

HASSAS DÖVME KALIPLARININ TASARIMINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ TÜMLEŞİK KARAR SİSTEMİ

Necip Fazıl Yılmaz¹, Ömer Eyercioğlu²

¹ Gaziantep Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü-GAZİANTEP
nfyilmaz@gantep.edu.tr

² Gaziantep Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü- GAZİANTEP
eyercioğlu@gantep.edu.tr

Özet

Firmaların, piyasada rekabet edebilir hale gelebilmesi için faaliyet alanına ilişkin olarak imalat stratejisinin belirlenmesi önemli bir karar modelini oluşturmaktadır. Var olan modellerin rekabetçi ortamda kullanılmasının yeterli olup olmadığı ya da uygulamada karşılaşılan sorunlar halen tartışılmakta olan bir konudur. İşletmeler ileriye yönelik kararlar alırken genelde o ana kadar elde edilmiş tecrübeler ışığında kararlar almaktadır. İşte bu amaçla karar destek sistemlerinin kullanılması zorunluluk haline gelmektedir. Hassas dövmeçilikte kalıp tasarımı, bu alanda faaliyet gösteren tecrübeli insanların geçmiş deneyimlerinden çıkartılan bilgi ve kurallara dayanması nedeniyle, bilgisayar destekli tümleşik karar destek sistemlerinin etkin bir şekilde kullanıldığı bir alan olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, hassas dövme kalıplarının tasarımında kalıbın geometrik parametrelerinin belirlenmesi, boyutsal tolerans ve hassasiyetin elde edilebilmesi için geliştirilmiş bir karar destek sisteminden bahsedilmektedir.

Anahtar Terimler: *Hassas Dövmeçilik, Kalıp Tasarımı, Karar Destek Sistemi*

Abstract

Definition of manufacturing strategy on its active area plays an important role in stage of forming decision model for the enterprises to rival in the marketing. It is in argued that the usage and the application of existing models are sufficient or not in rival environment. Firms are generally projecting themselves to forward in the light of previous experiences. For that reason, it becomes necessary to use the decision support systems. Precision forging die design is highlighting itself in the effectively used computer integrated decision support system due to the knowledge and rules that are taken from the experienced persons.

In this study, a decision support system has been developed to determine the geometrical parameters and to obtain dimensional tolerance and accuracy in precision forging die design.

Key Words: *Precision Forging, Die Design, Decision Support System*

1. KARAR DESTEK SİSTEMİ

Karar destek sistemleri (KDS) genel olarak, karar alıcıları belirli bir konuda desteklemeyi amaçlayan bilgisayara dayalı bilgi sistemi olarak tanımlanmaktadır. KDS' ler yöneticilerin karar vermesinde yardımcı olacak veriye ulaşmasına, özetlemesine ve analiz etmesine yardımcı olur. [1,14].

Karar destek sisteminde ilk yapılması gereken mümkün olan en çok bilgiyi toplamaktır. İkinci yapılması gereken ise toplanan bu bilgileri belirli kategorilerde gruplandırarak çatılar oluşturmak ve böylece yeni bir tasarım ve geliştirme süreci oluşturmaktır. Bu çalışmayla üretilen karar destek yazılımı, aksel simetrik dövme kalıpları için öngörölmüş olup, genel amaç için kullanılmama ve sürekli değişiklik yapma ihtiyacı doğurması gibi dezavantajları vardır.

2. KARAR DESTEK SİSTEMİYLE KALIP TASARIMI

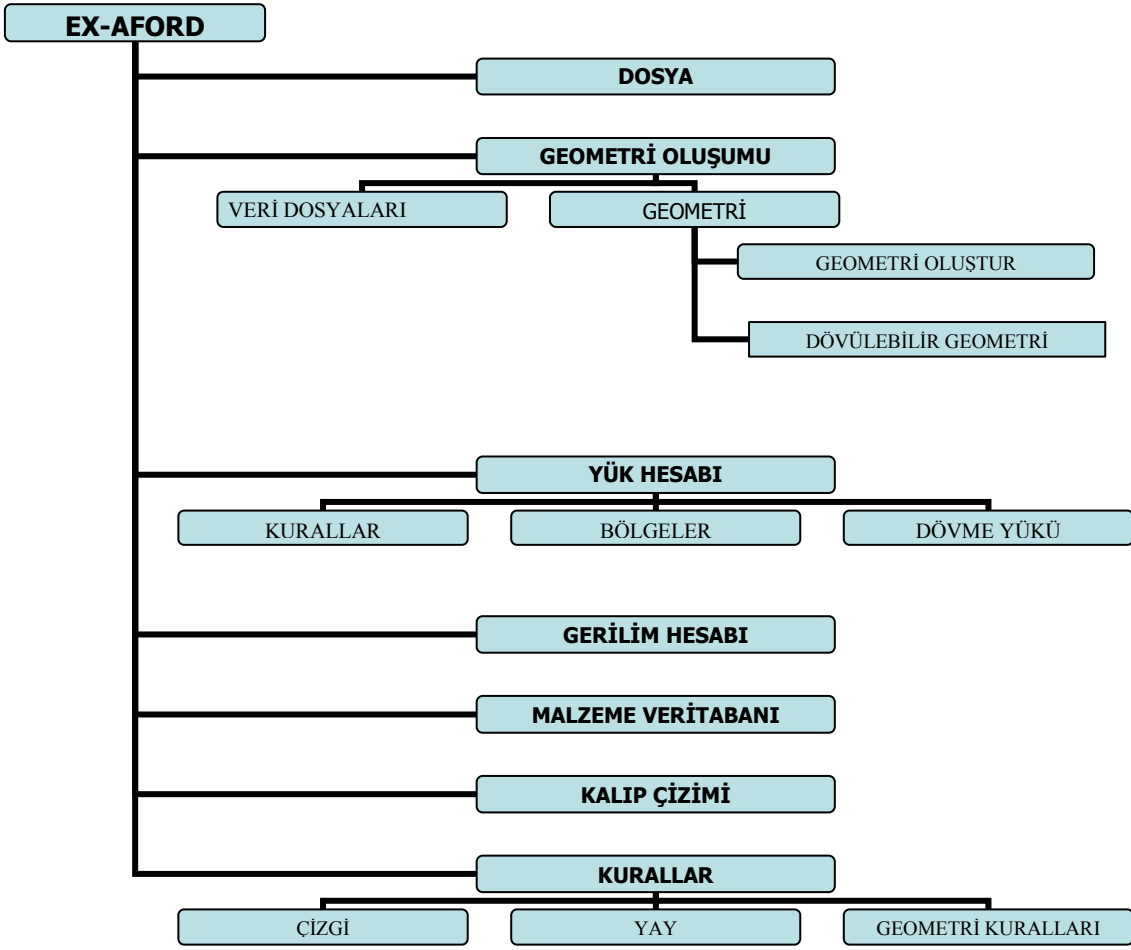
Kalıp tasarımında ilk işlem, ürün geometrisinin sistem tarafından algılanmasıdır. İmal edilecek parçanın grafik tabanlı bir CAD programında çizimi yapılmalıdır. Bu çalışmada CAD programı olarak AutoCAD kullanılmıştır. İmal edilecek parçanın dövülebilir bir geometriye sahip olup olmadığını belirleyebilmek için AutoCAD'te hazırlanan çizim, DXF formatına dönüştürölmekte ve program tarafından çizimdeki tüm unsurların bilgileri ilgili veritabanına aktarılmaktadır. Veritabanındaki bu bilgiler, çıkarım mekanizması tarafından tablolara dönüştürölerek, dövülebilir geometrinin oluşturulmasından en son kalıp geometrisine kadar geçen bütün aşamalarda kullanılmaktadır. Dövme yükünün belirlenmesi, kalıp tasarımının en önemli unsurlarından birini teşkil etmektedir. Malzeme veritabanından alınan bilgiler yardımıyla uygulanması gereken dövme yükü hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu dövme yükü ile birlikte ürünün, kalıbın ve sıkma halkasının malzemesine göre gerilim hesabı ve kalıp geometrisi hesaplanmaktadır.

2.1 Algoritma

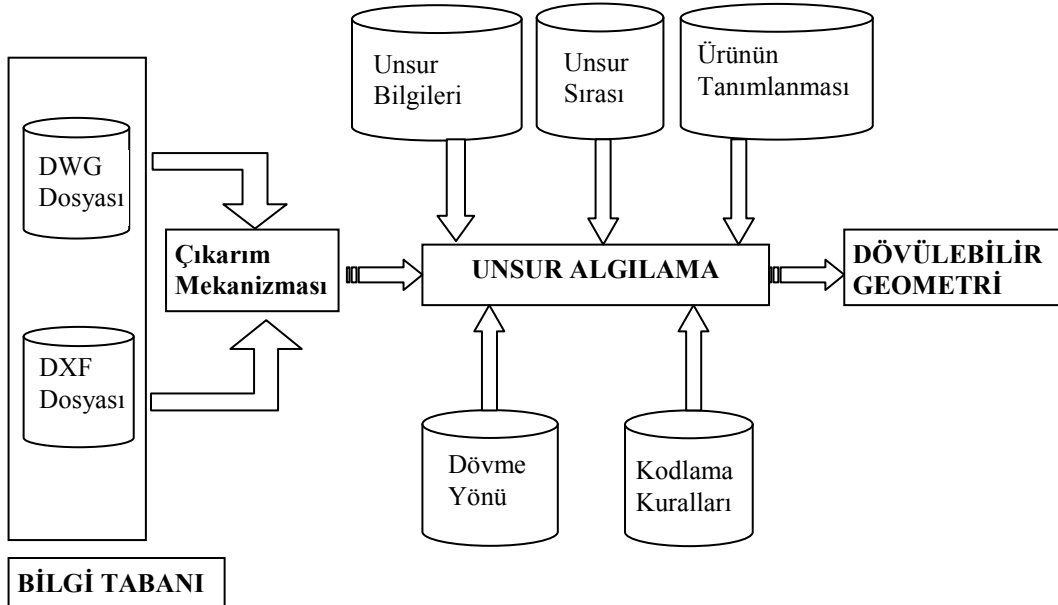
Karar destek sisteminin kullandığı algoritma Şekil 1'de görölmektedir.

2.2 Unsur Algılama

Aşağıdaki Şekil 2'de CAD dosyasından alınan verilerin dövülebilir geometrinin elde edilmesine kadar olan süreçteki çıkarım mekanizması, çalışan hafıza ve bilgi tabanını göstermektedir. **Unsur bilgileri**, AutoCAD ortamında çizilen ürüne ait tüm verileri içermektedir. Ekranın sınır ayarları, katmanlar, çizgi tipleri ve renkleri gibi, doğrudan çizgi ve yaylardan oluşan geometrinin koordinatları bu unsur bilgilerinde yer almaktadır. **Unsur sırası**, ürün geometrisini oluşturan çizgi ve yayların saat yönünde belirli bir sıraya konulmasını sağlamaktadır. Çizimi yapan kişi, çizgileri oluştururken belirli bir sırayı takip etmek zorunda değildir. Ancak kural tabanlı bir uzman sistemde mutlaka bu unsurlar belirli bir sırada olmalıdır. Bu çalışmada, kullanıcıdan bunu istemek yerine oluşturulan unsur bilgi tabanıyla bu sorun halledilmektedir. **Ürünün tanımlanmasında** elde edilen unsur bilgileri ve unsur sıraları ile birlikte ürünün geometrik yapısı sisteme entegre edilmektedir. **Dövme yönü**, uygulamada karşılaşılabilecek bir sorunu çözmek amacıyla geometri algılama sürecine dahil edilmiştir. Dövülecek parçanın kalıbını yaparken, iş parçasının kalıp içerisinde pozisyonlanması ve dövme esnasındaki malzeme akışının belirlenmesi, dövme yükü açısından çok önemlidir. Ayrıca, dövölmüş parçanın kalıptan çıkarılması dikkate alınması gereken bir diğer konudur. Bu nedenle geniş olan yüzey dövme yüzeyi olarak seçilmiştir. **Kodlama kuralları** çatısı, dövülebilir geometrinin oluşturulması zincirindeki son halkayı temsil etmektedir. Her bir unsura 1'den 9'a kadar kod numarası atanmış olup dövülemez bölgelerin neler olabileceğine dair bütün kurallar sisteme girilmiştir. Kodlamaya ilişkin kurallar zinciri çalıştıktan sonra dövülebilir geometriye ait çizgi ve yayların koordinatları belirlenmektedir. Böylelikle elde edilen geometri daha sonra yük ve gerilim hesaplarını yapmak üzere veritabanında saklanmaktadır [13].



Şekil 1. Karar Destek Sisteminin Genel Algoritması



Şekil 2. Unsur Algılama ile Geometri Oluşumu

2.3 Dövme Yüğü

Kalıp tasarımı ancak dövme yükünün belirlenmesi ile mümkün olabilir. Özellikle karmaşık şekilli parçaların dövme yükünün belirlenmesi için analitik bir çözüm mevcut değildir. Empirik ve sayısal çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır [2-4]. Mielnik'e [5] göre aksel simetrik dövmede en iyi çözümü Elementel Üst Sınır Teorisi (*Upper Bound Elemental Technique*) vermektedir [6,7]. Bu nedenle bu çalışmada Elementel Üst Sınır Teorisi kullanılarak dövme yükü tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ürün malzemesinin akma gerilmesi bu aşamada tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca, yağlama şartlarına göre dövme yükü de değişeceği için, yağlama şartlarından "iyi, orta, kötü, kuru" seçeneklerinden birisi seçilmeli yada sürtünme katsayısı bunların dışında bir değer ise bu değer ayrıca girilmelidir.

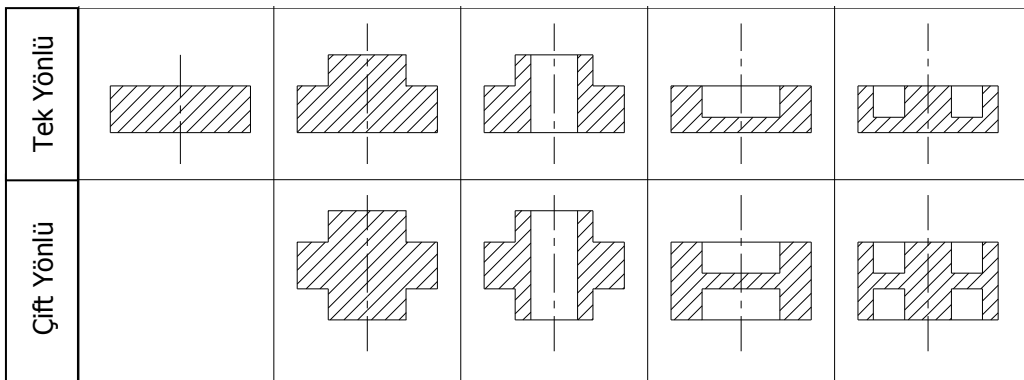
2.4 Kalıp Geometrisi

Kalıp malzemesinde meydana gelen gerilme, dövme sırasında yüksek düzeydeki iç basınçtan kaynaklanmaktadır. Kalıp cidarında meydana gelen basınç tüm yüzeyde ve dövme işlemi boyunca sabit değildir. Kalıp geometrisini ve boyutlarını etkileyen *elastik kalıp genişmesi*, *ısı kalıp genişmesi*, *ürün büzülmesi*, *kıvılcım boşluğu* gibi faktörler mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır [2,8]. Kalıp iç geometrisi ve sıkma halkasının ölçülerinin belirlenmesi de kalıp tasarımında çok önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada Lamé denklemlerinden [9] yararlanılarak kalıp ölçüleri parametrik hale getirilmiştir.

Kalıp ve sıkma halkası için seçilecek malzemenin, kalıp boyutlarının belirlenmesinde büyük önemi vardır. Kalıp malzemesinin mukavemetinin, sıkma halkasının mukavemetinden daha fazla veya en azından eşit seçilmesi gerekir. Kullanıcının yanlış malzeme seçmesi durumunda geliştirilen uzman sistem gerekli uyarıyı yapmaktadır. Aynı şekilde, ürünü dövme yoluyla elde etmek için gerekli kalıp malzemesinin, mukavemeti düşük bir malzemeden seçilmesi durumunda yine sistem gerekli uyarıyı yapmaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

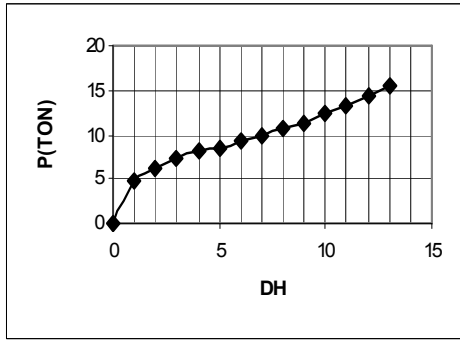
Deneylerde 60 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Aksel simetrik dövme işlemlerinde genel sınıflandırma Şekil 3'te görülmektedir. Bu kapsamda U-şekilli, T-şekilli ve Konik şekilli olmak üzere 3 ayrı temel şekil üzerine çalışmalar yapılmıştır.



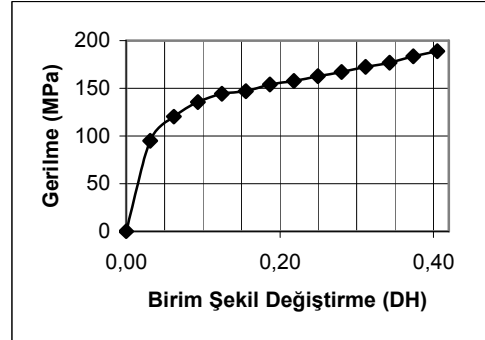
Şekil 3. Aksel Simetrik Dövme İşlemlerinde Genel Sınıflandırma

Dövme işleminde yük altındaki malzemenin, akma gerilmesi sabit bir değer olmaktan çıkmakta ve değişmektedir. Deneyler oda sıcaklığında alüminyum kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan alüminyum malzemenin *gerilme-birim şekil değiştirme* eğrisinin elde edilebilmesi ve kullanılacak sürtünme katsayısının belirlenebilmesi için *halka basma testi* uygulanmıştır. Bu amaçla, 25mm çapında ve 32.1mm uzunluğunda numune iki plaka arasında ezilmiştir. Ezme (basma) işlemi artımsal olarak gerçekleştirilmiş ve her bir yüklemeye karşılık gelen kesit değişimi

ve uygulanan yük değerleri kaydedilmiştir. Numunenin *boyundaki azalma - yük* grafiği aşağıdaki Şekil 4'te ve *gerilme-birim şekil değiştirme* grafiği Şekil 5'te görülmektedir.

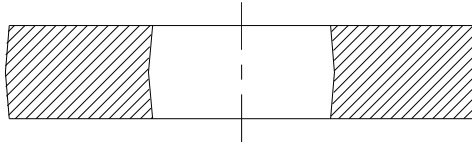


Şekil 4. Yük-Yükseklik Azalması

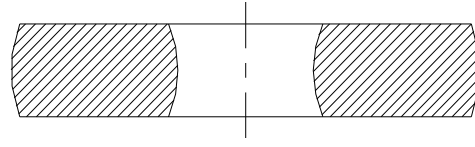


Şekil 5. Gerilme-Birim Şekil Değiştirme

Halka basma testinde yaygın olarak 6:3:2 oranında halkalar kullanılmaktadır. Bu orandaki ilk rakam dış çapı, ikinci rakam iç çapı ve son rakam halkanın kalınlığını ifade etmektedir [10]. Halka, iki plaka arasında sıkıştırıldığında sürtünmenin az olduğu durumda halkada iç yöne doğru akış görülürken, sürtünmenin fazla olduğu durumda halkada dış yöne doğru akış görülmektedir (Şekil 6).



Düşük sürtünme (İyi Yağlama)

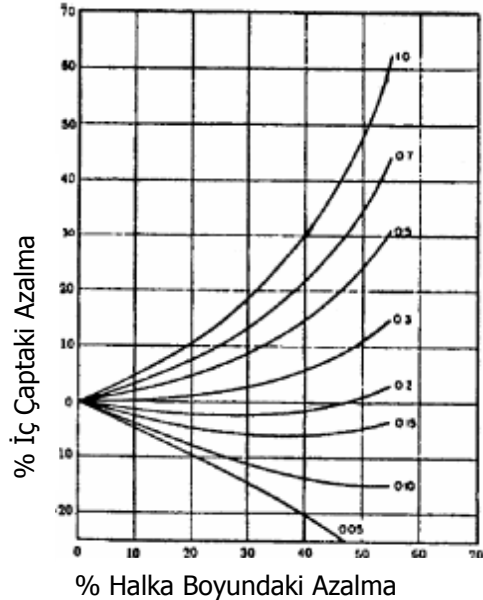


Yüksek Sürtünme (Az Yağlama)

Şekil 6. Halka Basma Testinde Sürtünme Etkisi

Tablo 1. Alüminyum Halka Basma Testi Verileri

	İyi Yağlama	Kuru Taşlanmış	Kuru Pürüzlü
D _{o1} (mm)	30	30	30
D _{o2} (mm)	37.7	38.5	38
D _{i1} (mm)	15.2	15.2	15.2
D _{i2} (mm)	14.8	13.5	11.2
H1 (mm)	10	10	10
H2 (mm)	5.65	5.35	5.3
% ΔH	43.5	46.5	47
% ΔD	2.63	11.18	26.3
Yük (Ton)	25	30	35
m	0.25	0.4	0.6

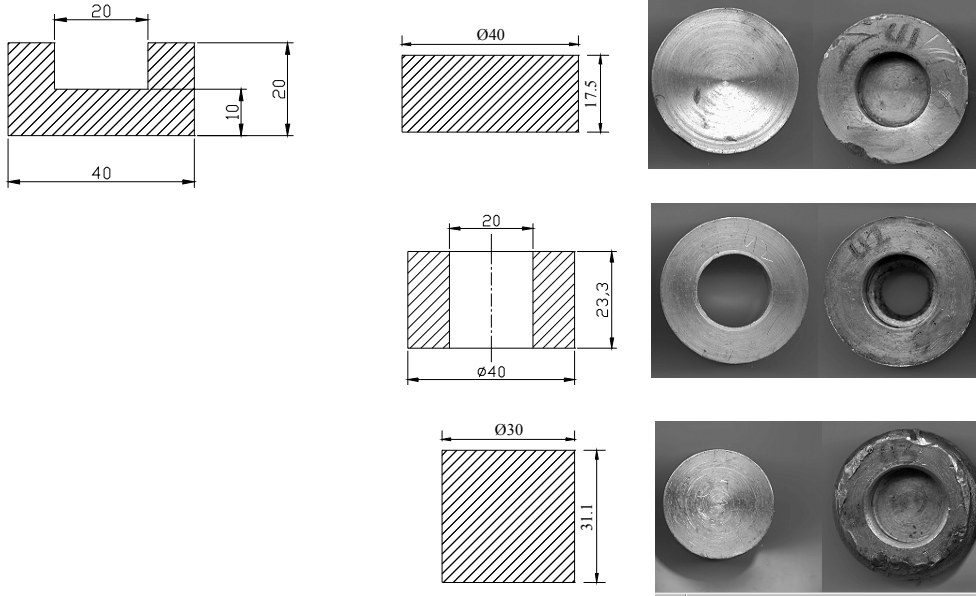


Şekil 7. Sürtünme Kalibrasyon Eğrisi

Meydana gelen değişmeye karşılık gelen numune boyundaki azalmadan yararlanarak sürtünme kalibrasyon eğrisi oluşturulmaktadır. Halkanın boyunda ve iç çaptaki azalma oranı, Şekil 7'deki grafikten yararlanılarak, deney şartlarından ve malzemeden bağımsız olarak "m" katsayısı olarak tanımlanmaktadır [11]. Bu amaçla deneylerde kullanılacak alüminyumdan 6:3:2 oranına uygun halka hazırlanmış ve halka basma testi uygulanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 1'de görülmektedir.

3.1 U-Şekilli Dövme

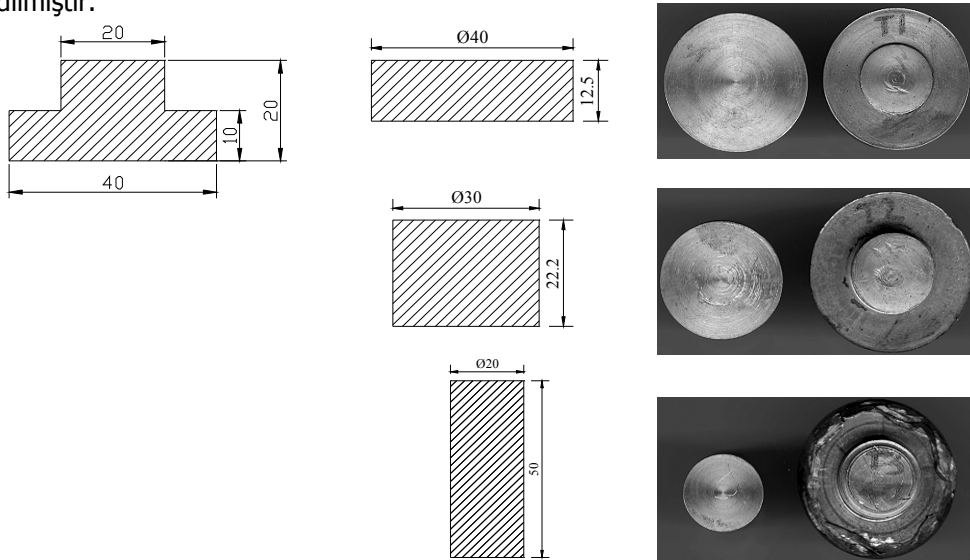
U-şekilli dövmede bitmiş ürün geometrisine uygun ve en düşük yük ile elde edilecek ön şekil geometrisi için hacimleri aynı kalmak şartıyla üç ayrı boyutta numune hazırlanmıştır. Aşağıdaki Şekil 8'de ön şekil geometrileri ve deney öncesi ve sonrası çekilen fotoğraflar görülmektedir. İlk numuneye 26 tonluk bir yük uygulanarak son ürün edilirken, ikinci numuneye 55 tonluk bir yük uygulanmasına rağmen son ürün elde edilememiştir. Üçüncü numune ise, 40 tonluk bir yük altında şişirme ve ekstrüzyon metal deformasyonuna uğramış ancak son ürünün dış çeperinde uygulanan yükün tersi yönünde çapak meydana gelmiştir.



Şekil 8. Değişik Boyutta Ön Şekilli Numunelerle U-Şekilli Dövme

3.2 T-Şekilli Dövme

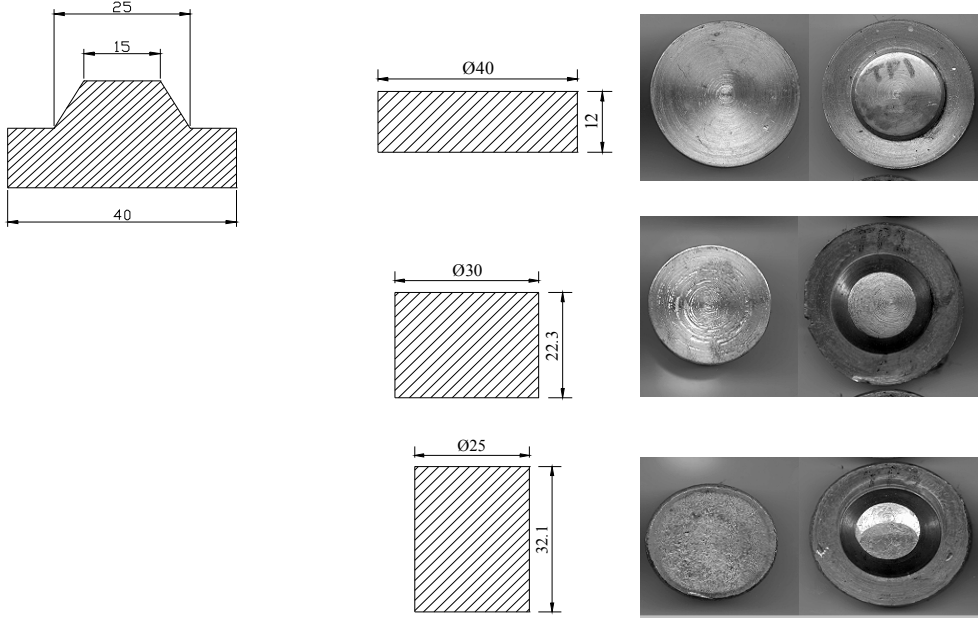
U-Şekilli dövmede olduğu gibi üç ayrı boyutta numune hazırlanmıştır (Şekil 9). Birinci numuneye 55 tonluk bir yük uygulanmasına rağmen kalıp boşluğu doldurulamamıştır. İkinci numune 40 tonluk yük altında kalıp boşluğunu doldururken, üçüncü numune 26 tonluk bir yük uygulanarak elde edilmiştir.



Şekil 9 Değişik Boyutta Ön Şekilli Numunelerle T-Şekilli Dövme

3.3 Konik-Şekilli Dövme

Konik şekilli son ürünü elde edebilmek için yine üç ayrı boyutta numune hazırlanmıştır (Şekil 10). Birinci numuneye 55 tonluk bir yük uygulanmasına rağmen, deformasyon ekstrüzyon şeklinde olduğundan, konik şekil elde edilememiştir. İkinci numuneye 35 tonluk bir yük uygulanmış ancak, konik şeklin üst tarafı kalıp boşluğunu tam olarak doldurmamıştır. Üçüncü numunede ise 24 tonluk bir yük konik şeklin elde edilebilmesi için yeterli olmuştur.



Şekil 10. Değişik Boyutta Ön Şekilli Numunelerle Konik-Şekilli Dövme

4. KALIP GEOMETRİSİ

AutoCAD ortamında çizilen ürün geometrisi DXF formatına çevrilerek çıkarım mekanizmasında nesnelerin başlangıç ve bitiş koordinatlarını tabloya aktarmaktadır. Aşağıdaki Tablo 2'de DXF dosyası tabloya aktarılan konik-şekilli ürünün unsur bilgileri görülmektedir.

Tablo 2. Konik-Şekilli Ürünün Unsur Bilgileri

Entity	10	20	11	21	40	50	51	Code	Entity Name
Line	170	170	178	170				2	Right hand horizontal line
Line	178	170	183	160				4	Left hand line
Line	183	160	190	160				2	Right hand horizontal line
Line	190	160	190	150				1	Vertical line
Line	190	150	170	150				3	Left hand horizontal line

Şekilde dövülemez alanın bulunmaması nedeniyle, programın geometri modülünü çalıştırmaya gerek kalmamaktadır. Dövme yükünün belirlenebilmesi için ürün malzemesi olarak kullanılan alüminyumun akma gerilmesi ve yağlama şartları girildiğinde aşağıdaki değerler edilmiştir.

Deneylerde kullanılan alüminyumun akma gerilmesi $\sigma = 120 + 161\varepsilon^{0.95}$

U ve T-Şekilli Ürün (Şekil 11)

Hesap edilen dövme yükü : 226 194.67 N
Hesap edilen sürtünme yükü : 62 684.90 N
Toplam dövme yükü : 288 879.57 N
Deneysel sonuç : 260 000.00 N

RegionType	PressSpeed	FlowStress	InnerRadius	OuterRadius	Height1	Height2	Height	F1	F2	F3	F4	M	Load
2	1	180	110	120	130	140	10	0,17	0,17	0,75	0,75	0,46	10,01217267219E
1	1	180	110	120	140	150	10	0,75	0,75	0,17	0,75	0,605	13,16818379948E
1	1	180	120	130	130	140	10	0,75	0,75	0,75	0,17	0,605	39,50455139845E

Friction Load (kN) 62,6849060058 Forging Load (kN) 226,194671058 Total Forging Load (kN) 288,879577064

Şekil 11. U ve T-Şekilli Ürün için Dövme Yükü

Konik-Şekilli Ürün (Şekil 12)

Hesap edilen dövme yükü : 226 194.67 N
Hesap edilen sürtünme yükü : 40 846.40 N
Toplam dövme yükü : 267 014.10 N
Deneysel sonuç : 240 000.00 N

RegionType	PressSpeed	FlowStress	InnerRadius	OuterRadius	Height1	Height2	Height	F1	F2	F3	F4	M	Load
2	1	180	110	117,5	120	130	10	0,17	0,17	0,75	0,75	0,46	3,434175226564
2	1	180	110	117,5	130	140	10	0,75	0,17	0,17	0,75	0,46	3,434175226564
2	1	180	117,5	122,5	120	130	10	0,17	0,17	0,75	0,17	0,315	3,2566767338332
1	1	180	122,5	130	120	130	10	0,75	0,75	0,75	0,17	0,605	26,968440421347
3	1	180	117,5	122,5	130	140	10	0,75	0,17	0,17	0	0,363	3,752932321230E

Friction Load (kN) 40,8464012145 Forging Load (kN) 226,194671058 Total Forging Load (kN) 267,041072273

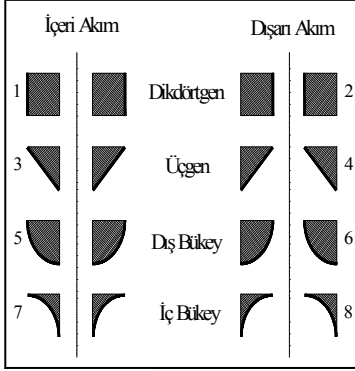
Cancel OK

Şekil 12. Konik-Şekilli Ürün için Dövme Yükü

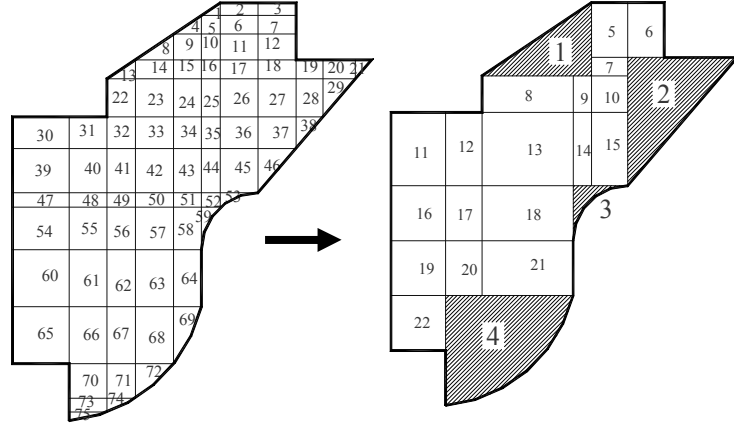
Deney sonuçları ve program sonuçları, sürtünmeden kaynaklanan dövme yükünün dövme yüküne oranının %15 ile %35 arasında değiştiğini göstermektedir. Programın dövme yükünü, %10-%20 kadar deneysel sonuçlardan daha fazla tahmin ettiği görülmektedir. Bu durum *şekil karmaşıklık faktörü* (shape complexity factor) ile açıklanabilmektedir. Mielnik [5], ampirik formüllerin metal deformasyonunda meydana gelen metal akışını dikkate almaması nedeniyle dövme işlemlerinde tam doğru sonucu veremeyebileceğini ifade etmektedir. Bu amaçla *şekil karmaşıklık faktörünün* kullanılması gerektiğini ve bu faktörün 1.2 ile 12 arasında olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlara göre *şekil karmaşıklık faktörünün* 1.1 ile 2.5 arasında değiştiği görülmüştür.

Dövme yükü, Elementel Üst Sınır Teorisine (Upper Bound Elementel Technique) göre ürünün, bilinen temel bölgelere bölünmesi (Şekil 13, Şekil 14), her bir bölge için gerekli yükün hesap edilmesi ve bu yüklerin toplanması ile toplam dövme yükü bulunmuştur. Her bir bölge dövme yükü hesabında şu formül kullanılmaktadır [12] :

$$P = \pi R^2 \sigma \left(1 + \frac{2}{3\sqrt{3}} m \frac{R}{A} \right)$$



Şekil 13 Temel Bölgeleme

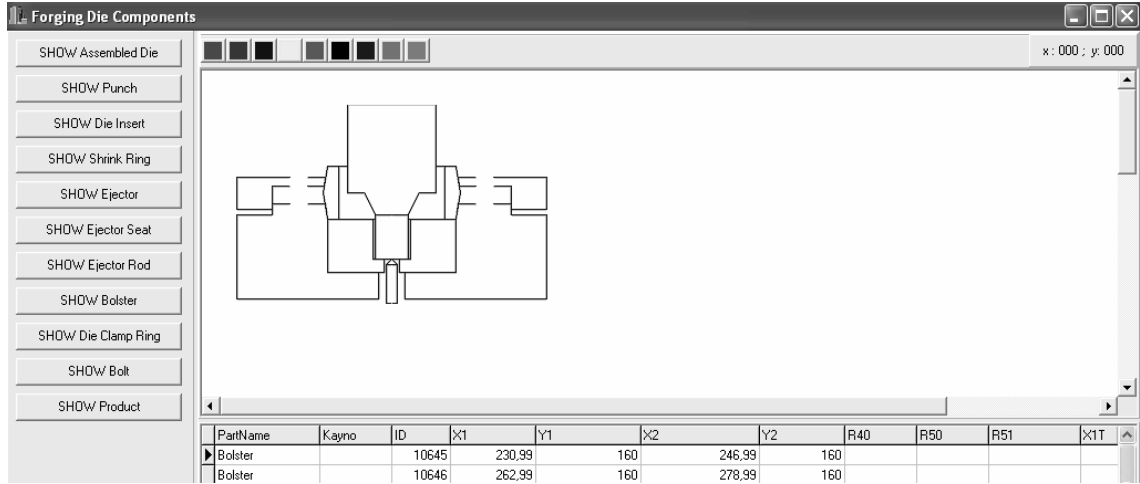


Şekil 14 Ürün Geometrisinin Temel Bölgeleme

Dövme yükü belirlendikten sonra meydana gelecek gerilimin hesap edilmesi, kalıp ve sıkma halkasının boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. Kalıp malzemesinde meydana gelen gerilme, dövme sırasında yüksek düzeydeki iç basınçtan kaynaklanmaktadır. Kalıp cidarında meydana gelen basınç tüm yüzeyde ve dövme işlemi boyunca sabit değildir. Bu amaçla malzeme bilgilerinin girilebilmesi için hazırlanan tablo, Şekil 15'te görülmektedir. Kalıp iç geometrisi ve sıkma halkasının ölçülerinin belirlenmesi de kalıp tasarımında çok önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada Lamé denklemlerinden [9] yararlanılarak kalıp ölçüleri parametrik hale getirilmiştir.

Şekil 15. Malzeme Bilgisi Giriş Menüsü

Hesap edilen değerlere göre ise kalıbın olması gereken geometrik şekli çizilerek, kalıbı oluşturan her bir parçanın boyutları kullanıcıya sunulmaktadır (Şekil 16)



Şekil 16. Kalıp Montaj Resmi

5. SONUÇ

Dövme yöntemiyle imalat, geniş bir bilgi birikimi gerektirdiğinden imalatın her aşamasında bu bilgilerin değerlendirilmesi ve sisteme entegre edilmesi gerekmektedir.

Geliştirilen sistemdeki bilgi tabanı ve kurallar, oluşturulan algoritmadan ayrı olduğundan yeni kuralların eklenmesi veya çıkartılması programdan bağımsız bir şekilde yapılabilmektedir. Makalenin hacmi göz önüne alınarak bu çalışmada kullanılan hesaplamalara ilişkin detaylar verilmemiş, detaylar için ilgili kaynaklara atıfta bulunularak sadece karar destek sisteminde kullanılan faktörler açıklanmıştır.

Kalıp tasarımı büyük ölçüde, bu alanda faaliyet gösteren deneyimli kişilerin tecrübelerine dayanarak yapıldığından karar destek sistemi olarak uzman sistem kullanılmıştır. "Dövülebilir geometri, dövme yükü, malzeme ve kalıp geometrisi dört ana çatıyı oluşturmaktadır. Her bir çatı ise kendi bünyesinde alt çatıları barındırmaktadır.

Kalıp ve sıkma halkalarının malzemesinin seçimi için çok geniş bir malzeme veritabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veritabanı uzman sistem mantığı içerisinde hareket etmektedir. Dolayısıyla sadece bu çalışmada değil, malzeme seçimi gerektiren tüm çalışmalarda kullanılacak bir yapıya sahiptir. Meydana gelen yük ve gerilim değerlerine göre en uygun kalıp malzemesinin seçilmesi bu veritabanı kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] LIANG, Ting- Peng ve HUNG, S.Y., "DSS and EIS Applications in Taiwan" Information Technology & People, 10(4), 303-315. (1997)
- [2] Şenalp, Z.A., Kaftanoğlu, B., Metal Şekillendirme Alanında kullanılan Çözüm Yöntemleri, Makine Tasarım ve İmalat Dergisi, C:3, S:5, (2000)
- [3] Lin, Y.T., Wang, J.P. A new Upper Bound Elemental Technique Approach to Axisymmetric Metal Forming Processes. Int. J. of Machine Tools Manufacture, V.33, N.2. (1993).
- [4] Lee, J.H., Kim, Y.H., Bae, W.B. A Study on Flash and Flashless-Precision Forging by the Upper Bound Elemental Technique. Journal of Materials Processing Technology, V.72. (1997).
- [5] Mielnik, E.M. Metalworking Science and Engineering. McGraw-Hill, Inc. (1991).
- [6] Oyekanmi, B.O., Bramley, A.N. Osman, F.H. The Validation of the Upper Bound Elemental Technique (UBET) in the Prediction of Strain Distributions in Forgings. Journal of Materials Processing Technology, V.30. (1992).

- [7] Bramley, A.N. UBET and TEUBA: Fast Methods for Forging Simulation and Preform Design. *Journal of Materials Processing Technology*, V.116. (2001).
- [8] Sadeghi, M.H. Precision Forging Axisymmetric Shapes, Straight and Helical Spur Gears. Ph.D. Thesis, University of Birmingham. (1989).
- [9] Kim, H., S., Im, Y., T. Expert System for Multi-Stage Cold-Forging Process Design with a Re-designed Algorithm, *Journal of Material Processing Technology*. V.54, 271-285. (1995).
- [10] Sofuoğlu, H., Gedikli, H., "Determination of Friction Coefficient Encountered in Large Deformation Processes", *Tribology International*, V.35, 27-34, (2002).
- [11] Male, A.T., DePierre, V., Saul, G., "The Validity of Mathematical Solutions for Determining Friction from the Ring Compression Test", *J. of Lubr. Tech.*, V.96, 389-397, (1972)
- [12] Yılmaz, N.F., Eyercioğlu, Ö., "Application of UBET in the Prediction of Forging Load for Axisymmetric Forging", *Int. J. Advanced Manufacturing Systems*, V.6, I.1, 1-11, (2003).
- [13] Yılmaz, N.F., Eyercioğlu, Ö., Dereli, T., "Computer Aided Determination of Forgeable Geometry for Near Net Shape Axisymmetric Forging", 2nd Int. Conf. and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, Kuşadası, 2001.
- [14] Turban, E., "Decision Support and Expert Systems", Mc-millan Pub., USA, 1990.