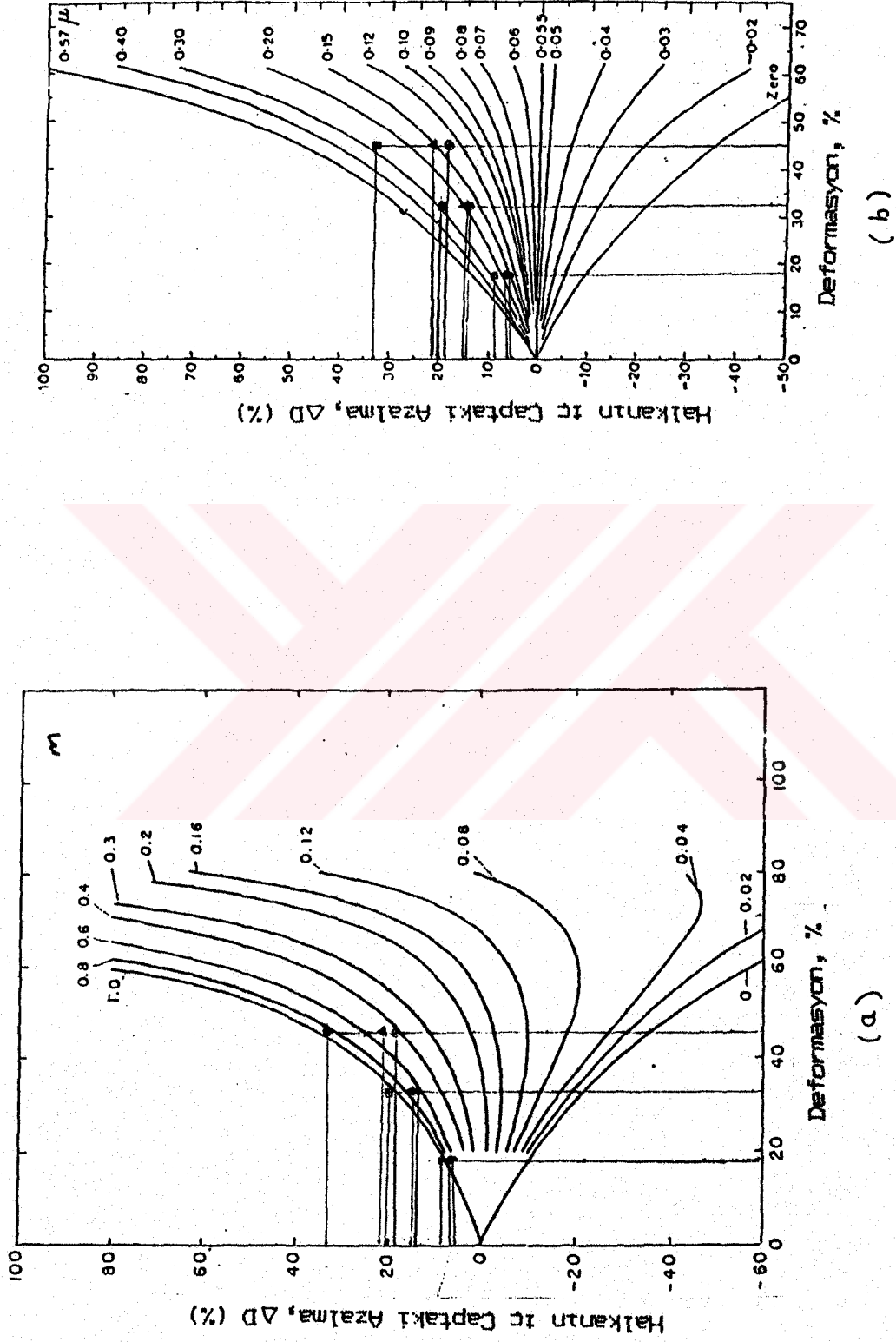


(a)

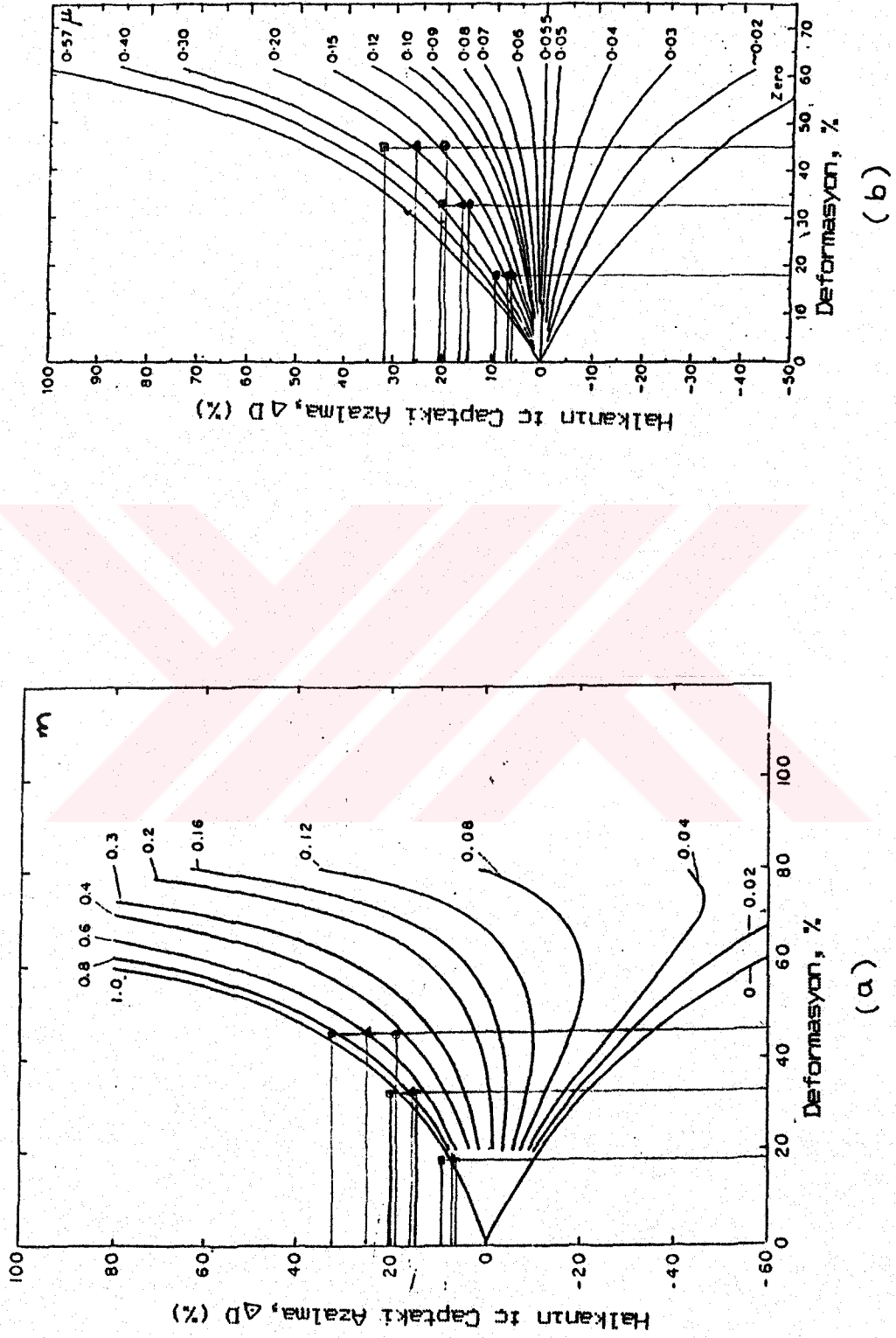


(b)

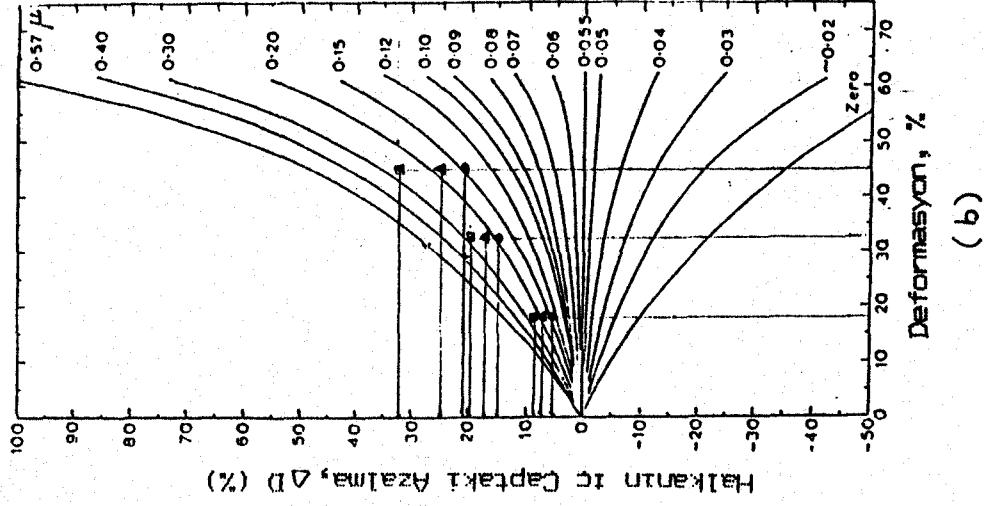
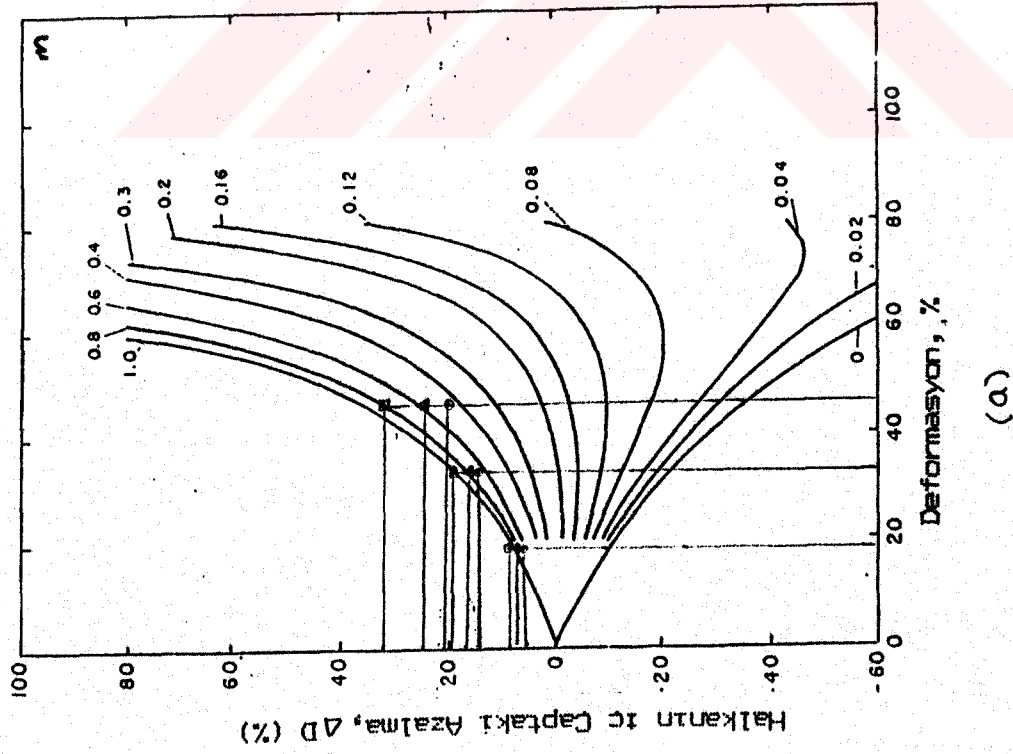
Şekil 4.1. 700°C'de preste yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) m değerlerinin, (b) μ değerlerinin konumu (■ Kuru, Δ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180).



Şekil 4.2. 800°C'de preste yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) m değerlerinin, (b) μ değerlerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180).



Şekil 4.3. 900°'de preste yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) μ değerinin, (b) μ değerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-yağ, ○ Metallo-2180).



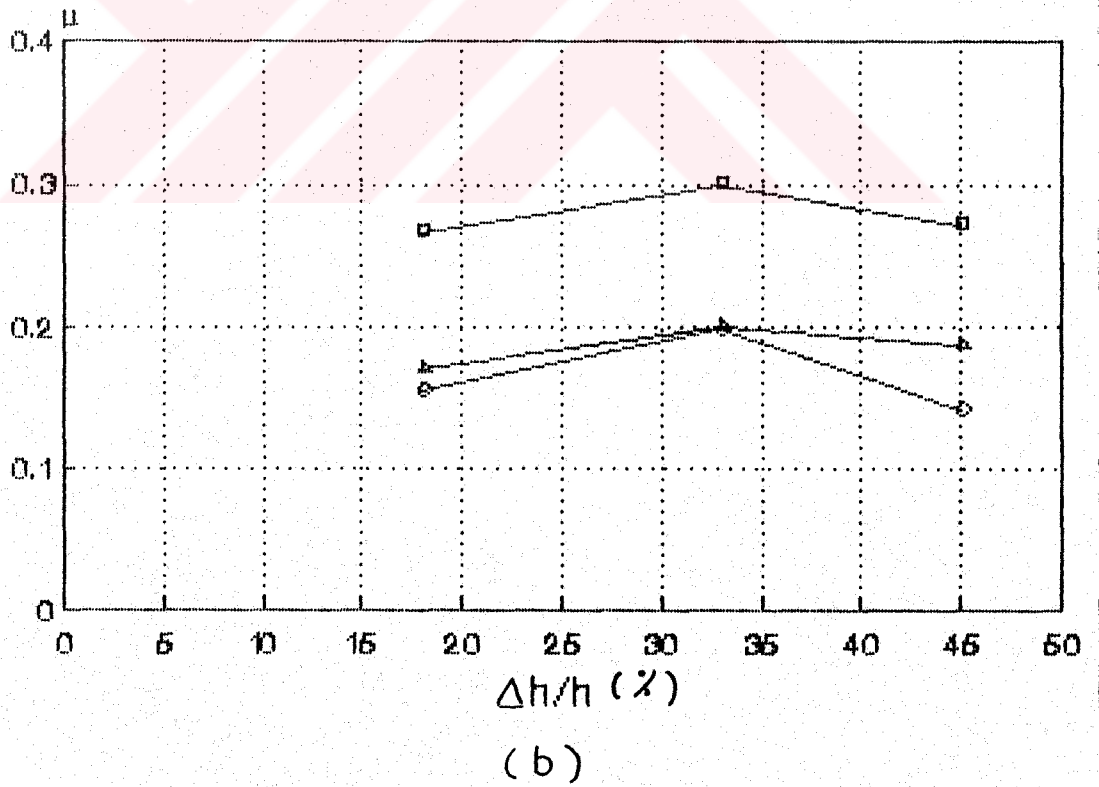
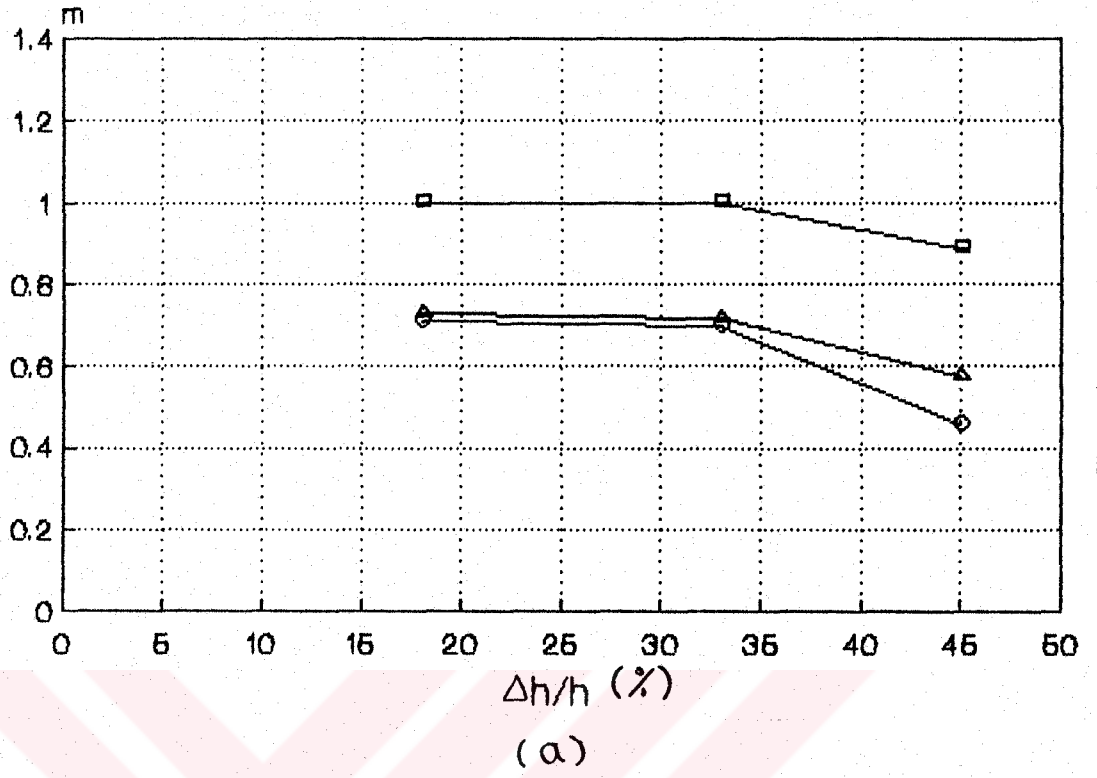
Şekil 4.4. 1000°C preste yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) μ değerlerinin, (b) μ değerlerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180).

Tablo 4.4 Preste yapılan deneylerde elde edilen m değerleri.

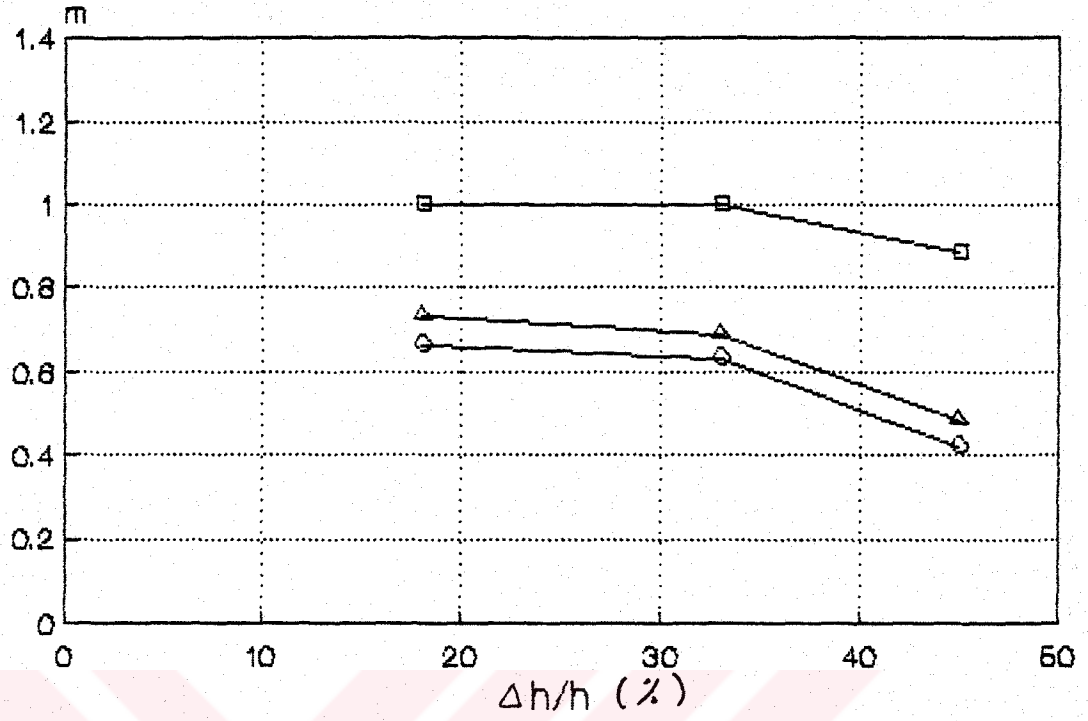
	7 0 0 °C			8 0 0 °C			9 0 0 °C			1 0 0 0 °C		
	20(18)	40(33)	60(45)	20(18)	40(33)	60(45)	20(18)	40(33)	60(45)	20(18)	40(33)	60(45)
(%)												
Kuru Yüzey	1	1	0,885	1	1	0,886	1	1	0,857	1	1	0,8
Grafit Yağ	0,733	0,715	0,575	0,733	0,685	0,481	0,8	0,771	0,6	0,866	0,786	0,575
Metalflo 2180	0,713	0,7	0,456	0,665	0,628	0,42	0,7	0,685	0,47	0,667	0,685	0,42

Tablo 4.5 Preste yapılan deneylerde elde edilen m değerleri.

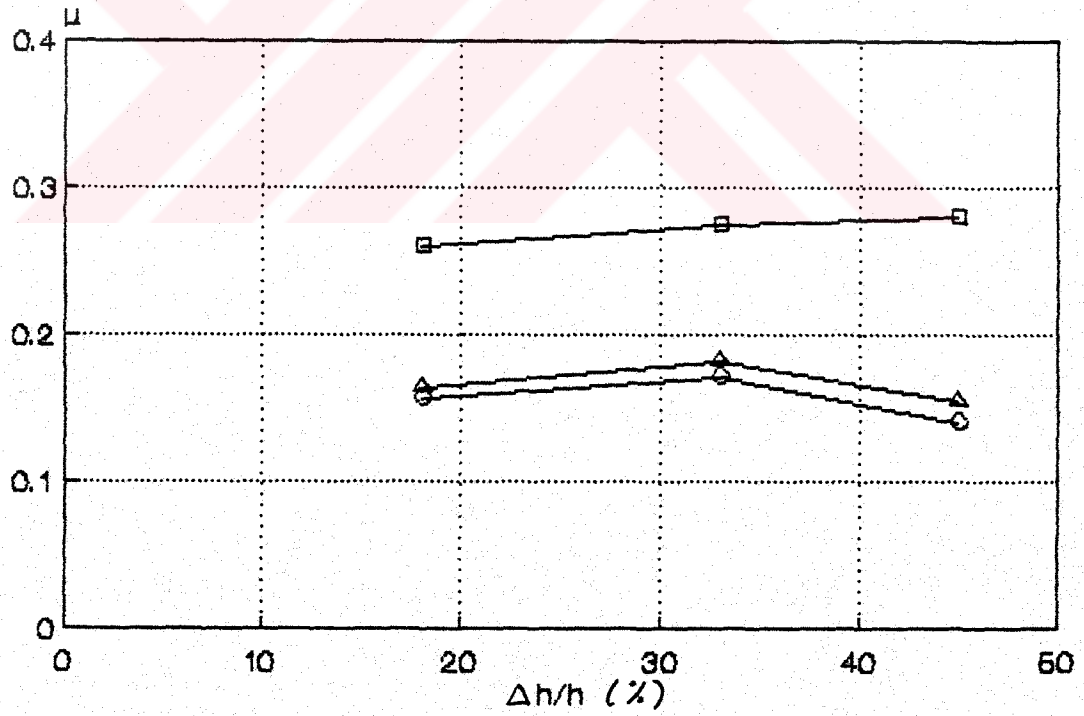
	7 0 0 °C			8 0 0 °C			9 0 0 °C			1 0 0 0 °C		
	20(18)	40(33)	60(45)	20(18)	40(33)	60(45)	20(18)	40(33)	60(45)	20(18)	40(33)	60(45)
(%)												
Kuru Yüzey	0,265	0,3	0,271	0,26	0,275	0,279	0,265	0,29	0,276	0,23	0,272	0,266
Grafit Yağ	0,168	0,2	0,186	0,163	0,182	0,155	0,175	0,213	0,195	0,188	0,227	0,185
Metalflo 2180	0,155	0,198	0,142	0,157	0,171	0,14	0,163	0,186	0,144	0,143	0,188	0,14



Şekil 4.5. 700°C'de presteki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nın değişimi ($\square$ Kuru, $\triangle$ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180(R)).

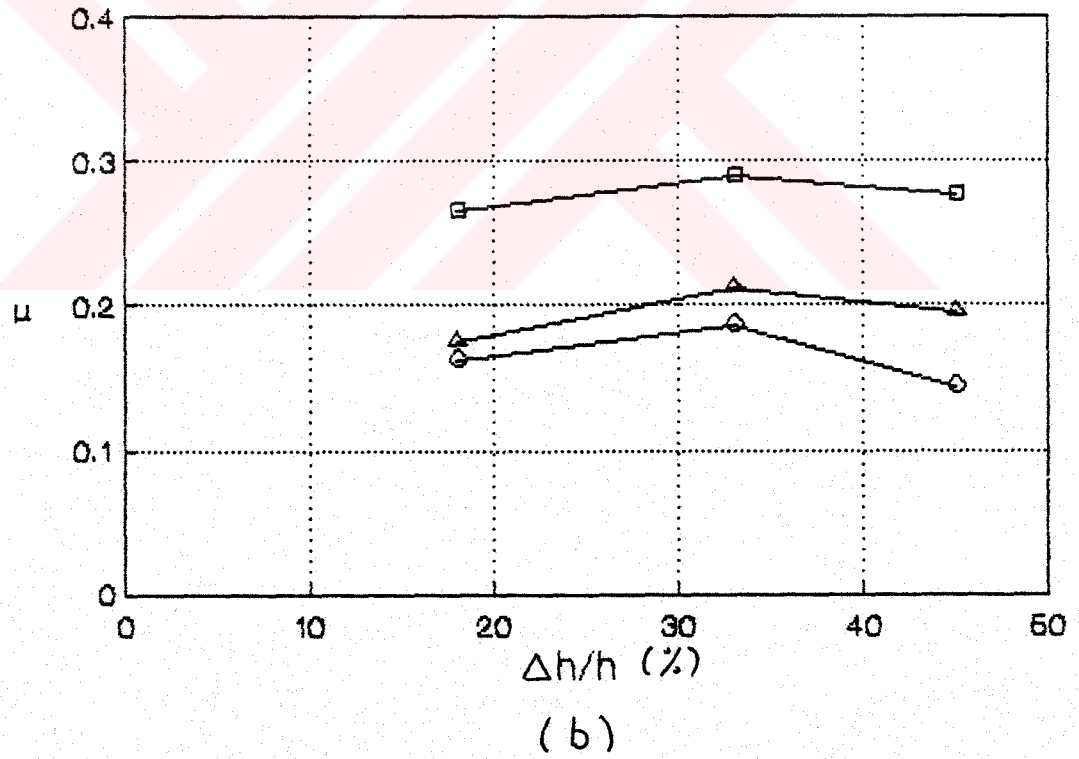
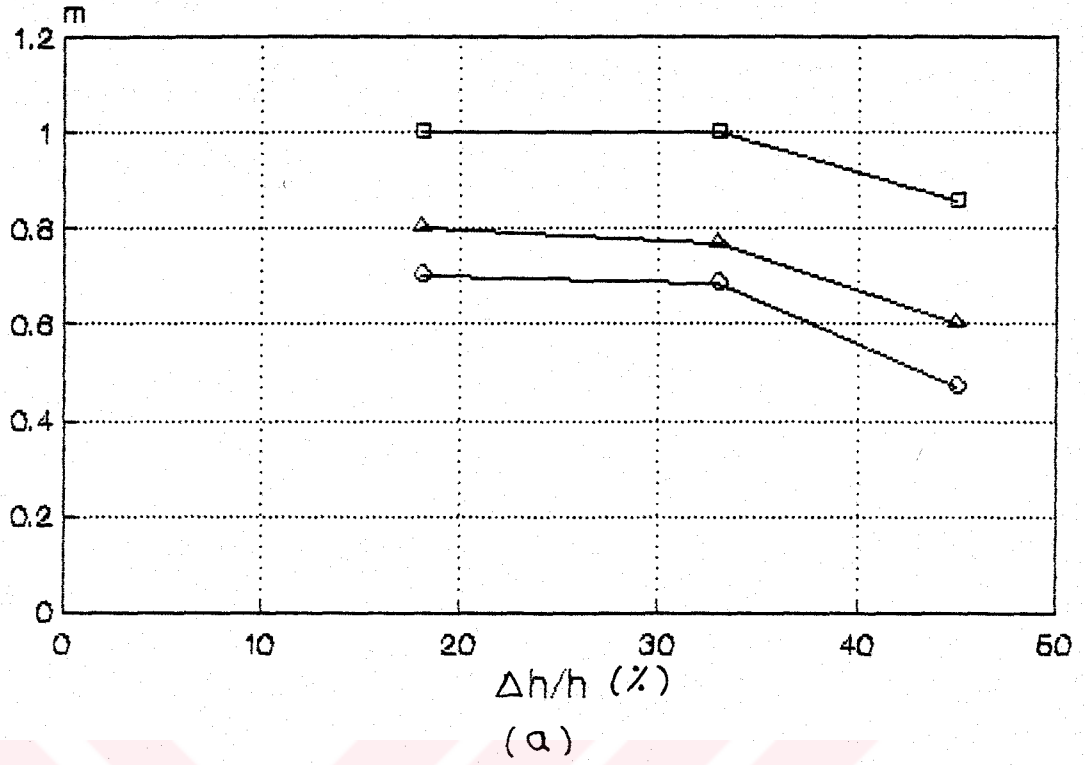


(a)

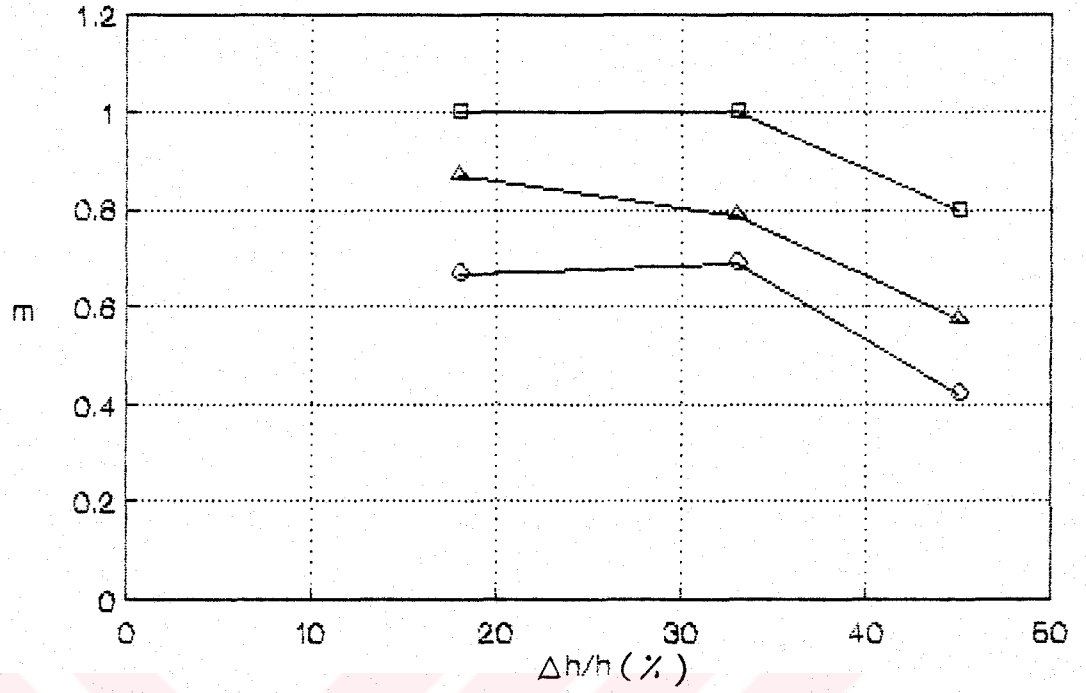


(b)

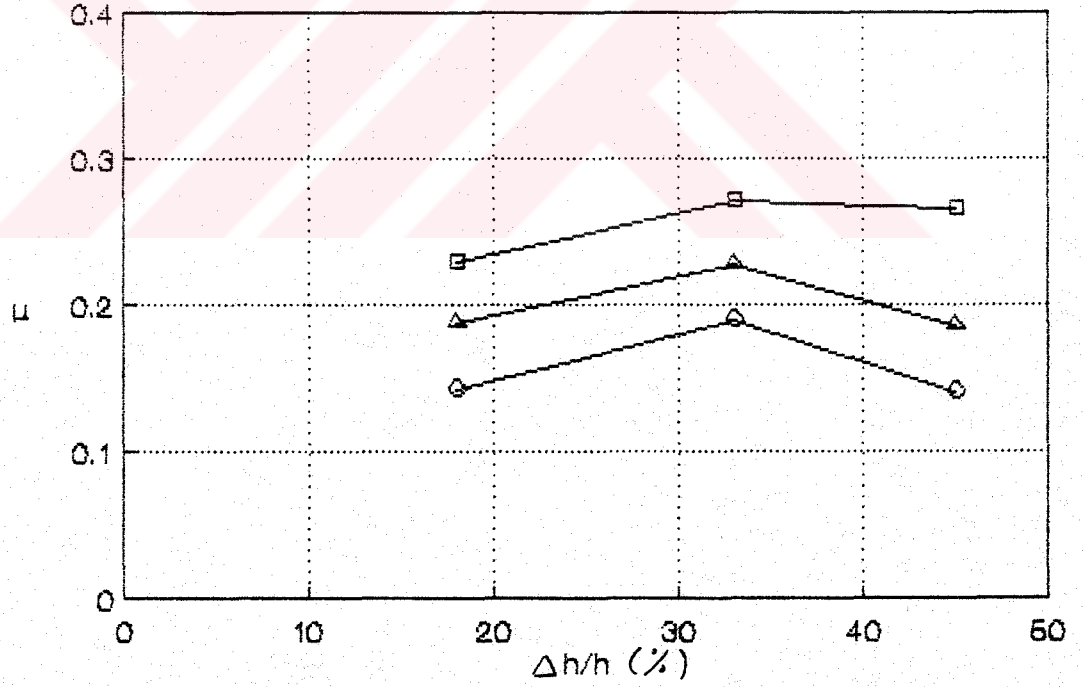
Şekil 4.6. 800°C'de presteki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nün değişimi ($\square$ Kuru, $\triangle$ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180(R)).



Sekil 4.7. 900°C'de presteeki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nün değişimi ($\square$ Kuru, $\triangle$ Grafit-Yag, $\circ$ Metalflo-2180(R)).

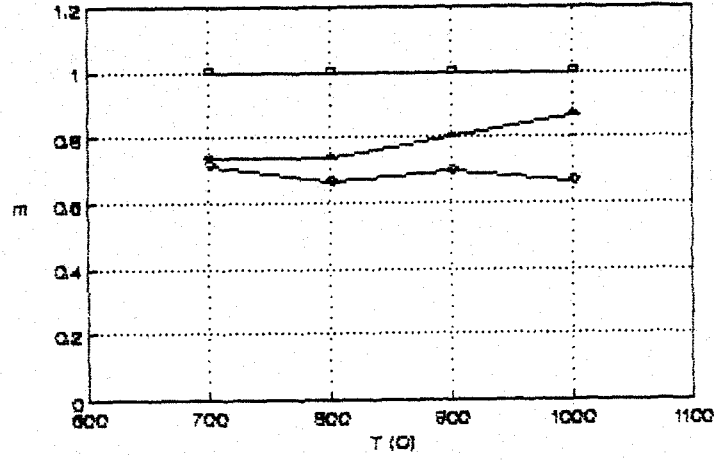


(a)

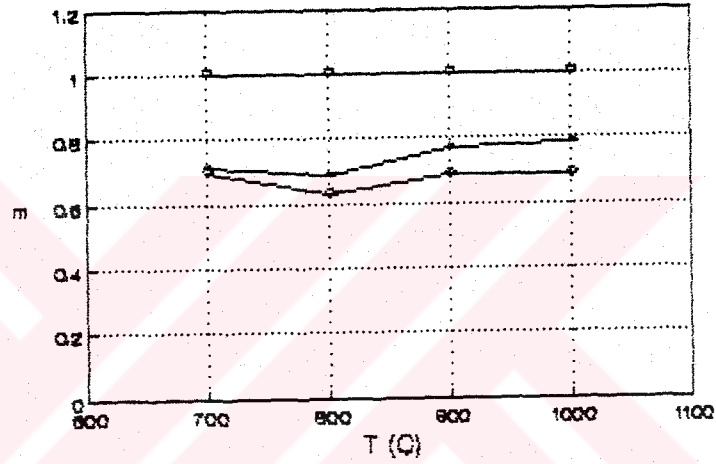


(b)

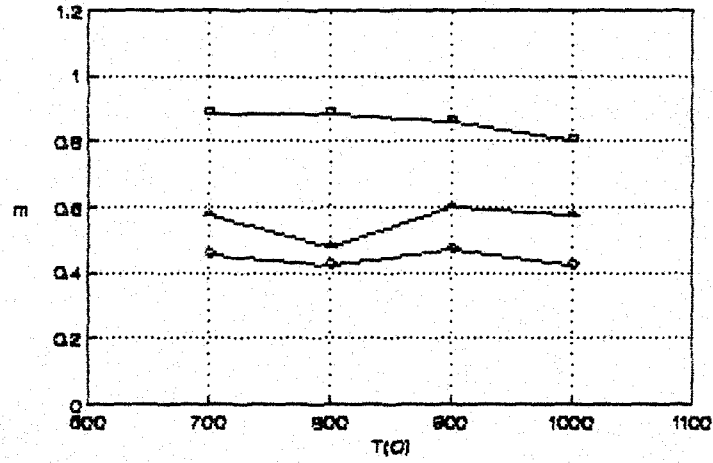
Şekil 4.8. 1000°C'de presteki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nın değişimi ($\square$ Kuru, Δ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180).



(a)

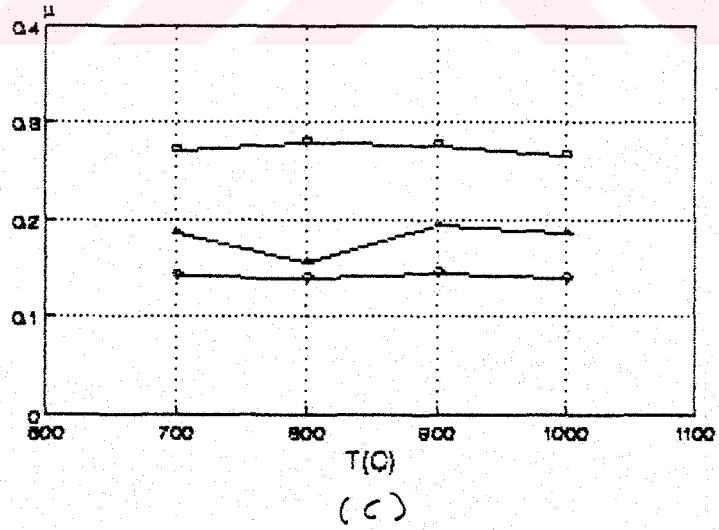
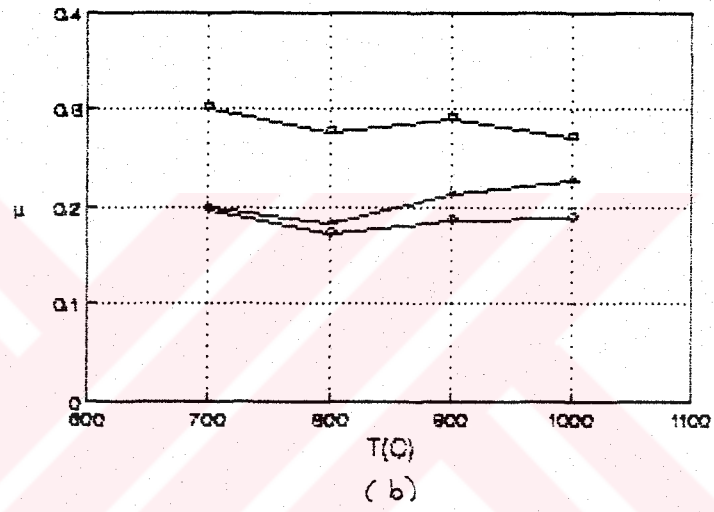
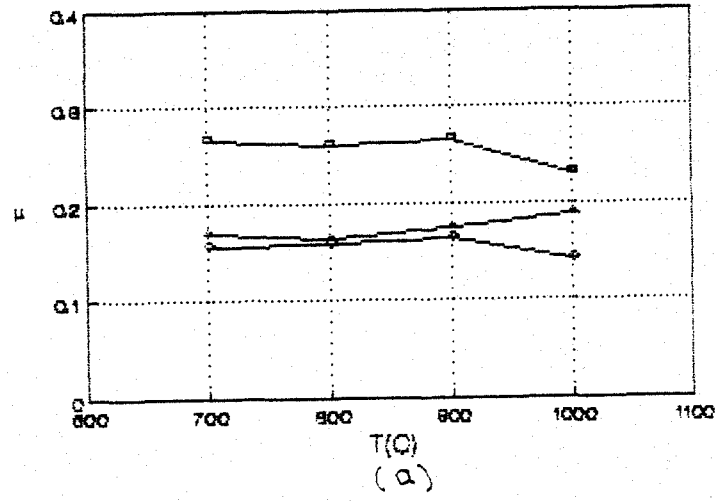


(b)



(c)

Şekil 4.9. Preste elde edilen m değerlerinin yağlama şartlarına ve deney sıcaklıklarına göre; (a) %20 deformasyon miktarında (b) %40 deformasyon miktarında, (c) %60 deformasyon miktarındaki değişimler (■ Kuru, ▲ Garfit-Yağ, ● Metalflo-2180)



Şekil 4.10. preste elde edilen μ değerinin yağlama şartlarına ve deney sıcaklıklarına göre; (a) %20 deformasyon miktarında (b) %40 deformasyon miktarında, (c) %60 deformasyon miktarındaki değişimler ($\square$ Kuru, Δ Garfit-Yag, $\circ$ Metalflo-2180).

Tablo 4.6 Çekiçte %20 deformasyon miktarında yapılan deney sonuçları.

	7 0 0 °C				3 0 0 °C				9 0 0 °C				1 0 0 0 °C			
	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	Kuru Yüzey	Grafit Yağ	Metalflo 2180	
D ₃	14	16,2	16,1	14	17,1	16,7	13,9	17,4	16,55	14,1	15,7	15,55				
	ΔD (%)	12,5	-1,3	12,5	-6,9	-4,4	13,1	-8,8	-3,44	11,9	1,88	2,81				
D ₄	14,5	16,8	16,6	14,4	17,3	17,1	14,3	17,6	16,9	14,5	16,1	15,9				
	ΔD (%)	9,4	-4,7	10	-7,8	-6,7	10,5	-9,9	-5,47	9,55	-0,7	0,63				

Δ D : Halkanın iç çaptaki azalma yüzdesi (%).

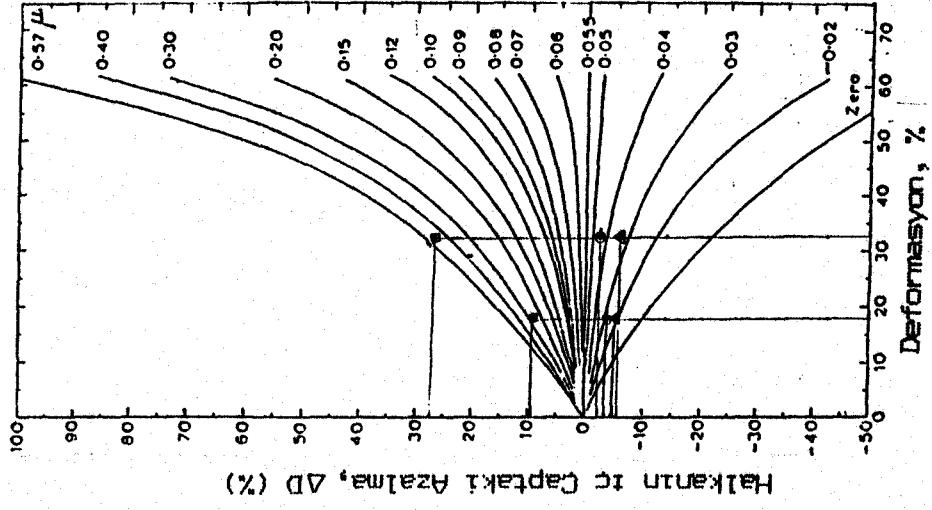
Tablo 4.7 Çekişte %40 deformasyon miktarında yapılan deney sonuçları.

	7 0 0 °C					8 0 0 °C					9 0 0 °C					1 0 0 0 °C				
	Kuru Yüzey		Grafit Yağ		Metalflo 2180	Kuru Yüzey		Grafit Yağ		Metalflo 2180	Kuru Yüzey		Grafit Yağ		Metalflo 2180	Kuru Yüzey		Grafit Yağ		Metalflo 2180
	(mm)	ΔD (%)	(mm)	ΔD (%)		(mm)	ΔD (%)	(mm)	ΔD (%)		(mm)	ΔD (%)	(mm)	ΔD (%)		(mm)	ΔD (%)	(mm)	ΔD (%)	
D_1	10,9	15,35	15,6	2,5		11	17,4	16,06	11,6	15,9	11,6	16,5	15,9	11,9	13,8		11,9	16	13,8	
D_2	31,9	4,06	2,5			31,3	-8,8	-0,31	27,5	0,63	27,5	-2,8	0,63	25,6	13,75		25,6	0	13,75	
D_3	11,6	16,85	16,38			11,7	18,1	16,55	12,2	16,3	12,2	17,1	16,3	12,5	14,4		12,5	16,1	14,4	
D_4	27,3	-5,35	-2,35			26,9	-12,9	-3,44	23,6	-1,9	23,6	-6,4	-1,9	21,9	10		21,9	-0,62	10	

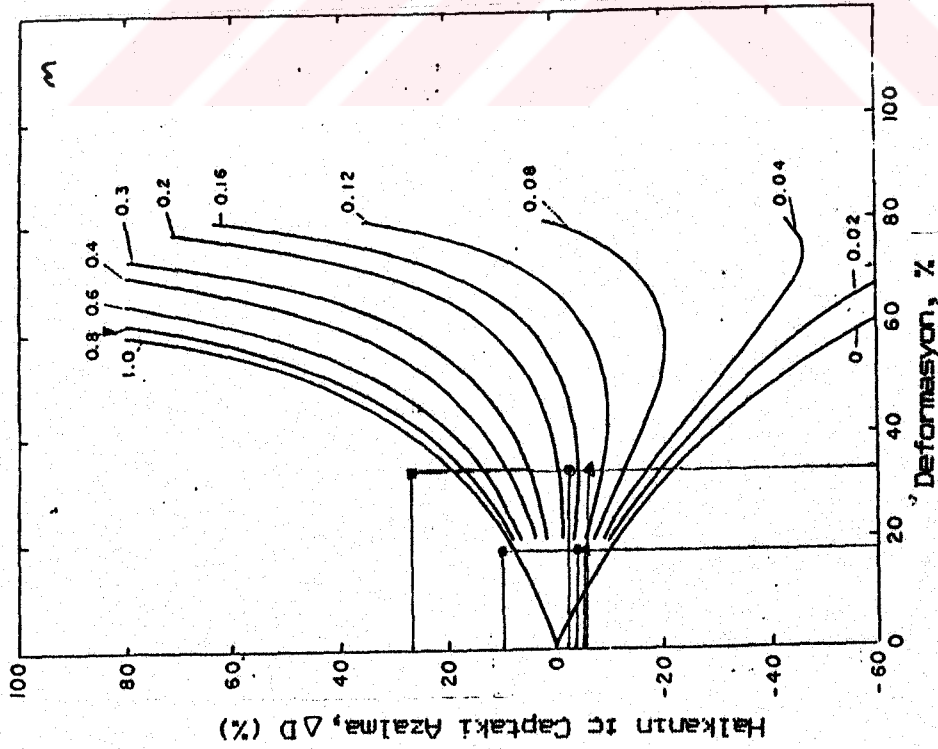
ΔD : Halkanın iç çaptaki azalma yüzdesi (%).

Tablo 4.8 Çekişte %60 deformasyon miktarında yapılan deney sonuçları.

	1 0 0 0 °C				
	Kuru Yüzey		Grafit Yağ		Metalflo 2180
	(mm)	ΔD (%)	(mm)	ΔD (%)	
D_1	9,45	15	13,6		
D_2	40,94	6,25	15		
D_3	10,2	15,8	14,06		
D_4	36,25	1,25	12,13		

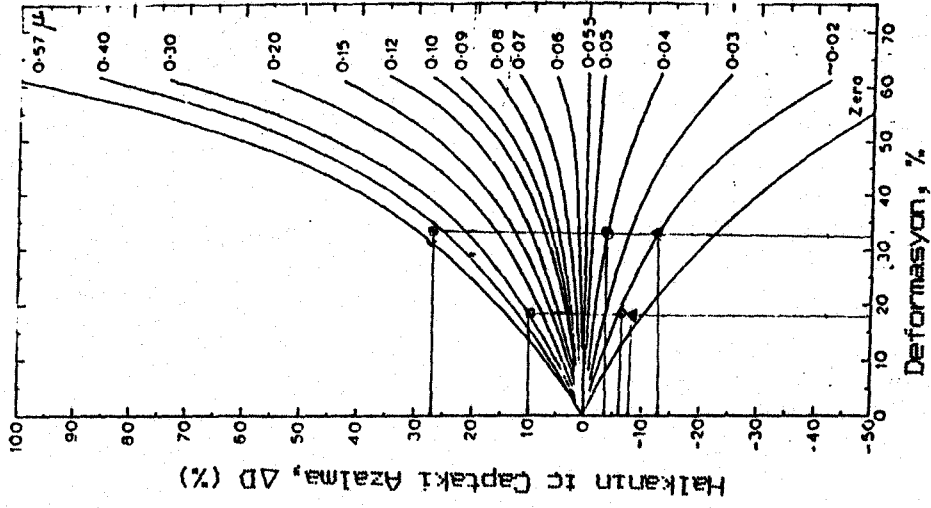


(b)

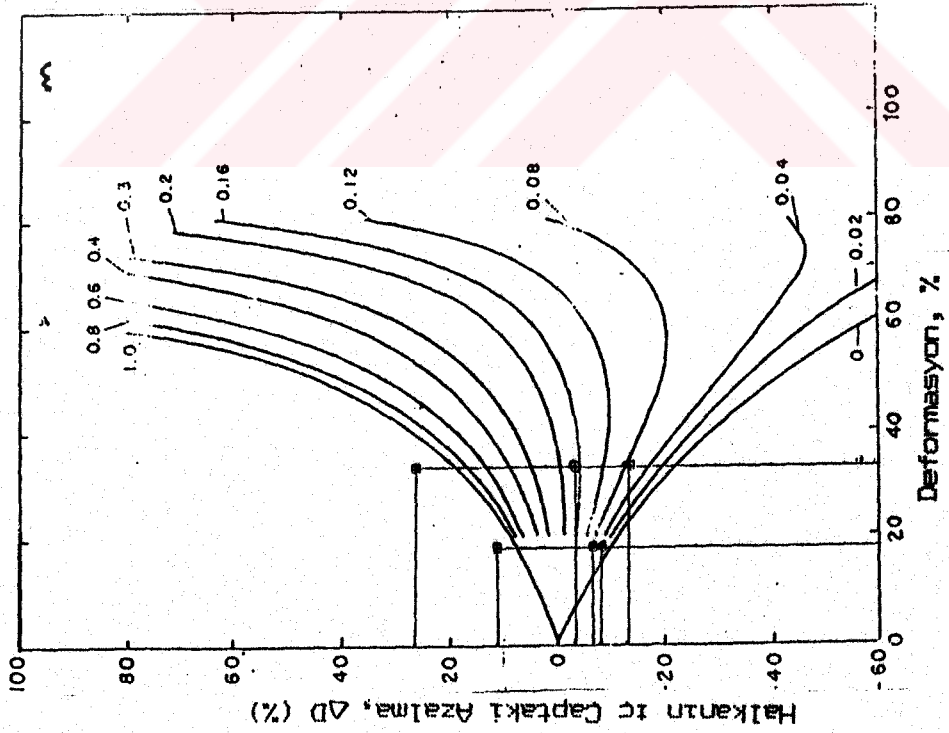


(a)

Sekil 4.11. 700°C'de çekicte yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) μ deferlerinin, (b) μ degerlerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-Yag, $\circ$ Metalflo-2180).

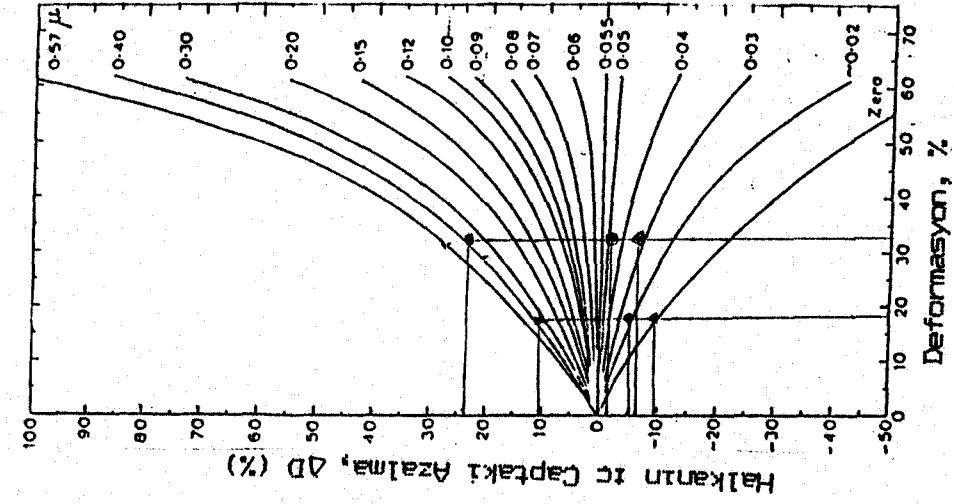


(b)

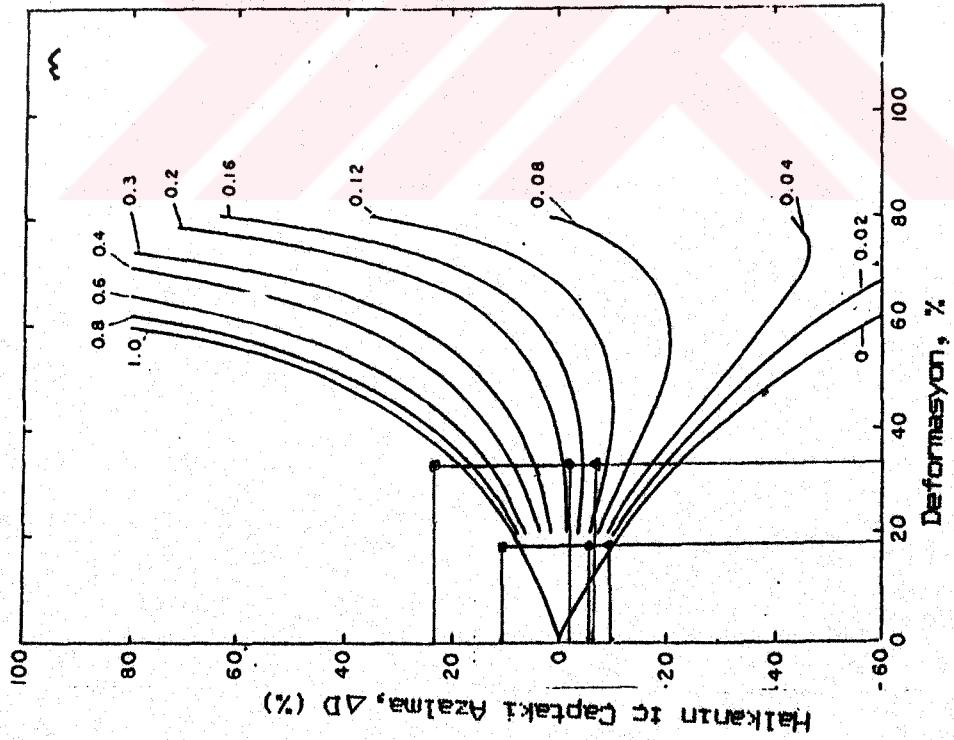


(a)

Şekil 4.12. 800°C'de çekilme yapıları yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) m değerlerinin, (b) u değerlerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, o Metalflo-2180).

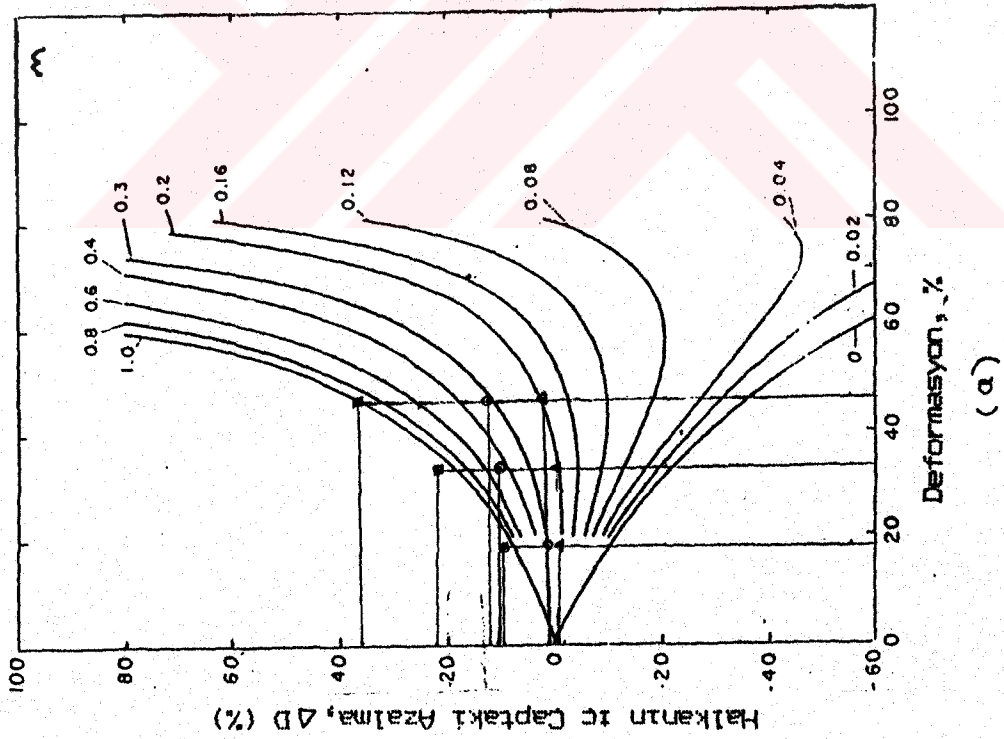
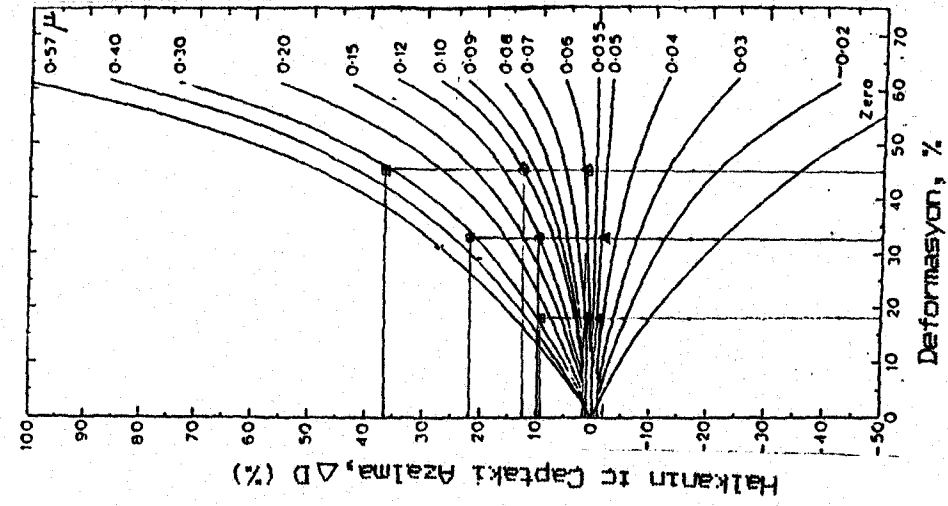


(a)



(b)

Şekil 4.13. 900°C'de çekilme yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) μ değerlerinin, (b) μ değerlerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180).



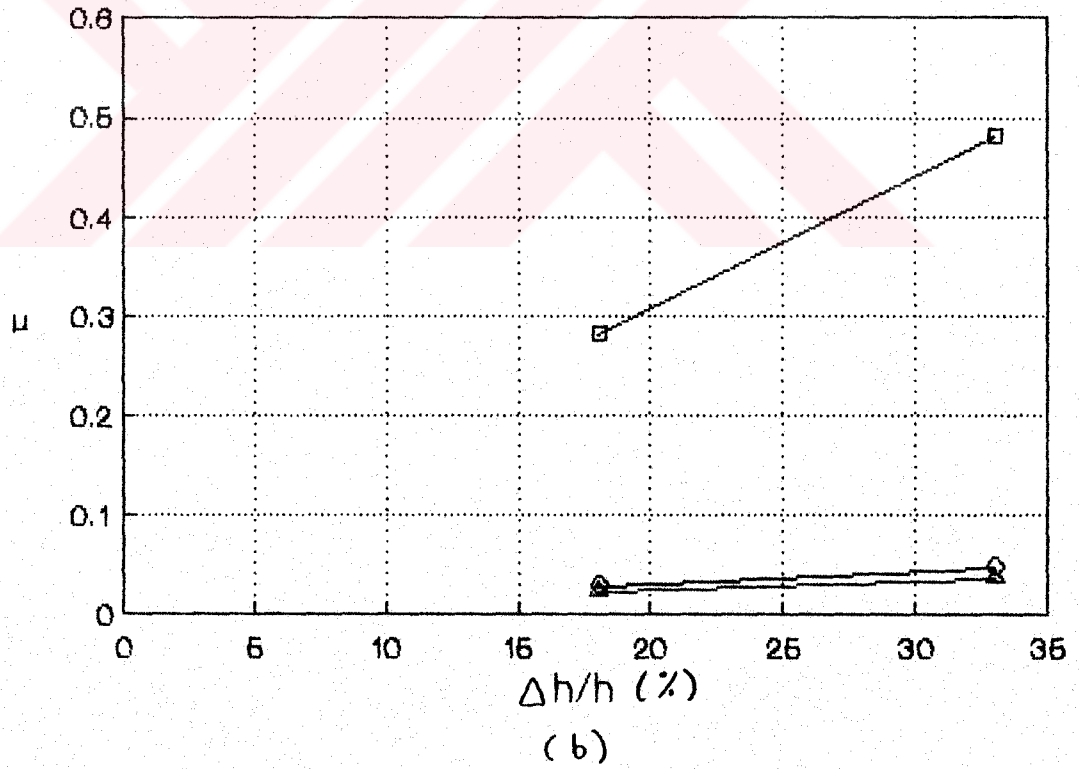
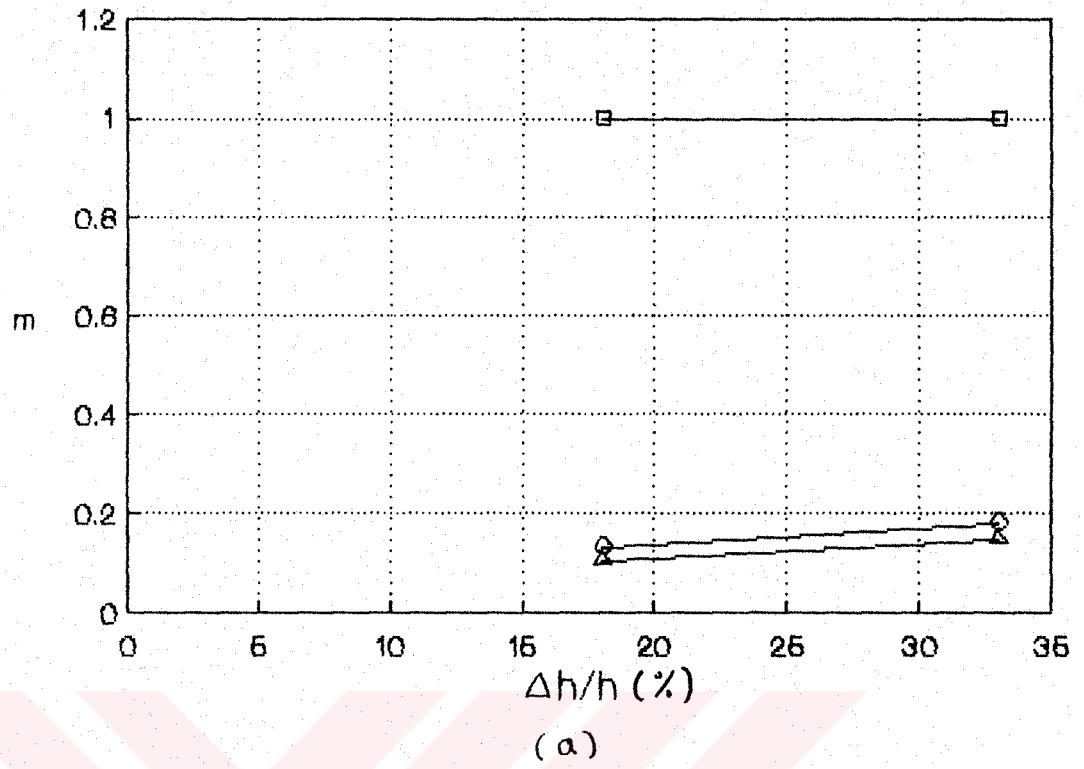
Şekil 4.14. 1000°C çekilme yapılan deneylerin kalibrasyon eğrilerindeki; (a) μ değerlerinin, (b) μ değerlerinin konumu (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo-2180).

Tablo 4.9 Çekişte yapılan deneylerde elde edilen m değerleri.

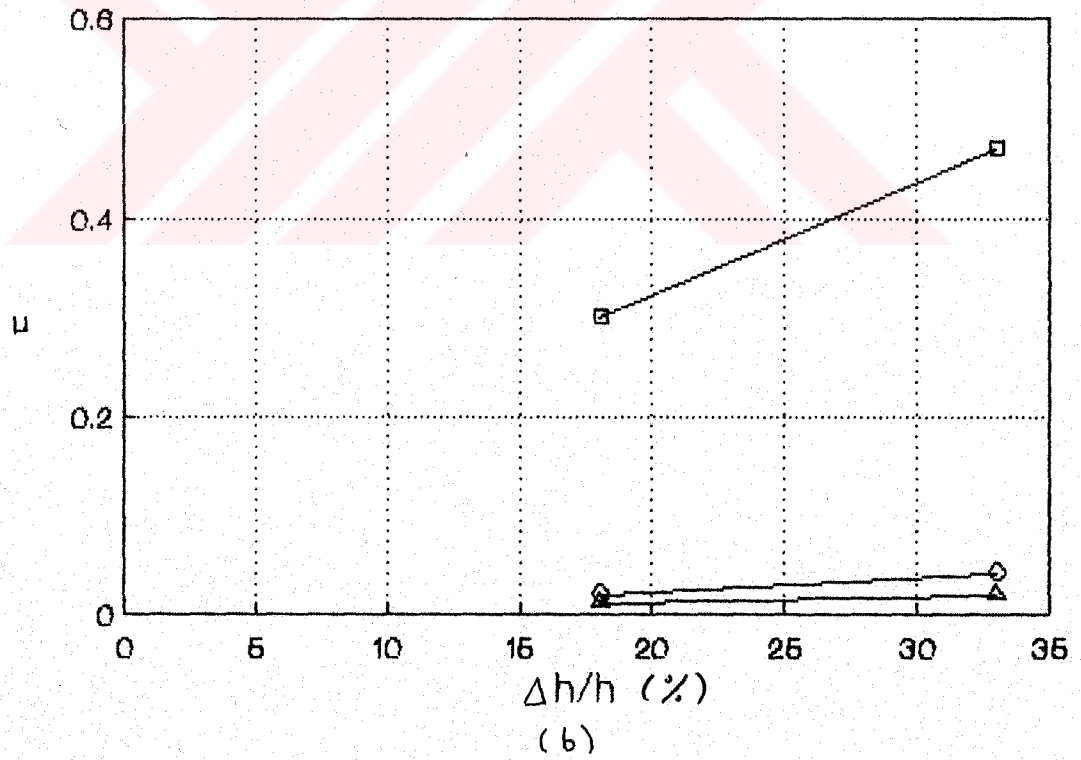
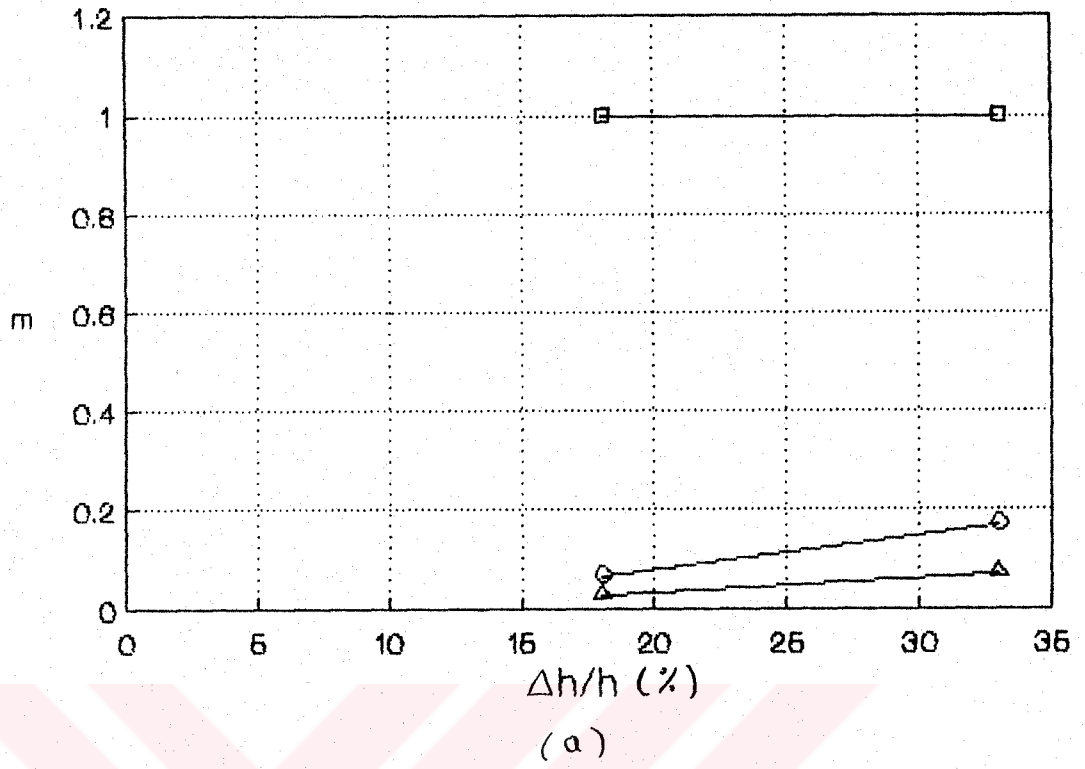
	700 °C		800 °C		900 °C		1000 °C		
	20(18)	40(33)	20(18)	40(33)	20(18)	40(33)	20(18)	40(33)	60(45)
(%)									
Kuru Yüzey	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Metalflo 2180	0,1314	0,183	0,0666	0,1657	0,0934	0,1886	0,2777	0,4666	0,3154
Grafit Yağ	0,104	0,144	0,03	0,073	0,0067	0,1377	0,20	0,23	0,196

Tablo 4.10 Çekişte yapılan deneylerde elde edilen m değerleri.

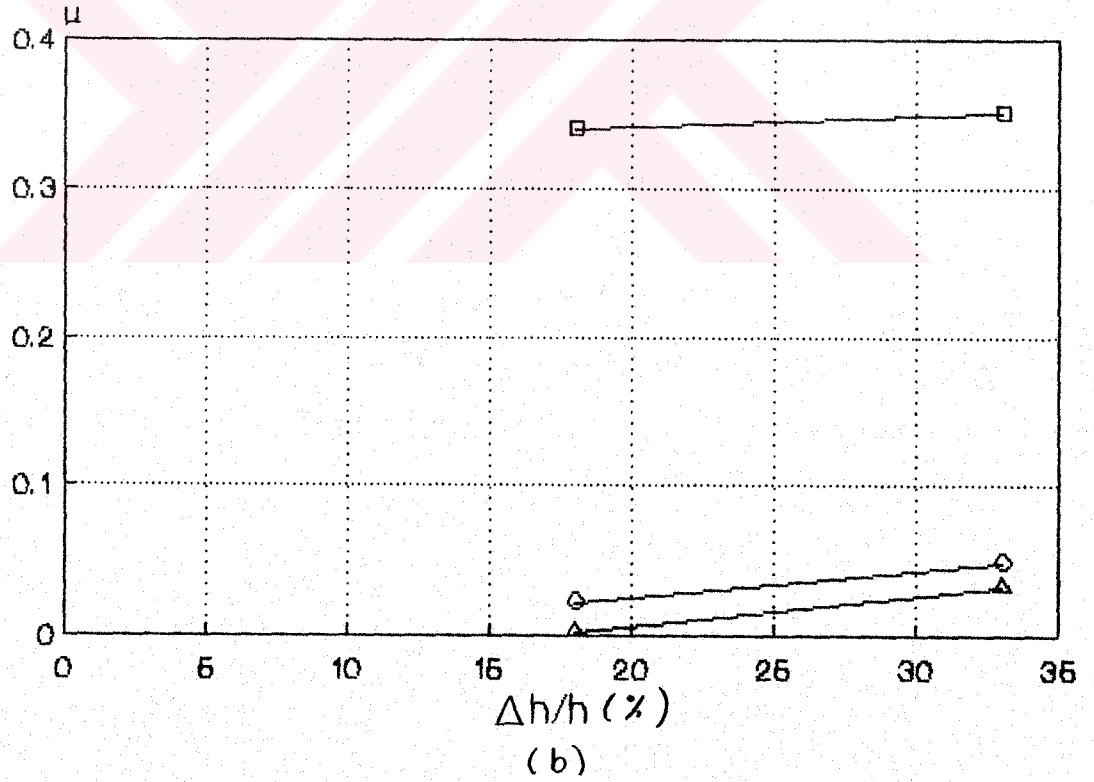
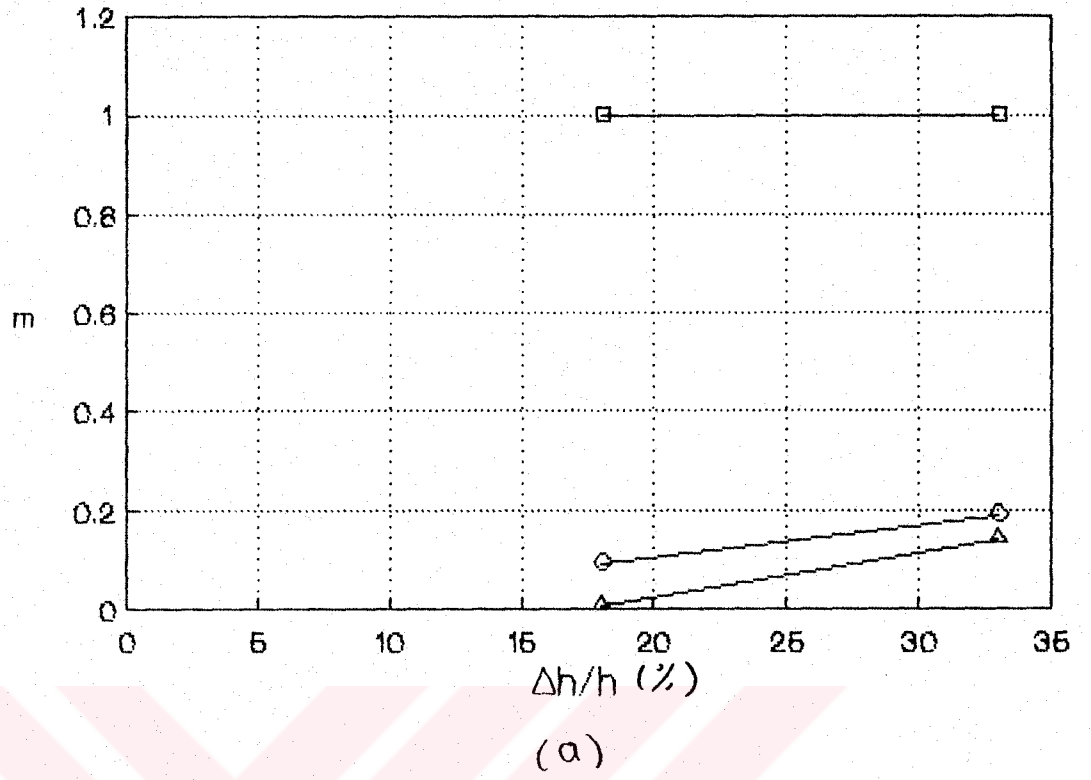
	700 °C		800 °C		900 °C		1000 °C		
	20(18)	40(33)	20(18)	40(33)	20(18)	40(33)	20(18)	40(33)	60(45)
(%)									
Kuru Yüzey	0,28	0,48	0,3	0,4755	0,3375	0,35	0,27	0,3187	0,3318
Metalflo 2180	0,0278	0,046	0,018	0,041	0,0222	0,048	0,065	0,12	0,1
Grafit Yağ	0,0233	0,0353	0,011	0,02	0,0022	0,033	0,042	0,048	0,0587



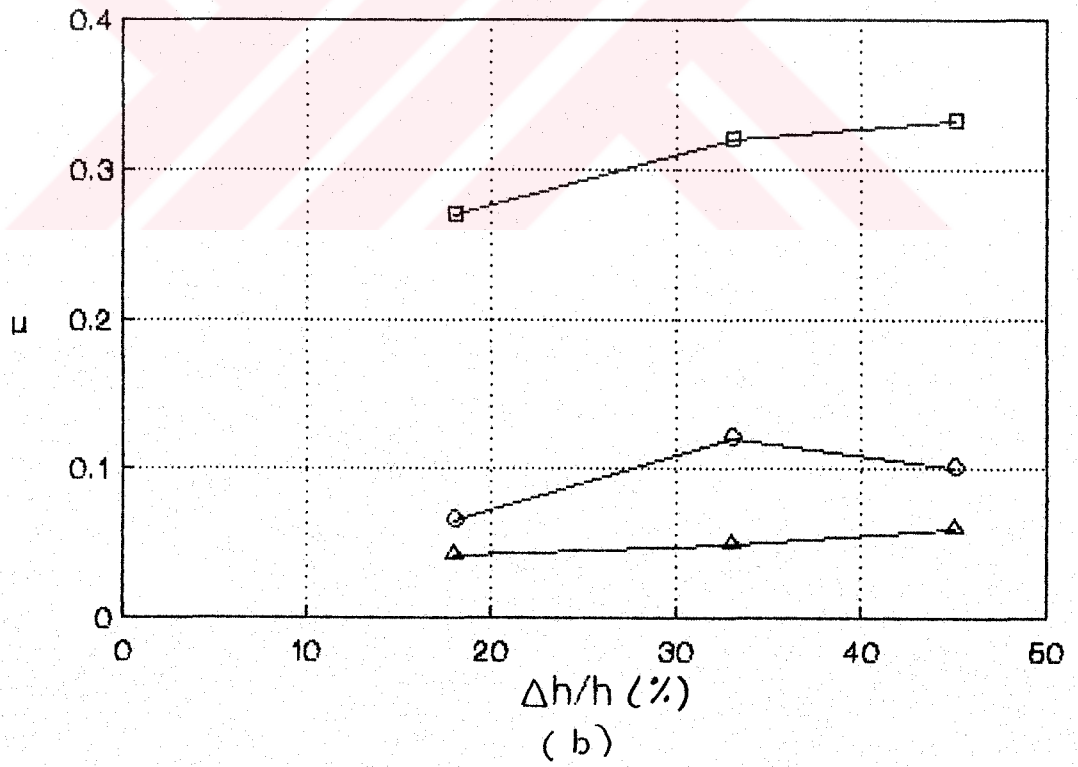
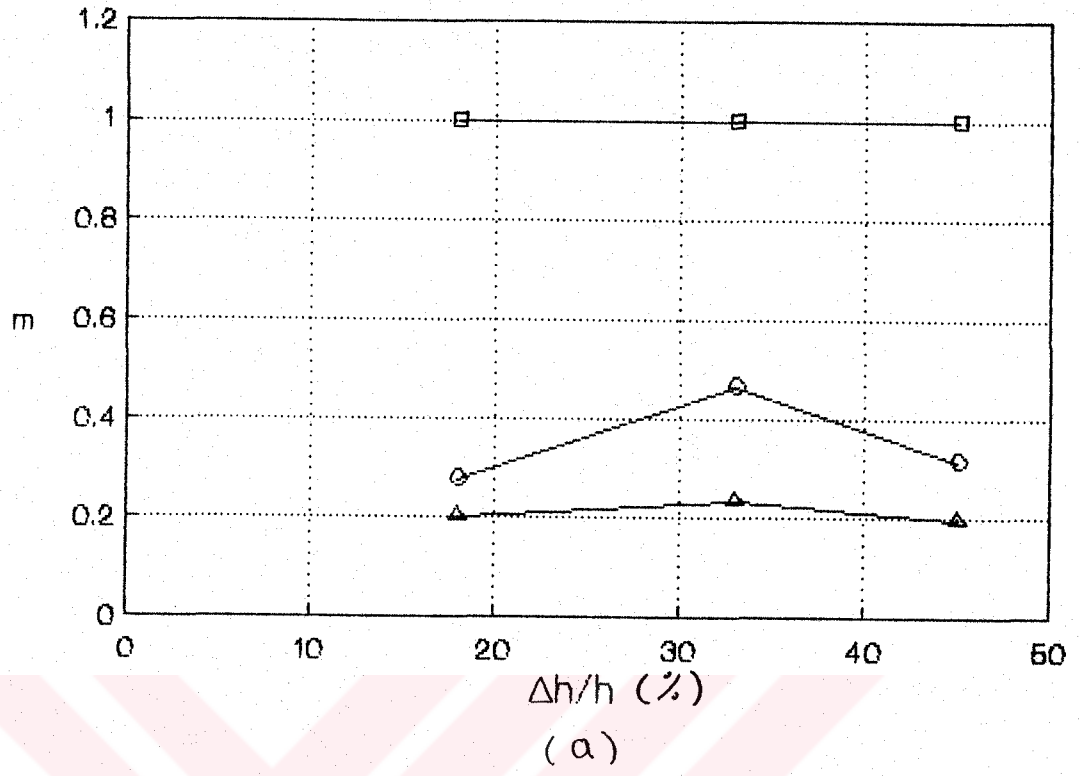
Şekil 4.15. 700°C'de çekimdeki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nın değişimi (□ Kuru, Δ Grafit-Yag, o Metalflo).



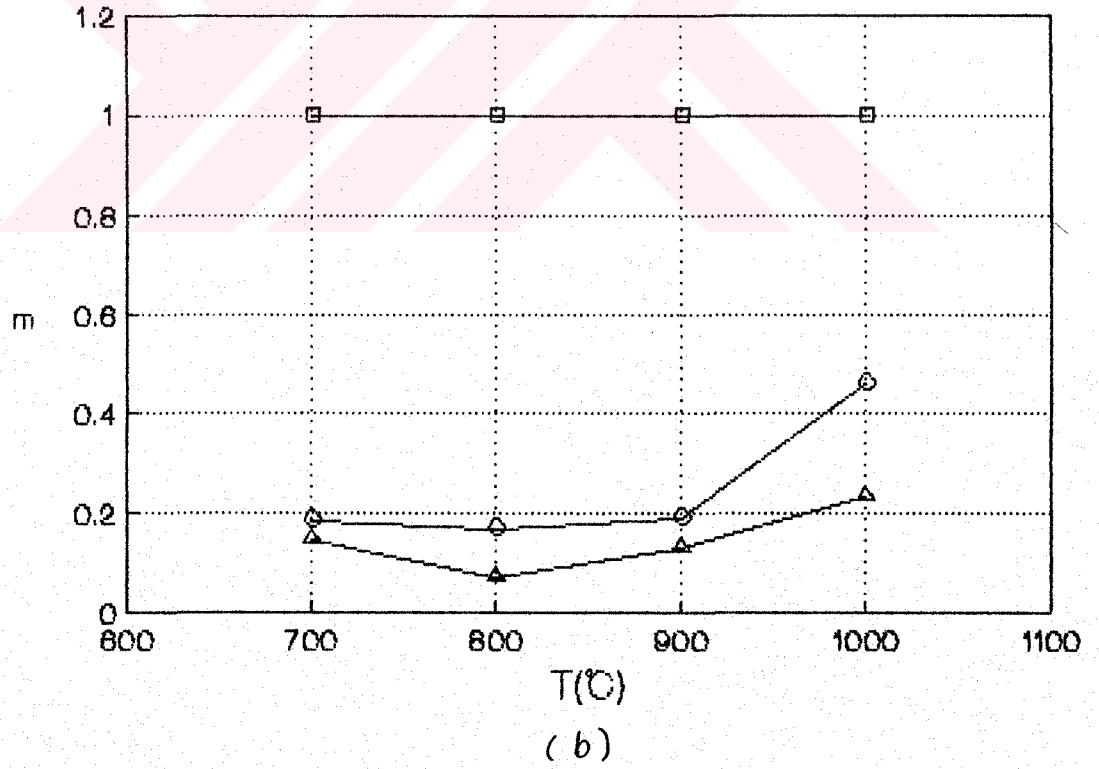
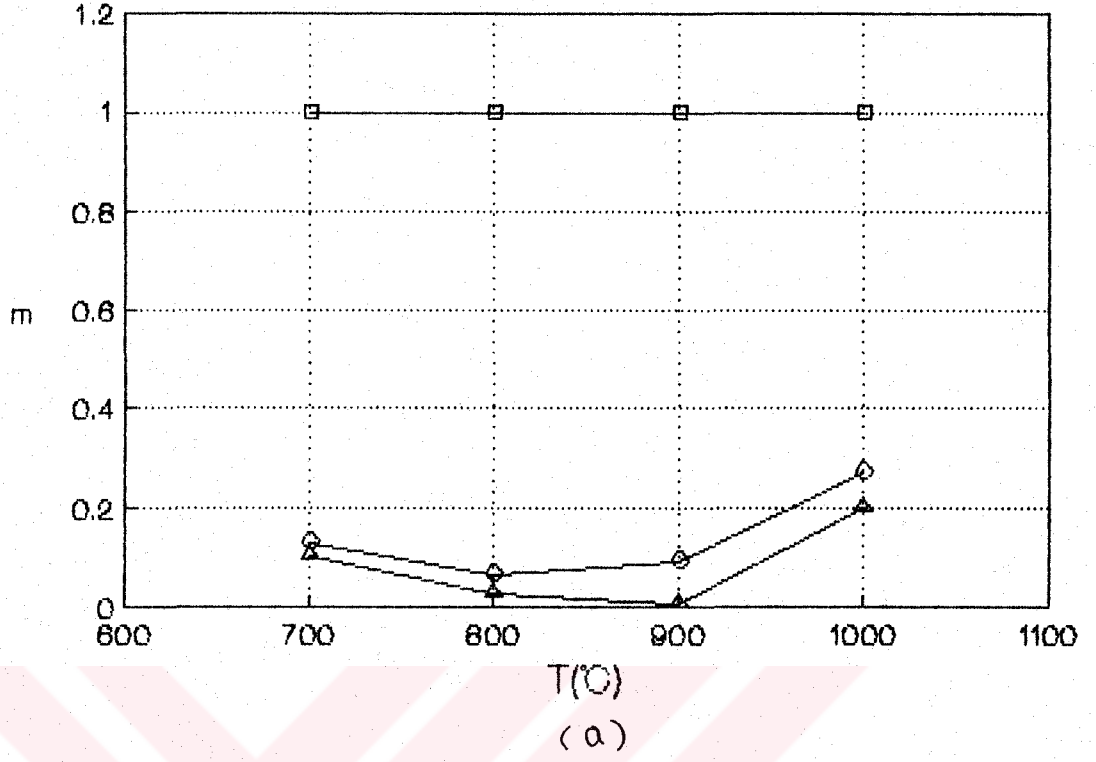
Şekil 4.16. 800°C'de çekileteki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nün değişimi ($\square$ Kuru, $\triangle$ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo).



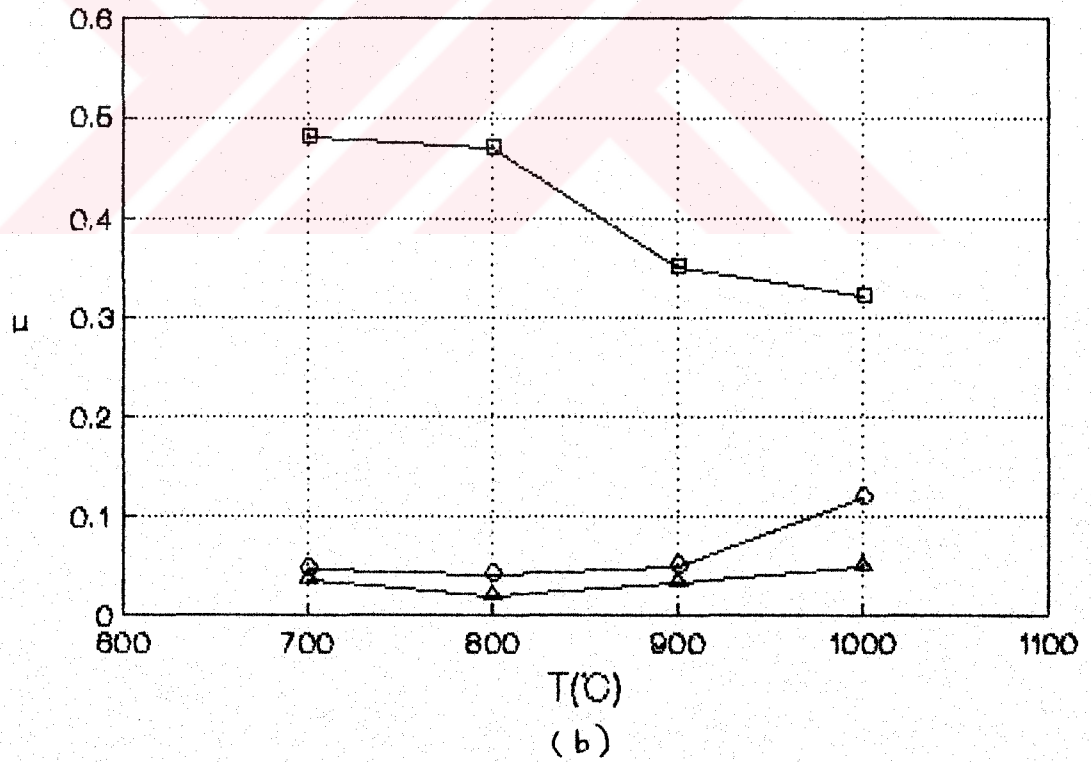
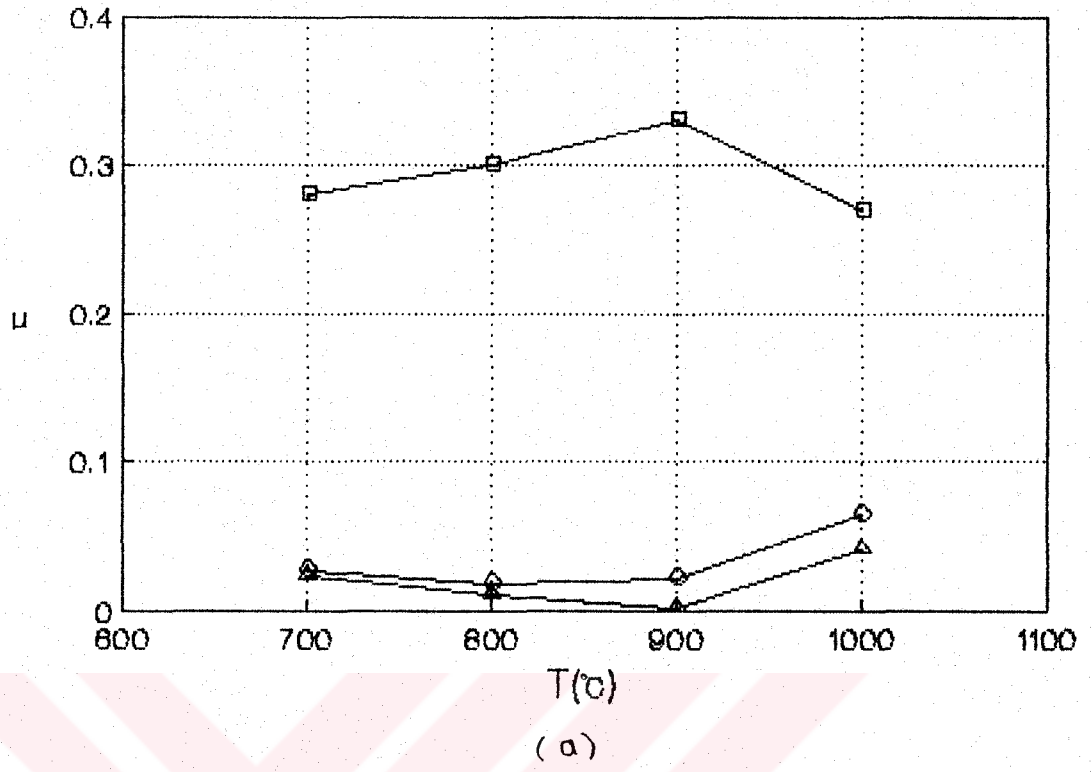
Şekil 4.17. 900°C'de çekimdeki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nün değişimi (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, ○ Metalflo).



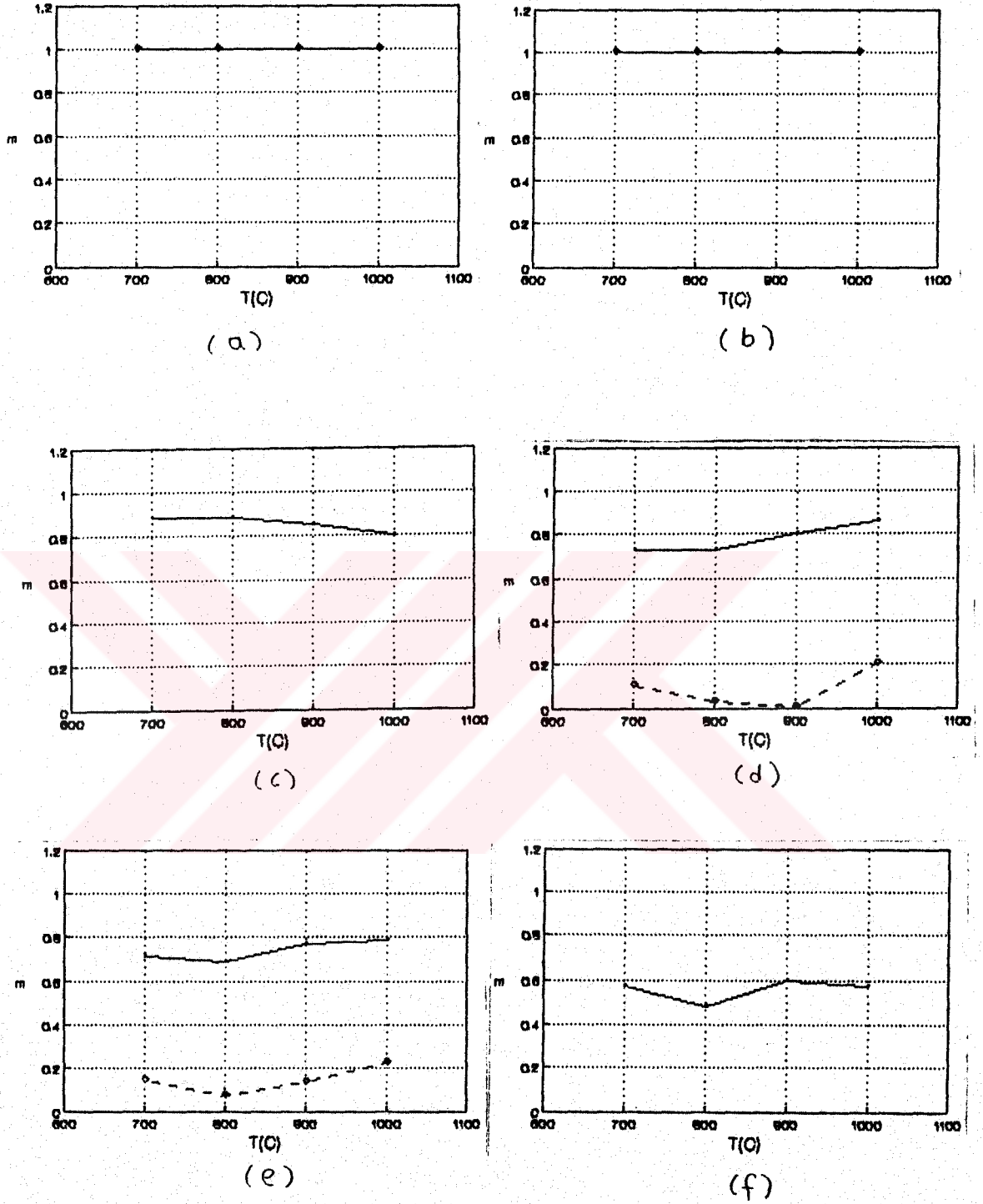
Şekil 4.18. 1000°C'de çekimdeki deformasyon ve yağlama şartlarına göre; (a) m 'in değişimi, (b) μ 'nün değişimi ($\square$ Kuru, $\triangle$ Grafit-Yağ, $\circ$ Metalflo).



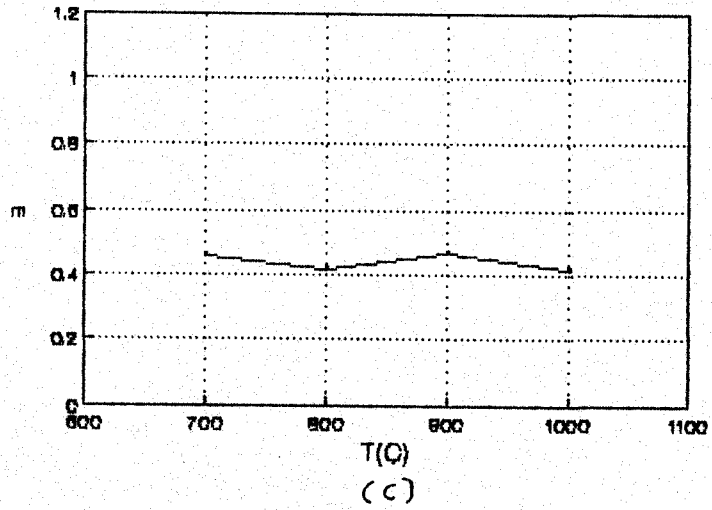
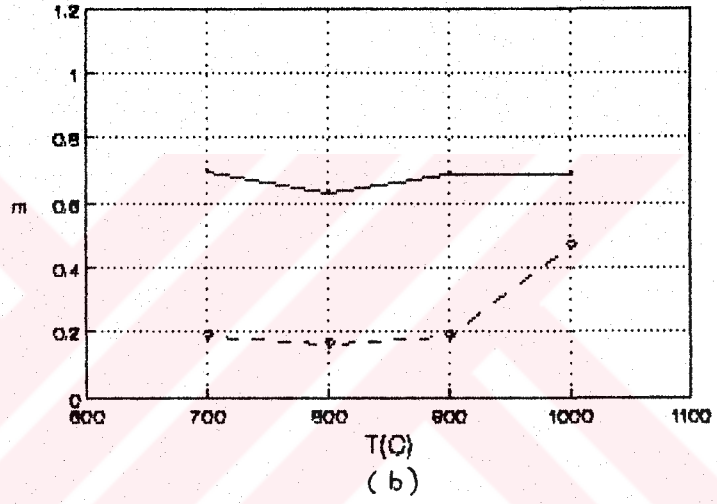
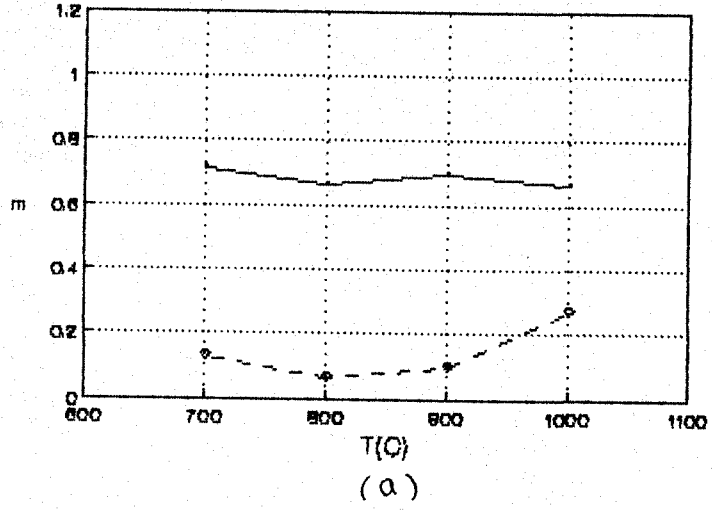
Şekil 4.19. Çekişte elde edilen m değerinin yağlama şartlarına ve deney sıcaklıklarına göre; (a) %20 deformasyon miktarında (b) %40 deformasyon miktarındaki değişimleri (□ Kuru, Δ Grafit-Yağ, ○ Metalflo).



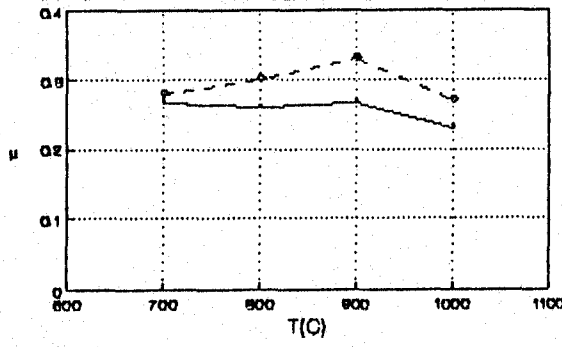
Şekil 4.20. Çekişte elde edilen μ değerinin yağlama şartlarına ve deney sıcaklıklarına göre; (a) %20 deformasyon mikta -
ında (b) %40 deformasyon miktarındaki değişimleri
(□ Kuru, Δ Grafit-Yag, ○ Metalflo).



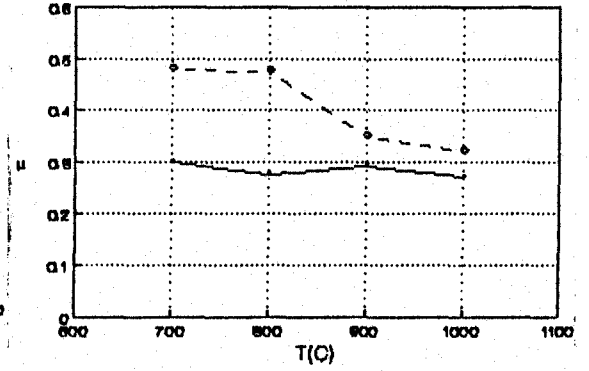
Şekil 4.21. m değerinin deney sıcaklığı ve şekil değiştirme hızlarına göre (a) Kuru yüzeydeki %20 deformasyon miktarında (b) Kuru yüzeydeki %40 deformasyon miktarında, (c) Kuru yüzeyde %60 deformasyon miktarında, (d) Grafit-yag yağlayıcıda %20 deformasyon mik., (e) Grafit-yag yağlayıcıda %40 deformasyon mik. ve (f) Grafit-yag yağlayıcıda %40 deformasyon miktarındaki değişim (— pres, - - Çekic).



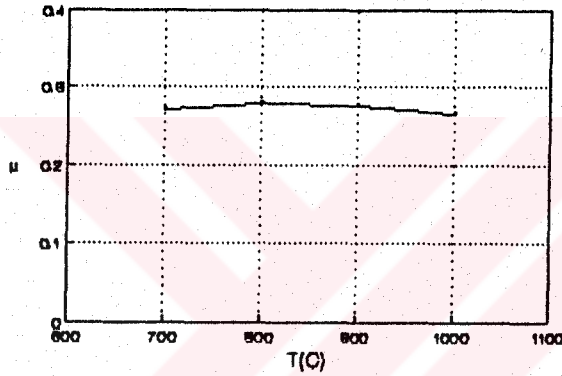
Şekil 4.22. m değerinin deney sıcaklığı ve şekil değiştirme hızlarına göre Metalflo-2180 yağlayıcı konumunda (a) %20 deformasyon miktarında, (b) %40 deformasyon miktarında, (c) %60 deformasyon miktarındaki değişim (— pres, --- Çekiç).



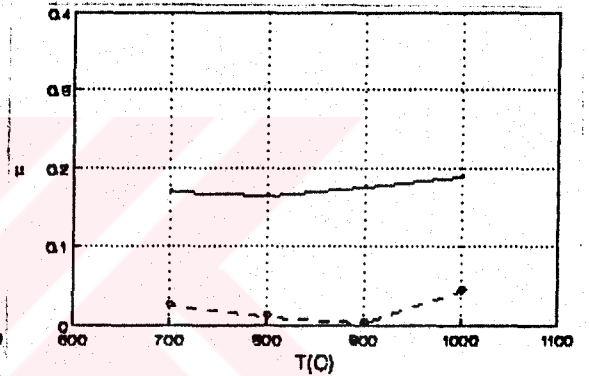
(a)



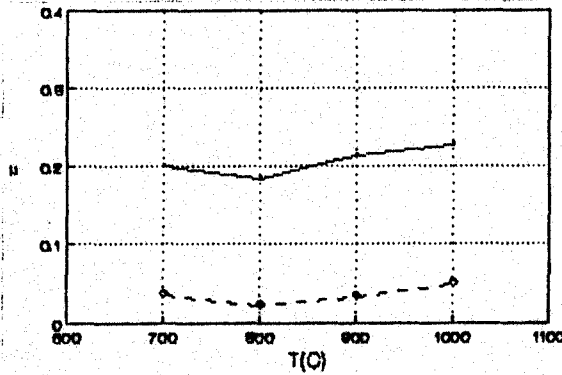
(b)



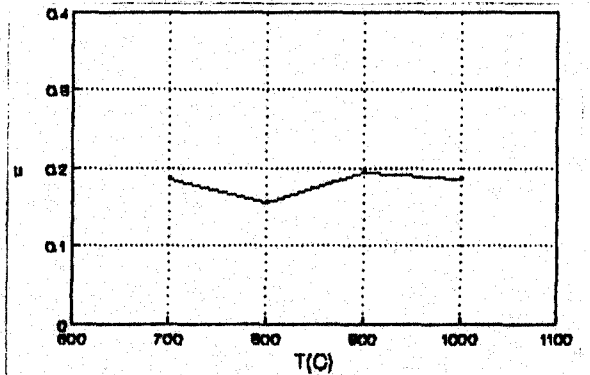
(c)



(d)

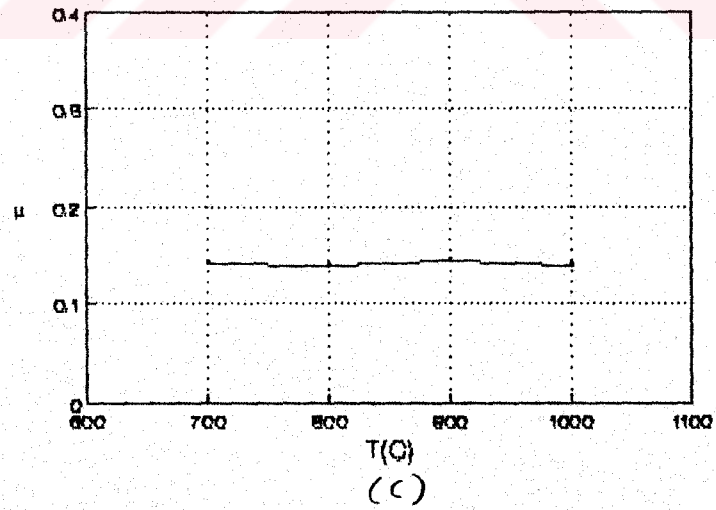
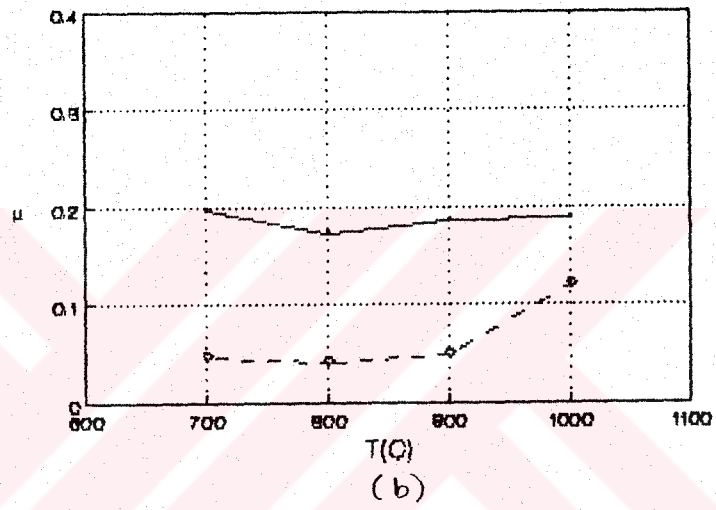
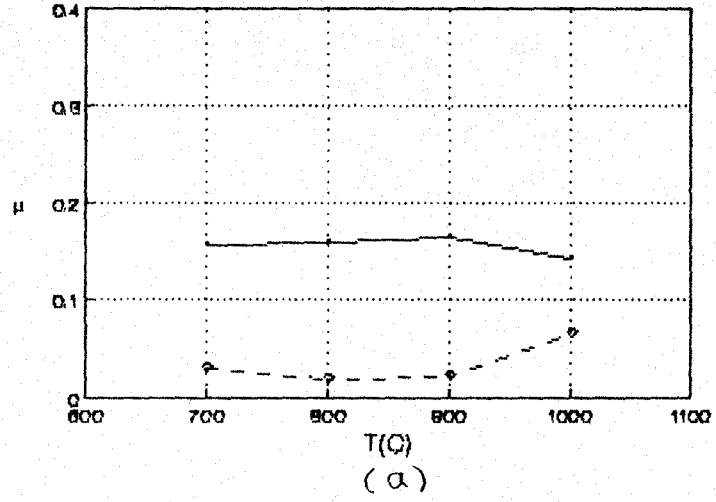


(e)

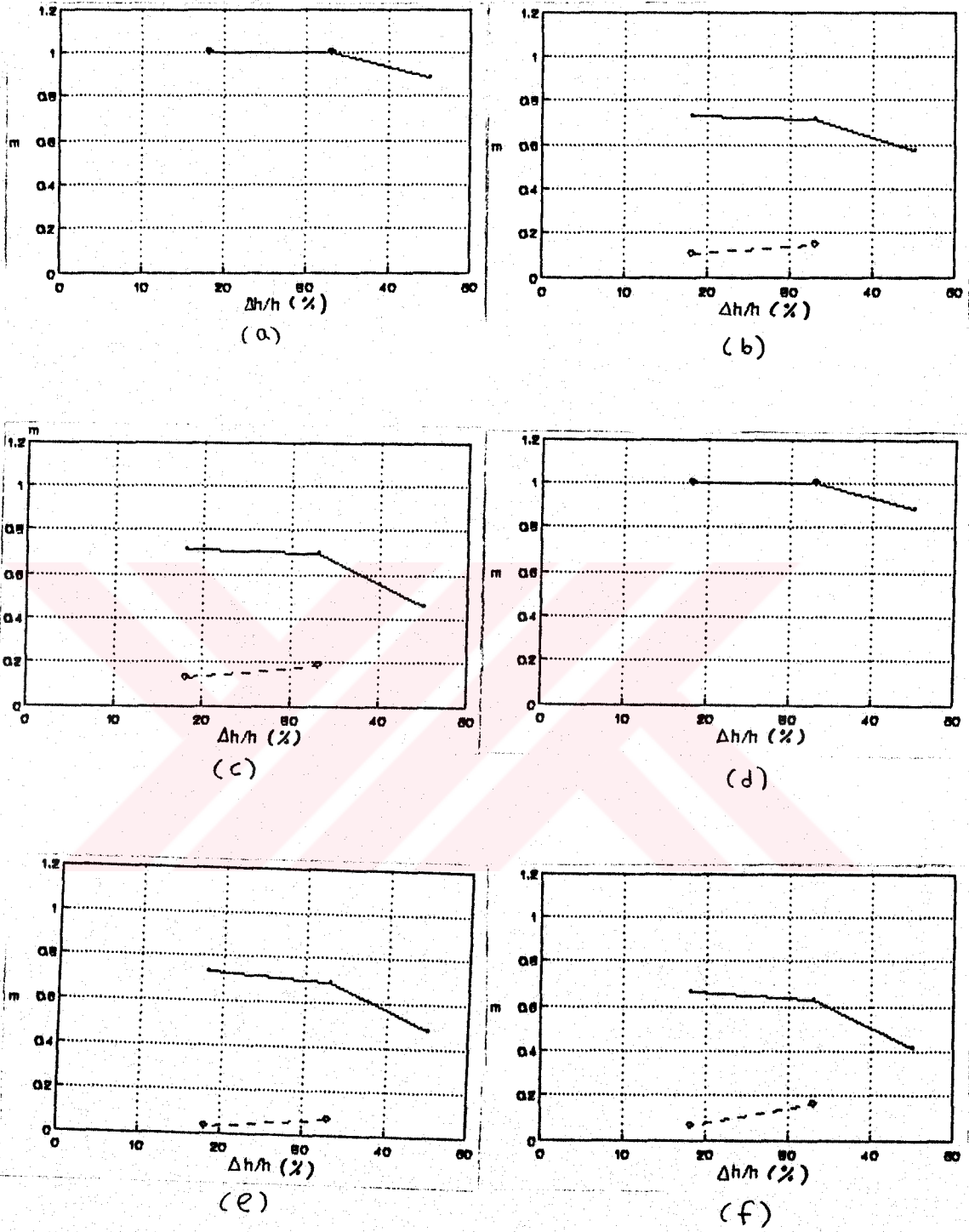


(f)

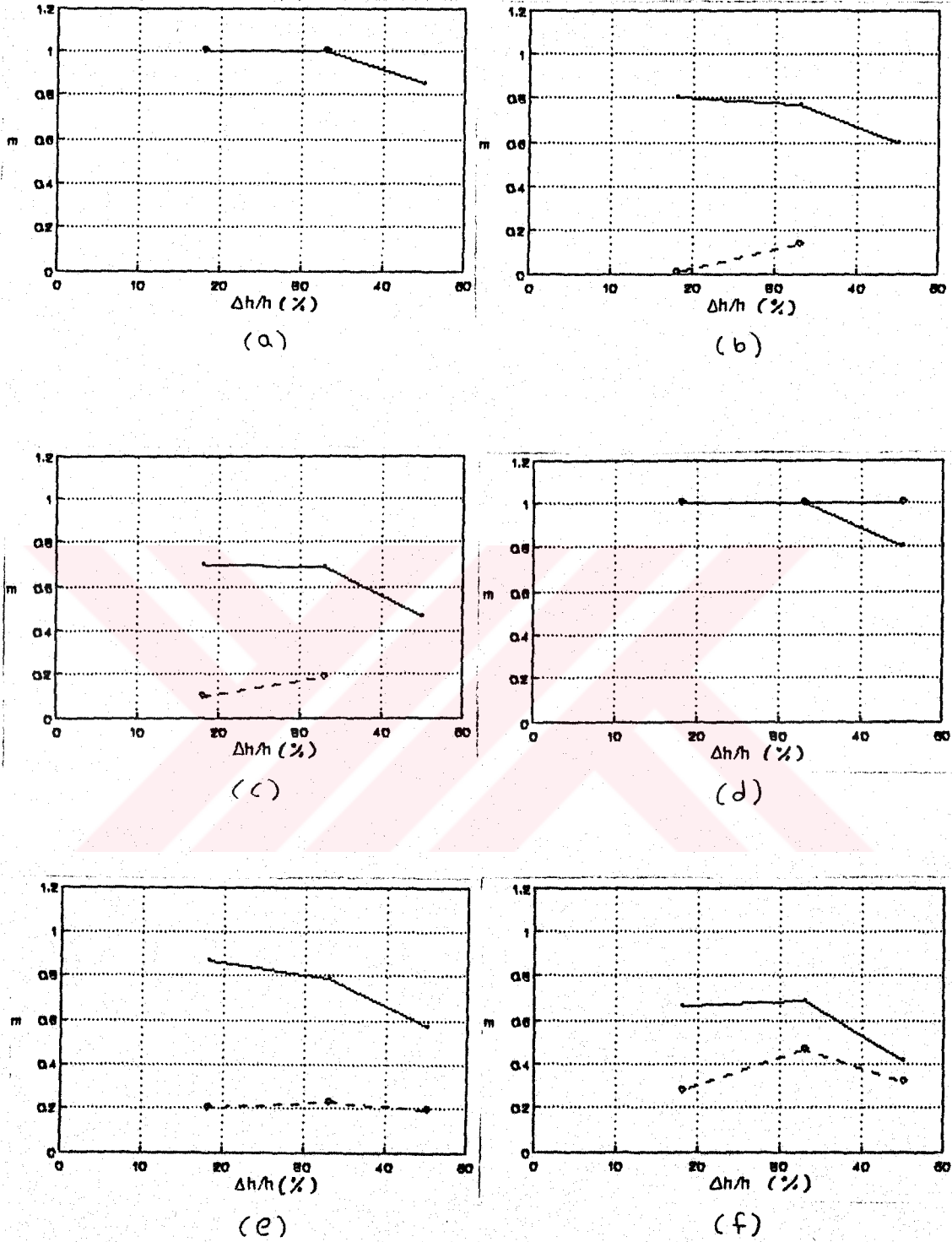
Şekil 4.23. μ değerinin sıcaklık ve şekil değiştirme hızlarına göre (a) Kuru yüzeydeki %20 deformasyon miktarında, (b) Kuru yüzeydeki %40 deformasyon miktarında, (c) Kuru yüzeyde %60 deformasyon miktarında, (d) Grafit-yag yağlayıcıda %20 deformasyon mik., (e) Grafit-yag yağlayıcıda %40 deformasyon mik. ve (f) Grafit-yag yağlayıcıda %40 deformasyon miktarındaki değişim (— pres, --- çekip).



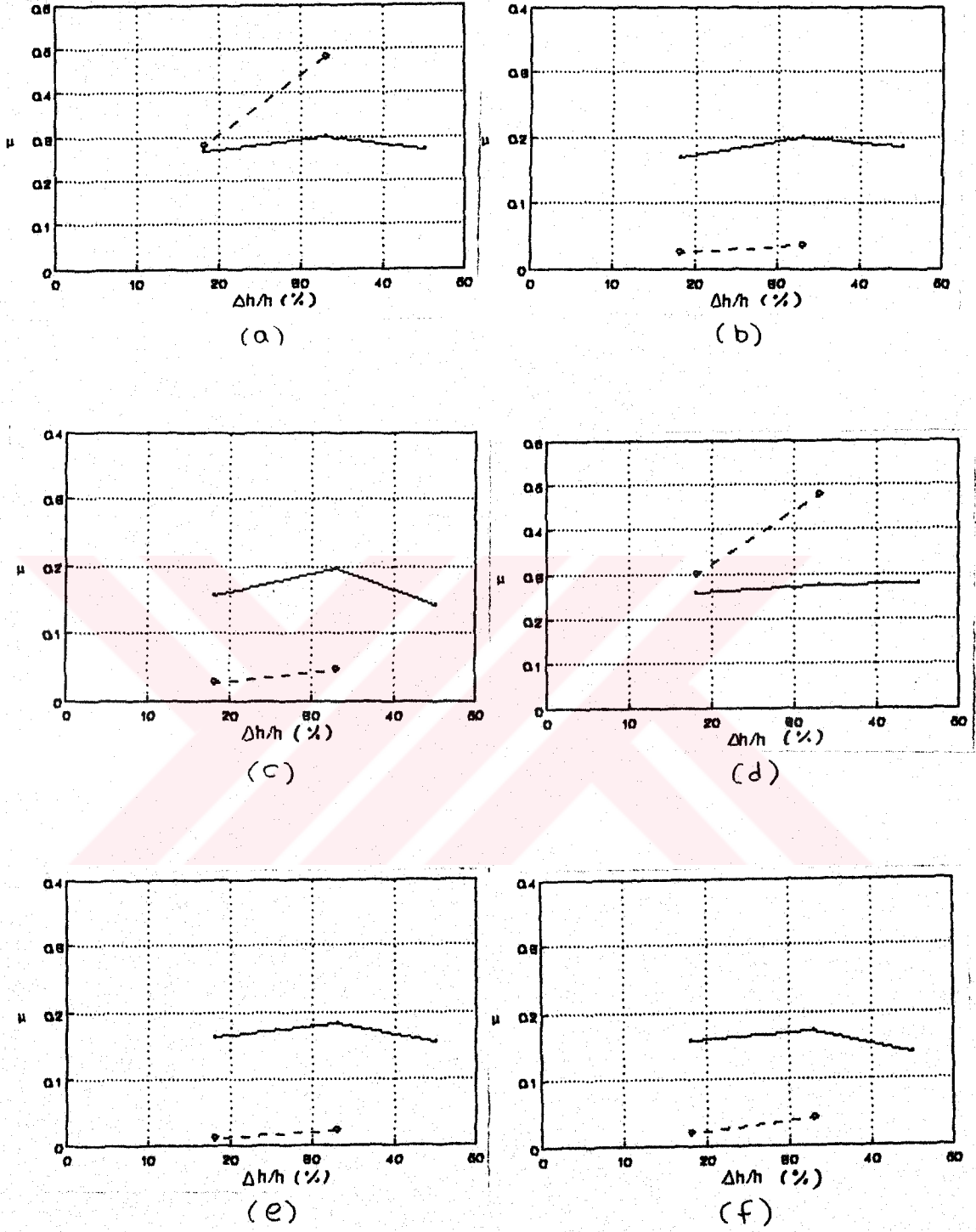
Şekil 4.24. μ değerinin sıcaklık ve şekil değiştirme hızlarına göre Metalflo-2180 yağlayıcı konumunda (a) %20 deformasyon miktarında, (b) %40 deformasyon miktarında, (c) %80 deformasyon miktarındaki değişim (— pres, --- çekic).



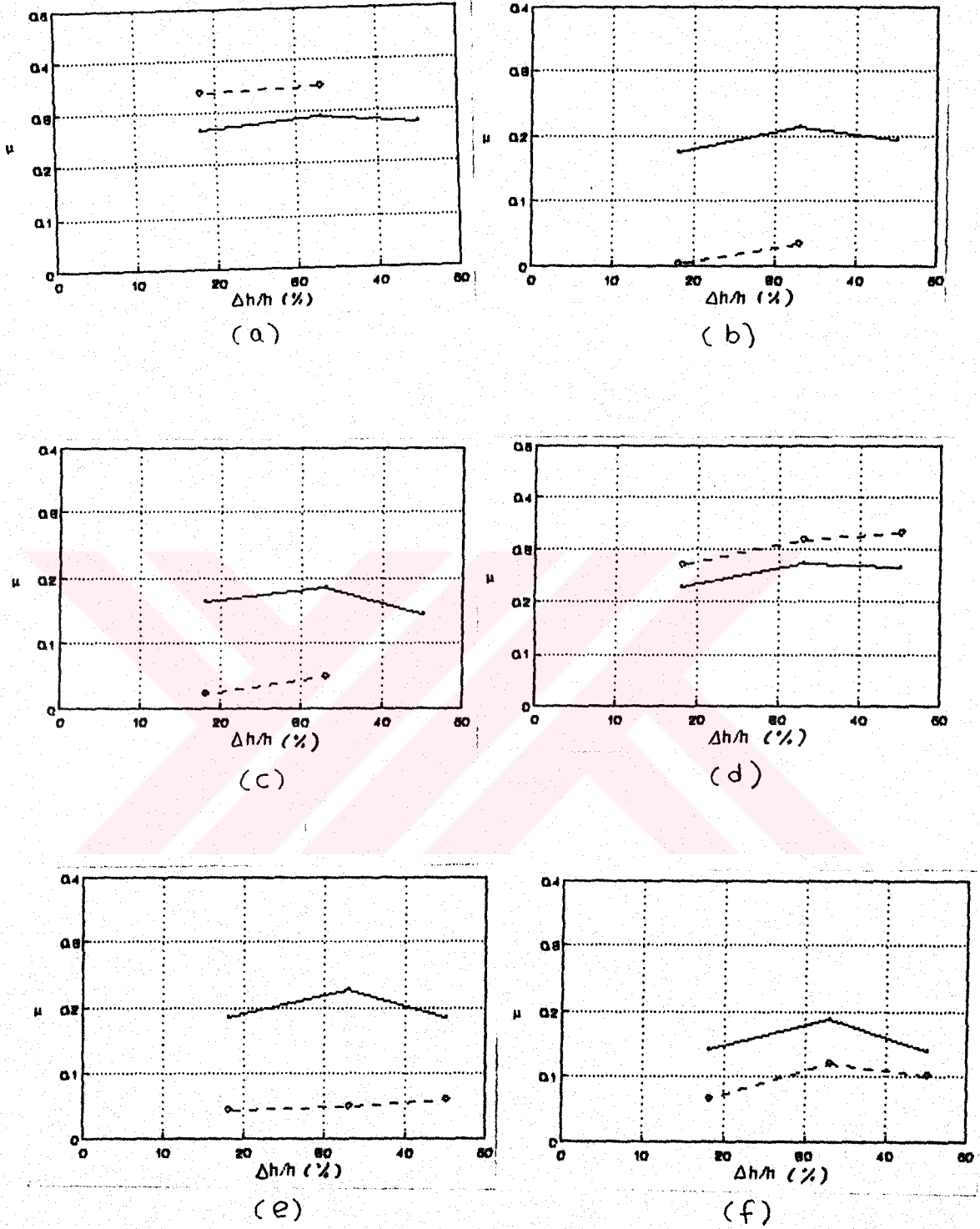
Şekil 4.25. m değerinin deformasyon miktarı ve şekil değiştirme hızlarına göre; (a) 700°C'deki kuru yüzeydeki, (b) 700°C'deki Grafit-yag yağlayıcıdaki, (c) 700°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki, (d) 800°C'deki kuru yüzeydeki, (e) 800°C'deki Grafit-Yag yağlayıcıdaki, (f) 800°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki değişimleri (— pres, --- çekip).



Şekil 4.26. m değerinin deformasyon miktarı ve şekil değiştirme hızlarına göre; (a) 900°C'deki kuru yüzeydeki, (b) 900°C'deki Grafit-Yağ yağlayıcıdaki, (c) 900°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki, (d) 1000°C'deki kuru yüzeydeki, (e) 1000°C'deki Grafit-Yağ yağlayıcıdaki, (f) 1000°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki değişimler (— Pres, --- Çekiç).



Şekil 4.27. μ değerinin deformasyon miktarı ve şekil değiştirme hızlarına göre; (a) 700°C'deki kuru yüzeydeki, (b) 700°C'deki grafit-yag yağlayıcıdaki, (c) 700°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki, (d) 800°C'deki kuru yüzeydeki, (e) 800°C'deki Grafit-Yag yağlayıcıdaki, (f) 800°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki değişimleri (— pres, --- çekip).



Şekil 4.28. μ değerinin deformasyon miktarı ve şekil değiştirme hızlarına göre; (a) 900°C'deki kuru yüzeydeki, (b) 900°C'deki Grafit-Yağ yağlayıcıdaki, (c) 900°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki, (d) 1000°C'deki kuru yüzeydeki, (e) 1000°C'deki Grafit-Yağ yağlayıcıdaki, (f) 1000°C'deki Metalflo-2180 yağlayıcıdaki değişimler (— Pres, --- Çekic).

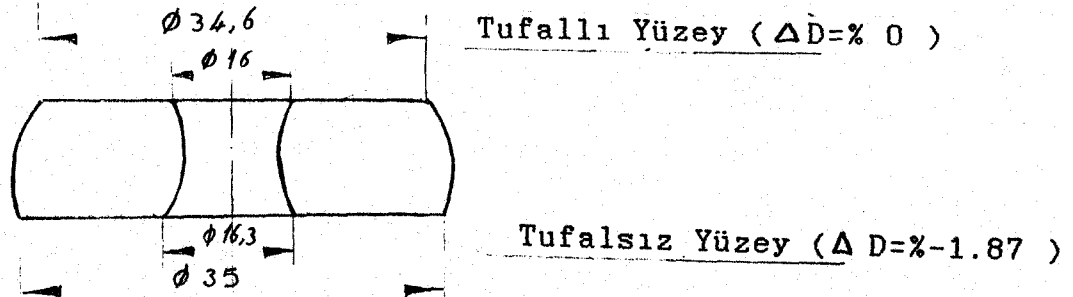
BÖLÜM 5: İRDELEME

5.1 Sabit Sıcaklıkta ve Düşük Şekil Değiştirme Hızında m Değerinin Deformasyon Miktarı ile Değişimi:

Düşük şekil değişimi hızlarının geçerli olduğu hidrolik preste yapılan deneylerde kuru yağlama şartlarının sürtünme faktörü "m" yi en yüksek değerine ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu tüm deney sıcaklıkları için geçerlidir. Deformasyon miktarı arttıkça ulaşılabilicek en yüksek m değeri olan 1'den düşüşler gözlenmektedir (Şekil 4.5a). Yığılan parçanın deformasyon başlaması ile temas eden yüzeyin deformasyon miktarının artmasıyla büyüyeceğinden temas eden yüzeyde yeni yüzeyler meydana gelecektir.

Yağlayıcı kullanılmayan kuru yüzeylerde m kayma faktörünün değeri deformasyon miktarı arttıkça düşmektedir. Yeni yüzeyler oksit tabakasını henüz oluşturmamış olduğundan daha iyi kaydırıcılığa sahip olması beklenmektedir. Oksit tabakasının sürtünme özellikleri üzerine etkisi kalitatif olarak belirlemek amacıyla ilave bir yığma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde halka yığma deney parçasının bir yüzeyi fırın içinde ortamla temas ettirilmiş, diğer yüzeyi ise paslanmaz çelik parça vasıtasıyla mekanik olarak maskelenerek daha az oksitlenmesi sağlanmıştır. Fırından alınan parçanın maske uygulanan yüzeyi kuru yığma deneyi öncesinden zımpara ile de temizlenmeye çalışılmıştır ve hemen sonrasında yığma deneyine tabi tutulmuştur. Bu deney sonrası elde edilen parça kesiti Şekil 5.1'de sematik olarak verilmiştir. Buradan da anlaşılaçağı

gibi tufallı yüzeydeki iç çap değişimi çok daha az olduğundan oksitli (tufallı) yüzeylerin daha yüksek sürtünme dirençleri sağlanabilir. Dolayısıyla oksitlenmemiş yeni yüzeyler daha kolay hareket etme imkanı bulacaklarından sürtünmeye olan direncin artan deformasyon miktarı ile düşmesi beklenmektedir.



Şekil 5.1. Tufal etkisini belirlemede kullanılan deney parçası.

Yağlayıcı uygulanması durumunda sürtünme faktörü değerlerinin öncelikle sıcaklığa bağlı olmaksızın önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Ayrıca tıpkı kuru şartta olduğu gibi deformasyon miktarı arttırıldıkça m değerinde düşme eğilimi gözlenmektedir. Bu eğilim öcelikle oksitlenmemiş yeni yüzey oluşumuna bağlanabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda yağlayıcıların uğradığı değişikliklerde bu sonuçların yorumuna katılmalıdır. Sıvı yağlayıcılar yüksek sıcaklıklarda önce vizkozitelerini hızla yitirmekte, ardından kimyasal olarak yapı bozukluklarına (yanma sonrası katılaşma) gibi etkilere maruz kalmaktadır. Bu olayda sıcak parçanın yağlayıcıya temas süresi de önemli bir etken-dir. Preste yapılan deneylerde malzemenin yığılması, uygulanan en büyük deformasyon için hazırlık aşaması ile birlikte 1-2 saniyeyi bulmaktadır. Dolayısıyla uzun temas ve yüksek yığma sıcaklıkları yağlayıcının yağlama özelliklerini yitirmesinde rol oynamaktadır. Artan deformasyonlar yeni genişlemeye çalışan yüzeyler oluştürecağından, yığılma sırasında ısıdan etkilenmemiş yağlayıcılarla temas edeceğinden sürtünme özelliklerinde deformasyon arttıkça bir iyileşme beklenmelidir. Ancak

bunun hissedilebilmesi için deformasyon yeterli miktarda yeni yüzey oluşturacak mertebede olması gerekmektedir. Bu davranış tüm deney sıcaklıkları için geçerlidir.

Sıcaklığın artması temas halindeki yağlayıcının yağlama özelliklerini yitirmesine neden olduğundan sürtünme faktörü m değerlerinde artış beklenmelidir. Şekil 4.5a da görüldüğü gibi 700 °C'de en düşük deformasyon miktarı için 0.75 mertebesinde olan sürtünme faktörü değeri 1000 °C'de aynı deformasyon değeri için 0,90 mertebelerinde yükselmektedir.

Deneylerde yağlayıcı türünde sıcaklıktan değişik şekillerde etkilendiği ortaya çıkmıştır. Tüm deney sıcaklıklarında sürtünme faktörü m değeri açısından Metalflo-2180(R) yağlayıcı grafit-yağ karışımına oranla daha iyi sürtünme özellikleri göstermektedir.

Ancak bu farklılık özellikle yığma sıcaklığı arttıkça daha belirgin hale gelmektedir. Sıcaklığın yağlayıcı üzerindeki etkisini bir ölçüde belirleyebilmek amacı ile yapılan diğer bir deneyde seramik kaplara konan grafit-yağ karışımı ve Metalflo-2180(R) örnekleri deney sıcaklıklarında fırında konmuş ve 3 sn süreyle bekletilmiştir. Daha sonra dışarı alınan örneklerde, incelemeler sonunda grafit-yağ karışımının yanarak katılaştığını, Metalflo-2180(R)'nin ise yüzeyinde çok ince film halinde katılaştığını ancak bunun altında sıvı durumunu koruduğunu göstermiştir. Bu ise Metalflo-2180(R) sentetik yağlayıcının yüksek sıcaklıklardan etkilenme derecesinin grafit-yağ karışımına göre daha az olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Preste gerçekleştirilen deneylerde gözlenen diğer bir olayda yığma deneyi parçanın alt ve üst kalıba temas eden yüzeylerdeki iç çap değişiminin hemen hemen aynı olduğudur. Diğer bir deyişle deney parçasının alt yığma

kalıbı üzerinde konması ve daha sonra üst kalıbın temas ettirilmesi arasındaki zaman farkı, işlemin yavaş akmasından dolayı, yağlayıcıların özelliklerini değişik boyutlarda yitirmeleri açısından etkili olmamaktadır.

5.2 Sabit Deformasyon Miktarları için ve Düşük şekil Değişimi Hızında m Değerinin Sıcaklıkla Değişimi:

Preste yapılan deneylerde elde edilen veriler, deformasyon miktarı sabit tutularak incelendiğinde Şekil 4.9'da kuru durumda %20 ve %40 gerçek birim şekil değişimleri için m değerinin sıcaklıktan etkilenmediği görülmektedir. Büyük deformasyonlar ise yeni oksitsiz yüzey oluşumunu belirgin hale getirdiği için sürtünme faktörü değeri azalmakta bu azalış sıcaklık yükseldikçe daha belirginleşmektedir. Bu ise yüksek sıcaklıklarda deformasyonun daha kolay gerçekleşmesine bağlanmaktadır.

Yağlayıcı kullanma durumunda Metalflo-2180(R) sentetik yağlayıcının daha iyi kaydırıcı özellik gösterdiği söylenebilir. Bu yağlayıcı ayrıca yığma sıcaklığından pek etkilenmemektedir.

Grafit-yag karışımı ise sıcaklık artışından etkilenmekte, özellikle bu artış küçük deformasyonların söz konusu olduğu şartlarda daha belirgin olmaktadır. Düşük yığma sıcaklıkları ve küçük şekil değişimlerinin söz konusu olduğu durumlarda yağlayıcıların kaydırıcılık özellikleri arasında büyük fark gözlenmemiştir.

5.3. Sabit Sıcaklıklarda ve Düşük Sekil Değistirme Hızında Sürtünme Katsayısı μ Değerinin Deformasyon Miktarıyla Değişimi:

Bilindiği gibi sürtünme şartlarını kantitatif olarak belirlemeye yarayan diğer bir parametrede metal/kalıp ara yüzeyindeki μ sürtünme katsayısıdır.

Beklendiği gibi kuru yüzey şartlarında sürtünme katsayısı tüm sıcaklık ve deformasyon miktarları için en yüksek değerlerini almaktadır (Şekil 2.5b - 4.8b). Yağlama durumunda sürtünme katsayısı önemli oranda azalmakta, Metalflo-2180(R) sentetik yağlayıcısı en düşük sürtünme katsayısını vermektedir. Sıcaklık artışı, yağlayıcıların arasındaki farkı belirginleştirmekte, grafit-yag karışımının sıcaklıktan çok etkilenecek daha yüksek μ değerleri verdiği anlaşılmaktadır.

Tüm deney sıcaklıklarında ve yağlama şartlarında μ katsayısının deformasyon miktarı ile önce hafifce arttığı sonra ise düşme eğilimi gösterdiği gözlenmektedir. Bu artan deformasyonun daha çok kalıp teması gerektirdiği, dolayısı ile özellikle yağlayıcıların sıcaklıktan daha kuvvetli bir şekilde etkilenecek yağlama özelliğini yitirmesine bağlanabilir. Daha büyük boyutlardaki deformasyonlar ise halka deney parçasının kalıplara temas yüzeyini arttırması ve bu yüzeylerin özelliği bozulmamış yağlayıcılarla temas etmesi neticesinde daha düşük μ değerlerinin elde edilmesi neden olmaktadır.

5.4. Sabit Deformasyon Miktarları için Düşük Sekil Değişimi Hızlarında μ Değerinin Sıcaklıkla Değişimi:

Deformasyon miktarları sabit tutulduğunda kuru yüzeylerin μ katsayısında önemli bir değişiklik gözlenmemektedir. Kuru yüzeylerde yüksek sıcaklıklarda μ katsayısında bir azalış eğilimi görülmektedir. Bu oksitsiz yeni yüzeylerin yüksek sıcaklıklarda daha kolay ve daha çok fazla oranda oluşmasıyla açıklanabilir.

Yağlayıcı şartları karşılaştırıldığında sıcaklıkla belirli bir değişimden söz etmek zordur. Ancak Metalflo-2180^(R) sentetik yağlayıcısının sıcaklıkta çok daha az etkilendiği ve her deformasyon miktarı ve yığma sıcaklığında grafit-yag karışımında daha düşük μ katsayısı değerleri verdiği söylenebilir.

5.5. Sabit Sıcaklıkta ve Yüksek Sekil Değiştirme Hızlarında Deformasyon Miktarına Göre m Değerinin Değişimi:

Yüksek şekil değişimi hızlarının geçerli olduğu çekişte yapılan deneylerde, kuru yığma şartlarında sürtünme faktörü " m "'in yüksek değer aldığı gibi bütün yığma sıcaklıkları ve deformasyon miktarı için değişmemektedir.

Yağlayıcı uygulanması durumunda kuru yüzeye nazaran çok düşük m değerleri elde edilmektedir. yağlayıcılar içerisinde, düşük şekil değiştirme hızının tam tersi olarak yüksek şekil değiştirme hızlarında en iyi kayma faktörü " m "'in değerini grafit-yag karışımı yağlayıcı sağlamaktadır. Diğer bir deyimle grafit-yag karışımı yağlayıcı bütün yığma sıcaklıklarında ve deformasyon miktarlarında Metalflo-2180^(R) sentetik esaslı

yağlayıcıya göre daha düşük μ değerleri vermektedir. Yüksek şekil değiştirme hızlarında grafit-yag karışimli yağlayıcıların kullanımının daha avantajlı olduğunu işaret eden bu durum, çekiçteki şekil değiştirme işleminin kısa olması ile açıklanabilir.

Bu durum çekiçte yığılan halka deneyi parçalarının alt ve üst yüzeylerinin farklılıklarından da açıkça anlaşılmaktadır (Şekil 4.8). Deney sırasında çekiğin alt kalıbına yerleştirilen halka yığma deneyi parçası burada yaklaşık 1-2 saniyeyle alt kalıba temas etmektedir. Daha sonra üst kalıbın parçaya vurmasıyla işlem tamamlanmaktadır. Vurma işlemi milisaniyeler mertebesinde olduğundan parçanın üst yüzeyi çekiğin üst kalıbına çok daha kısa süreyle temas etmektedir. Bu temas süresi yağlayıcıların özelliklerini değiştirme açısından önemli rol oynamaktadır. Alt kalıba temas eden yüzey her zaman sıcaklıktan daha fazla etkilenmekte ve bu yüzeye ait iç çap değişimi çok düşük mertebelerde kalmaktadır. Kısa süreli yüksek sıcaklık uygulamaları, grafit-yag karışımının kaydırma özelliğinin azalmasında Metalflo-2180^(R) sentetik yağlayıcısına göre daha az etkilenmiş olmaktadır. Diğer bir deyimle uzun tutma süreleri grafit-yag karışımının sentetik yağlayıcıya göre daha büyük oranlarda kaybetmesine neden olmaktadır.

Çekiğin yığma kapasitesindeki yetersizlik nedeniyle 1000 °C dışındaki sıcaklıklarda %60 oranında sıcak yığma işlemi yapılamamasına karşılık, elde edilen sonuçlar μ değerlerinde artan deformasyon miktarıyla hafif bir artışın dışında önemli bir değişme olmadığını göstermektedir (Şekil 4.15a-18a). Ancak Şekil 4.18a'da %60 deformasyon miktarında da deney yapıldığı için sürtünme faktörünün bir azalma gözlenmiştir.

5.6. Sabit Deformasyon Miktarında ve Yüksek Sekil Değistirme Hızında m Değerinin Sıcaklıkla Değisini:

Çekiçte yapılan deneylerde elde edilen veriler, deformasyon miktarı sabit tutularak incelendiğinde Şekil 4.19a ve b'de görüldüğü gibi kuru durumda hem %20 hemde %40 gerçek birim şekil değışimleri için m değerinin sıcaklıklarla etkilemnediğı gibi maksimum değerde olduğu görölmektedir.

Yağlayıcı kullanılması durumunda görüntü biraz değışmektedir. Özellikle düşük sıcaklıklarda m değerinde önemli bir değışme görölmemekte, ancak 1000 °C mertebelerindeki sıcaklıklarda kaydırma özelliğinde kötüleşme belirmektedir. Bu deformasyon anında yağlayıcının parça sıcaklığından etkilenmesiyle açıklanabilir. Bu artışın %40 deformasyonda daha da belirginleşmesi ise büyük deformasyonun gerçekleştirilmesinin daha fazla zaman alması ile açıklanabilir.

Bu veriler aynı zamanda, yüksek hızlardaki şekil değışimi yöntemlerinde kullanılacak grafit-yağ karışımı ve Metalflo-2180^(R) sentetik yağlayıcısının 800 - 900 °C aralığında en iyi kaydırıcılık özelliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca grafit-yağ karışımı bu şartlarda sentetik yağlayıcıdan daha düşük sürtünme faktörü değerleri vermektedir.

5.7. Sabit Sıcaklıklarda, Yüksek Sekil Değisimi Hızlarında Sürtünme Katsayısı u Değerlerin Deformasyon Miktarıyla Değisini:

Şekil 4.15b'den Şekil 4.18b'ye kadar her deney sıcaklığında elde edilen deformasyon miktarına bağılı olarak yüzey sürtünme katsayısının değışimleri

verilmiştir. Kuru yüzey durumunda yüzey sürtünme katsayısı en büyük değerini almakta ve özellikle düşük deney sıcaklıklarında deformasyon miktarı ile beraber artma eğilimi göstermektedir. Daha yüksek sıcaklık seveyelerinde bu eğilim azalmakta, sürtünme katsayısının deformasyon miktarında daha az etkilenir olduğu gözlenmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda [10] da dikkati çeken bir nükte olup metal yüzeyinden parçacıkların ve çok ince oksit filminin ayrılması ile izah edilebilir.

Yağlayıcı uygulanması durumunda sürtünme katsayısı değerleri çok alt düzeylere inmekte, kaydırıcılık konusunda grafit-yağ karışımı sentetik yağlayıcıya oranla daha düşük μ değerleri vermektedir. Aralarındaki fark sıcaklık arttıkça daha belirginleşmektedir. Deformasyon miktarı ise sürtünme katsayısının az miktarda artmasına neden olmaktadır.

5.8. Sabit Deformasyon Miktarında ve Yüksek Sekil Değiştirme Hızında μ Değerinin Sıcaklıkla Değişimi:

Deformasyon miktarı sabit tutulduğunda, kuru yüzeylerde sürtünme katsayısı düşük deformasyonda değişen değerler almaktadır. Ancak yüksek deformasyonda yığma sıcaklığının artmasıyla birlikte μ katsayısının değerinde bir azalma görülmektedir. Bu azalmaya en önemli etken meydana gelen tufalsız yeni yüzeyler daha iyi kaydırıcılığa sahip olmasıdır.

Yağlama şartlarında grafit-yağ karışımının sentetik yağlayıcıya göre daha düşük μ değerleri verdiği ve bu değerlerin 900 °C'ye kadar önemli bir değişme göstermediği söylenebilir. Ancak 1000 °C mertebelerindeki sıcaklıklarda yağlayıcı özelliklerin bozulma teh-

likesinden dolayı kaydırıcı özellik, her iki yağlayıcı için de kötüye gitmekte olup bu durum sentedik yağlayıcı daha fazla etkilenmektedir (Şekil 4.20a ve b).

5.9. Sabit Deformasyon Miktarında ve Yağlama Şartlarında μ Değerinin Değişen Sıcaklıklarda Yüksek ve Düşük Şekil Değiştirme Hızlarındaki Değişimi:

Sabit deformasyon miktarlarında ve kuru yüzeylerde değişen sıcaklıklarda hem düşük şekil değiştirme hızında ve hemde yüksek şekil değiştirme hızında μ sürtünme faktörü sabit kalmakla birlikte aynı değerde olmaktadır. Ancak yüksek deformasyon miktarlarında sıcaklığın artmasıyla birlikte düşük şekil değiştirme hızında bir düşüş görülmektedir. Buda yüksek sıcaklıklarda meydana gelen tufalsız yeni yüzeylerden dolayıdır.

Yağlayıcı şartlarında yüksek şekil değiştirme hızında elde edilen μ değerleri düşük şekil değiştirme hızındaki μ değerinden çok düşük değere sahip olmaktadır. Buna neden olarak yüksek şekil değiştirme hızlarında şekil değiştirme süresi kısa olduğundan sıcaklıkla temasının az olması yağlayıcının özelliğinde fazla bir bozulma olmaması gösterilebilir (Şekil 4.21 - Şekil 4.22).

5.10. Sabit Deformasyon Miktarında ve Yağlama Şartlarındaki μ Değerinin Sıcaklıklarda Yüksek ve Düşük Şekil Değiştirme Hızlarındaki Değişim:

Şekil 4.23'de görüldüğü gibi sabit deformasyonda kuru ortamda sürtünme katsayısı değişen sıcaklıklarda yüksek şekil değiştirme hızına nazaran düşük şekil değiştirme hızlarında daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Yağlayıcı ortamlarda kuru yüzey ortamında görülen olayın tam tersi meydana gelmektedir. Diğer bir deyimle yüksek şekil değiştirme hızında elde edilen μ değeri düşük şekil değiştirme hızındaki μ değerinden düşüktür. Bu olayda yüksek şekil değiştirme hızlarında şekil değiştirme süresi kısa olmasından dolayı açıklanabilir.

5.11. Sabit Sıcaklıkta ve Yağlayıcı Şartlarında μ Değerinin Deformasyon Miktarına Göre Yüksek ve Düşük Şekil Değiştirme Hızlarındaki Değişimi:

Sıcaklığın sabit tutulduğu konumlarda kuru yüzeylerde ve düşük şekil değiştirme hızlarında sürtünme faktörü maksimum değeri aldığı gibi sabit kalmaktadır. Ancak yüksek deformasyonda düşük şekil değiştirme hızında sürtünme faktörünün değerinde bir düşüş görülmektedir. Bu düşüş yüksek deformasyonlarda meydana gelen tufalsız yeni yüzeylerden dolayı oluşmaktadır.

Bütün yağma sıcaklıklarında yağlayıcı şartlarında sürtünme faktörü yüksek şekil değiştirme hızlarında daha düşük değerlere sahip olmaktadır. Bu olay yüksek şekil değiştirme hızlarında şekil değişimi süresi kısa olması nedeniyle yağlayıcı özelliklerini daha az kaybetmesi sonucu ile açıklanabilir. Diğer taraftan düşük şekil değiştirme hızlarında μ değeri artan deformasyona göre azalma göstermesine karşılık değer hızla artma görülmektedir. Bunun sebebi düşük şekil değiştirme hızlarında meydana gelen yeni yüzeyler kaydırıcı özelliğini tam gösterebilme zamanını ve imkanını gösterebilmektedir.

5.12. Sabit Sıcaklıkta ve Yağlayıcı Sartlarındaki μ Değerinin Deformasyon Miktarında Yüksek ve Düşük Şekil Değiştirme Hızlarındaki Değişimi:

Sıcaklığın sabit tutulduğu kuru yüzeylerde yüksek şekil değiştirme hızlarında elde edilen sürtünme katsayısı düşük şekil değiştirme hızında elde edilene göre büyük olduğu görülmektedir.

Yağlayıcı konumlarda ise yüksek şekil değiştirme hızlarında elde edile μ değeri değer hız değerlerindeki μ değerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu yüksek şekil değiştirme hızlarında şekil değiştirme süresi düşük olması ile açıklanabilir. Bu konum bütün yağma sıcaklıklarındaki yağlayıcı konumlar için aynı olmaktadır. Buna göre aynı koşullar altında yüksek şekil değiştirme hızı sürtünme katsayısı bakımından tercih edilen bir şekil değiştirme hızı olduğunu göstermektedir (Şekil 4.27 - 4.28).

BOLUM 6: GENEL SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

6.1 Genel Sonuçlar:

Çeliğin sıcak dövülmesinde en önemli iki faktörlerden biri iş parçasının soğuması, diğeri de kalıp- iş parçası arasındaki sürtünmedir. Bu çalışmada belirli sıcaklıklar altında değişik yağlayıcı konumlarda ve değişik şekil değiştirme hızlarında belirli deformasyon miktarlarında sürtünme faktörü ve sürtünme katsayısı incelenmiştir.

Çalışmayı, düşük şekil değiştirme hızı, yüksek şekil değiştirme hızı ve iki şekil değiştirme hızının mukayesesi gibi üç ana grup altında dikkate alarak "m" kayma faktörü ve " μ " sürtünme katsayısını incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde şu genel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kuru yüzeyde meydana gelen sürtünme faktörü "m" ve sürtünme katsayısı " μ " değerleri yağlama şartlarındaki değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Düşük şekil değiştirme hızlarındaki m ve μ değeri Metalflo-2180(R) yağlayıcıda grafit-yag karışımı yağlayıcısına karşı düşük değer almaktadır.
- Yüksek şekil değiştirme hızlarındaki m ve μ değerleri grafit-yag karışımı yağlayıcısında değer yağlayıcıya göre düşük değerler almaktadır.

- Sabit sıcaklıklarda ve düşük şekil değiştirme hızlarında sürtünme faktörü deformasyon miktarının artmasıyla, üç yağlayıcı şartlarında da azaldığı görülmüştür.
- Düşük şekil değiştirme hızlarında sürtünme faktörü ve katsayısının sıcaklıkla fazla bir değişim göstermemektedir.
- Yüksek şekil değiştirme hızlarında μ ve m değeri yağlayıcı şartlarda küçük değerler aldığı gibi çok az değişim göstermektedir.
- Sürtünme katsayısı yüksek şekil değiştirme hızlarında ve kuru yüzeylerde deformasyon miktarı ile birlikte artmaktadır.
- Yüksek şekil değiştirme hızlarında elde edilen μ ve m değerleri düşük şekil değiştirme hızındaki değerlerden düşük olmaktadır.

6.2 İleri Çalışmalar için Önerileri:

Bu çalışma sıcak dövme sanayiinde çok kullanılan 1040 çeliği üzerinde çalışmıştır. Bunun haricinde yapılacak çalışmalarda diğer çelik türleri, bakır, alüminyum v.b. gibi malzemeler üzerinde çalışarak sürtünme katsayısı ve kayma faktörü incelenebilir.

Deney sıcaklıkları olarak, bu malzemede 700, 800, 900 ve 1000 °C sıcaklıklarda sürtünme katsayısı ve kayma faktörü'nün %20, %40 ve %60 deformasyon miktarlarında incelenmiştir. Bu sıcaklıkların dışındaki sıcaklıklarda ve deformasyon miktarlarındaki değerlerinde çalışma yapılabilir. Fakat bu sıcaklık ve deformasyon miktarı değerlerini tesbit ederken dövme sanayiinde kullanılan

değerler veya yakın değerlerde yapılması daha faydalı olabilir.

Deneyde kullanılan pres veya çekiç (şahmerdan) kalıpları oda sıcaklığında tutulmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda kalıp sıcaklıkları sıcak dövme sanayiinde kullanılan kalıp sıcaklıklarda bu deneyler yapılarak sürtünme katsayısı incelenebilir. Bu çalışmada iki şekil değiştirme hızı dikkate alınmıştır ve hızların avantajları ve dezavantajları mukayeseli olarak sürtünme açısından incelenmiştir. Değişik şekil değiştirme hızlarında bu deneyler tekrar edilebilir ve o deneyde elde edilen değerlerle bu deneyde elde edilen değerler mukayese edilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] ÇAPAN, L., Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, (1990).
- [2] KOBAYASHI, S., Deformation Characteristics and Ductile Fracture of 1040 Steel in Simple Upsetting of Solid Cylinders and Ring, J. of Eng. for Industry, May, Vol.92, pp 391-399, (1970).
- [3] ALTAN, T., BOULGER, F.W., Flow Stress of Metals and Its Application in Metal Forming Analyses, J. of Eng. for Industry, November, Vol. 95, pp 1009-1019, (1973).
- [4] ÇAPAN, L., Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulama, Kurtuluş Matbası, İstanbul, (1977).
- [5] DEMİRKOL, M., Dövme Teknolojisi Dersnotları, İstanbul, (1990).
- [6] LANGE, K., Handbook of Metals Forming, McGraw-Hill Book Company, (1975).
- [7] SCHEY, J.A., Tribology in Metalworking, American Society For Metals, (1983).
- [8] LEE, C.H., ALTAN, T., Influence of Flow Stress and Friction Upon Metal Flow in Upset Forging of Ring and Cylinders, J. of Eng. for Industry, August, Vol.94, pp 775-782, (1972).
- [9] ALTAN, T., OH, S., GEGEL, H.L., Metal Forming, American Society For Metals, (1983).
- [10] MALE, A.T., COCKCROFT, M.G., A Method for the Determination of the Coefficient of Friction of Metals Under Conditions of Bulk Plastic Deformation, J. of the Institute of Metals, Vol.93, pp 38-48, (1984).

- [11] MALE, A.T., DEPIERRE, V., The Validity of Mathematical Solutions for Determining Friction From the Ring Compression Test, J. of Lubrication Technology, July, Vol.92, pp 389-397, (1970).
 - [12] TEKİN, E., Mühendisler için Çelik Seçimi, Makina Mühendisleri Odası Yayını, (1988).
 - [13] DOUGLAS, J.R., ALTAN, T., Flow Stress Determination for Metals at Forging Rates and Temperatures, Transactions of the ASME, Vol.97, pp 66-76, (1975).
- 

ÖZGEÇMİŞ

Şaban ÖZMEL 1967 yılında Aksaray'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Aksaray'da tamamlayarak 1984 yılında Aksaray Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. Yine 1984 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü'nden 1988 yılın'da birincilikle mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı Konstrüksiyon ve İmalat Programında yüksek lisans öğrenimi yapmaya hak kazandı. Halen yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

10.6.1991