



**SIVI BASINCI İLE SAC ŞEKİLLENDİRME (HİDROFORM) İÇİN KALIP
TASARIMI**

Mehmet BAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Mehmet BAL

...../...../.....

SIVI BASINCI İLE SAC ŞEKİLLENDİRME (HİDROFORM) İÇİN KALIP TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet BAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2021

ÖZET

Sac metal parçalar günlük hayatın her alanında yaygın kullanılmaktadır. Bu parçaları şekillendirmek için pek çok yöntem geliştirilmiş olup her birinin diğerlerine göre üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Sıvı basıncı ile şekillendirme (hidroform) bu yöntemlerden, ekipman yatırım bedelinin düşüklüğü ve parçaların hızlı bir şekilde alınabilmesiyle öne çıkmaktadır. Günümüzde çoğunlukla havacılık ve otomotiv sektörlerinde düşük adetli üretimlerde, tasarım doğrulama veya prototip üretim ihtiyaçlarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada hidroform prosesinde şekillendirme yapmak için kullanılan kalıp / ekipmanların tasarımında dikkat edilmesi gereken konular ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında sac metal parça tasarımı kaynaklı proses sırasında yaşanabilecek problemler ve kalıp tasarımı kaynaklı tezgahta yaşanabilecek problemlere karşı tasarım iyileştirmeleri de sunulmuştur. Tasarım işçiliğini otomatik olarak hatasız ve hızlıca yaptırmak için, Catia / Powercopy eklentisinde uygulama yapılmıştır

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Hidroform kalıp tasarımı, sıvı basıncı ile şekillendirme, sıvı basıncı ile kalıplama, powercopy uygulaması
Sayfa Adedi : 49
Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

TOOL DESIGN FOR SHEET METAL FORMING BY LIQUID PRESSURE
(HYDRAFORM)

(M. Sc. Thesis)

Mehmet BAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2021

ABSTRACT

Sheet metal parts are widely used in all areas of our daily life. Many methods have been developed to shape these parts, and each has its advantages and weaknesses. Shaping with liquid pressure (hydraform) stands out among these methods, with the low investment cost of equipment and quick launching of parts. In these days, it is mostly used in the aviation and automotive industries for low volume production, design verification or prototype production needs. In this study, the issues to be considered in the design of the mold / equipment used for shaping in the hydraform process are examined. In the scope of the study, design improvements are also presented against the problems that may be experienced during the process caused by the design of the sheet metal part and the problems that may be experienced in the machine due to the mold design. In order to have the design work done automatically and quickly, it has been implemented in the Catia / Powercopy plugin.

Science Code : 91438

Key Words : Hydroform tool design, sheet metal forming with fluid pressure, tooling by hydroform, powercopy application

Page Number : 49

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm süreçlerinde beni yönlendirerek, sonuçların değerlendirilmesinde ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılardan dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ' ye teşekkür ederim.

Deneysel tasarım ve uygulama aşamasında verdikleri desteklerden ötürü Yepsan Savunma ve Havacılık A.Ş. nin sayın yöneticilerine teşekkürler ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Yetişmemde sonsuz emeği geçen sevgili anne ve babama şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Esnek Diyafram ve Sıvı Basıncı ile Sac Metal Şekillendirme	3
2.1.1. Hidroform yöntemleri	3
2.1.2. Hidroform yöntemlerinin karşılaştırılması	7
2.2. Metal Şekillendirme Yöntemi	8
2.2.1. Malzeme	8
2.2.2. Geri yaylanma değeri	11
2.2.3. Hadde yönü	12
2.2.4. Anizotropi	12
2.2.5. Poisson oranı	13
3. HİDRAFORM İLE TASARIM KURALLARI	15
3.1. Konvansiyonel ve Hidroform Metotlarının Karşılaştırılması	15
3.1.1. Konvansiyonel form kalıpları	15
3.1.2. Hidroform kalıpları	15

3.2. Tasarım Kuralları	17
3.2.1. Proses tanımları ve tasarıma etkileyen kısımlar	17
3.2.2. Kalıp ölçüleri yüksekliği	18
3.2.3. Parça sabitleme noktaları	20
3.2.4. Geri yaylanma değeri	20
3.2.5. Kalıp malzemesi seçimi	20
3.2.6. Kalıpların kenar ve köşe radyüsleri	21
3.2.7. Havanın tahliye edilmesi	22
3.2.8. Baskı Plakası (Overpres) gereksinimi	23
3.2.9. Rampa gereksinimi	23
3.2.10. Çift kademeli kalıplar	24
3.2.11. Kalıp ağırlıklarını azaltma	24
3.2.12. Standart elemanlar	24
3.2.13. Kalıp üzeri markalama	25
3.2.14. Ergonomi	25
4. YÖNTEM / KALIP TASARIMI	27
4.1. Hidroform Kalıp Tasarımı	27
4.2. Yüzey Gereksinimi	27
4.3. Parça Toleransları	29
4.4. Etekler	29
4.5. Kalıp Modelleme Aşamaları	30
4.6. Tasarımın PowerCopy Eklentisi ile Otomatik Olarak Güncellenmesi	32
5. ÖRNEK KALIP TASARIMLARI	37
5.1. Hidroform Kalıp Tasarımı	37

Sayfa

5.2. İki Parçalı (Overpress) Kalıp Tasarımı	39
5.3. Süpürme Yöntemi İle Kalıp Tasarımı	40
5.4. Çift Kademeli Kalıp Tasarımı	41
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
EKLER	47
EK-1. Adı Yaygın kullanılan AL 2024 ve 7075 sac malzemelerin (O) ve (W) kondisyonları için geri yaylanma değerleri	48
ÖZGEÇMİŞ	49

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hidroform yöntemlerinin karşılaştırılması	8
Çizelge 2.2. 2024 Al alaşımının çeşitli ısıtıl işlem koşullarındaki mekanik özellikleri ...	9
Çizelge 2.3. Alüminyum kondisyonları (ısıtıl işlem/temper durumları)	10
Çizelge 4.1. Bazı malzemelerin min büküm radyüsleri (750 bar basınç altında)	29

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hidroform şekillendirme işlemi	4
Şekil 2.2. Guerin yöntemi	4
Şekil 2.3. Marform yöntemi.....	5
Şekil 2.4. Maslennikov yöntemi	6
Şekil 2.5. Verson Wheelon yöntemi	6
Şekil 2.6. Diyaframla hidroform yöntemi	7
Şekil 2.7. Geri yaylanma	11
Şekil 2.8. Hadde yönleri	12
Şekil 2.9. Poisson oranı	13
Şekil 3.1. Hidroform kalıbı	16
Şekil 3.2. Hidroform tezgahı tablası bileşenleri	18
Şekil 3.3. Diyaframın mak uzama sınırları	18
Şekil 3.4. Derin form gerektiğinde uygulanacak işlem	19
Şekil 3.5. Kalıp konumlandırma	19
Şekil 3.6. Keskin köşelerin yuvarlatılması	21
Şekil 3.7. Hava tahliye deliği	22
Şekil 3.8. Tahliye deliği açılmadığı durumlardaki çözüm (1-Tabla Pedi, 2-Kauçuk Şerit, 3-Örtü Pedi, 4-Kalıp)	22
Şekil 3.9. Kalıp üzerindeki markalama verileri	25
Şekil 3.10. Güvenli yük taşıma / kaldırma limitleri	26
Şekil 4.1. Hidroform kalıp tanımları	27
Şekil 4.2. Örnek kalıp modelleri	28
Şekil 4.3. Geri yaylanma değerinin kalıba aktarılması	32

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Hidroform işlemi	16
Resim 3.2. Ters büküm parça	17
Resim 3.3. Rampa örneği	23
Resim 3.4. Kalıp ağırlıklarını azaltma önerileri	24
Resim 3.5. Kalıplarda kullanılan standart pimler	25
Resim 4.1. Kalıp modellemesi için örnek parça	30
Resim 4.2. Bağlantı kulaklarının tanımlanması	31
Resim 4.3. Hidroform kalıp tasarımı aşamaları	31
Resim 4.4. Powercopy penceresi	34
Resim 4.5. Powercopy'e büküm hattının ve yüzeyin tanımlanması	34
Resim 4.6. Powercopy ile tasarımın güncellenmesi	35
Resim 5.1. Hidraform kalıp tasarımı (tek gözlü)	37
Resim 5.2. Hidroform kalıp tasarımı (çok gözlü)	38
Resim 5.3. İki parçalı hidraform kalıp tasarımı	39
Resim 5.4. Süpürme yöntemi ile hidroform kalıp tasarımı	40
Resim 5.5. Çift kademeli hidroform kalıp tasarımı	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
mak	Maksimum
min	Minimum
mm	Milimetre
Ra	Akma dayanımı
Rm	Çekme dayanımı
psi	Basınç birimi
t	Parça kalınlığı
TM	Ticari marka

Kısaltmalar	Açıklamalar
CMM	3 Boyutlu Ölçüm
CNC	Bilgisayar Kontrollü İşleme
HFK	Hidroform Kalıbı
EOP	Parça Kenar Hattı
WEB	Parça Oturma Yüzeyi

1. GİRİŞ

Demirin metal olarak günlük hayatımıza girişı, 18. Yüzyılın ikinci yarısından başlayıp İkinci Dünya Savaşının sonuna kadar devam eden sanayi devriminin ikinci döneminde gerçekleşmiştir. Bu dönemde hammadde olarak demir ile beraber çelik ve farklı kimyasallar kullanılmaya başlanmıştır. Metalin kullanılabilir hale gelmesiyle makinelerin parçaları metale dönerek hem daha güçlü makineler üretilmiş olup hem de bu sayede makineleşme birçok sektörde yaygınlaşmaya başlamıştır. Sac metal olarak kullanımın hızlanması, bu dönemde otomobillerin seri imalatı ile gerçekleşmiştir. Beyaz eşya sektörünün de gelişmesi sac metal kullanılmasının yaygınlaşmasında önemli bir etken olmuştur. Sanayileşmeyle beraber ortaya çıkan şehir yaşantısında ihtiyaçlar çoğaldıkça ve teknolojinin gelişmesine bağlı ürün çeşitliliği ve talep artışıyla; sac metalin seri olarak şekillendirilmesinin yöntemleri de geliştirilmek zorunda kalınmıştır. Ürün çeşitliliği, yenilikçi tasarımlar ve talep artışı ile kalıp teknolojisi de gelişmiştir. Tandem kalıplardan, progresif kalıplara ve ardından da transfer kalıplarla üretime geçilmiştir. Kalıp teknolojilerindeki gelişmeler ise parça tasarımlarına yansımış ve etkilemiştir. Örneğin otomobil tasarımlarında ilk zamanlarda çok keskin bükümlü hatlar varken, kalıp ve imalat yöntemlerindeki gelişmelere bağlı olarak zamanla daha yumuşak hatlı geçişlerle estetik parçalar üretilebilir hale gelmiştir.

Sanayi devriminin üçüncü döneminde otomasyon kavramının ortaya çıkışıyla, daha hızlı ve sürdürülebilir kalite seviyeleri sağlanmıştır. Fakat bu dönemin sonlarına doğru üretim anlayış ve yöntemleri de değişmeye başlamıştır. Seri imalat yerine kişiye özel üretim anlayışıyla kullanıcı hâkimiyeti yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu durumda ise nihai müşteri / kullanıcı istekleri daha hızlı karşılanır hale gelmiştir. Öte yandan bu dönemdeki ulaşım ve iletişim alında yaşanan büyük gelişim ve değişimler sanayi ve ticaretin küresel hale gelmesine neden olmuştur. Böylece çetin rekabet şartları altında daha ucuz, hızlı ve kaliteli üretim sağlayacak imalat yöntemleri geliştirilme ve kullanımını gerekli kılmıştır. Böylece ihtiyaçlar çabuk karşılanabileceği gibi küresel rekabetten de kopulmayacaktı.

Günümüze dek sac metal şekillendirme amaçlı birçok yöntem geliştirilmiş olup bunlar farklı üretim aşamalarında kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin tamamı birbirinin alternatifi olmamakla beraber kullanım amaç ve imalat kriterlerine göre üstün ve zayıf yanları vardır.

Her ne kadar son dönemde prototip ve tasarım doğrulama üretimleri için eklemeli imalat (3 boyutlu yazıcılar vasıtasıyla), artırılmış imalat (CNC işleme tezgahında sac malzemeye baskı uygulayarak) gibi alternatif ve hızlı yöntemler geliştirilmiş olsa da, bu yöntemlerde ürün malzemesi ve ürün ebatları konusunda kısıtlar vardır.

Sıvı basıncı ile şekillendirme (hidroform/flexform) prosesi konvansiyonel şekillendirme yöntemleri ile alınamayan veya çok yüksek maliyetli kalıp/ekipman yatırımları gerektiren durumlarda tercih edilen soğuk ve mekanik bir şekillendirme yoludur.

Hidroform prosesi yıllardır az sayıda üretim gerektiren ve buna bağlı düşük ilk yatırım maliyeti gerektiren (özellikle prototip imalat, tasarım, doğrulama, Ar-Ge, ön seri üretim vb.) işlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Yıllardır havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan bu proses son yıllarda otomotiv sektöründe de yaygınlaş ve böylece metal şekillendirme kapsamlı tüm alanlarda hidroform prosesi uygulanmaya başlamıştır.

Literatürde birkaç farklı Sıvı Basıncı ile Şekillendirme (SBŞ) prosesi yer almakla beraber bu çalışmada parçaya sıvının temas etmediği, arada diyaframın (kauçuk malzeme) olduğu, Flexform™ metodu ile AL 2024 T0 parça şekillendirmesi üzerinde deneyler yapılmış, kalıp tasarım bilgileri ve tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken konular incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidroform, Geriaylanma, Flexform, Sıvı Basıncı ile Şekillendirme, Hidroform Yöntemleri

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

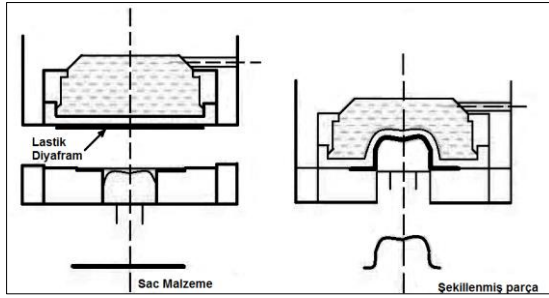
Bu bölümde, tez konusu olan sıvı basıncı ile şekillendirme metodolojisi, uygulama çeşitleri, metal şekillendirme ve malzeme bilgileri hakkında yapılan kaynak araştırması verilecektir.

2.1. Esnek Diyafram ve Sıvı Basıncı ile Sac Metal Şekillendirme

Günümüz rekabet ortamında sac metal parça imalatında; parça kalitesini arttırma, işi zamanında teslim etme, maliyet azaltma gibi konular tüm taraflar açısından çok önemlidir. Bu tür parçaların çok fazla kullanıldığı otomotiv ve havacılık sektörlerinde, CO₂ emisyon ve enerji tüketimini düşürmek için araç ağırlıklarını azaltmak çok önemlidir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda geliştirilen yüksek dayanım / az ağırlığa sahip sacları (ince ama sağlam sacları) kolay ve ucuz şekillendirme ihtiyacı doğmuştur. Bu kapsamda sıcak şekillendirme gerektiren malzemeler dışında kalan titanyum, paslanmaz ve yaygın kullanılan alüminyum alaşım şekillendirmeleri için, geleneksel yöntemler dışında sıvı basıncı ile şekillendirme işlemi (Hidroform) yaygınlaşmıştır. Bu yöntemle göre üst veya alt kalıbın görevini, sıvı basıncı veya kauçuk kütük almaktadır. Böylece kalıplama uygulaması çok sade ve kolay yapılmaktadır. Ayrıca maliyet açısından da çok ucuz olmaktadır. Özetle hidroform teknolojisi, yüksek form verme kapasitesi ve düşük kalıp maliyeti sağlar.

2.1.1. Hidroform yöntemleri

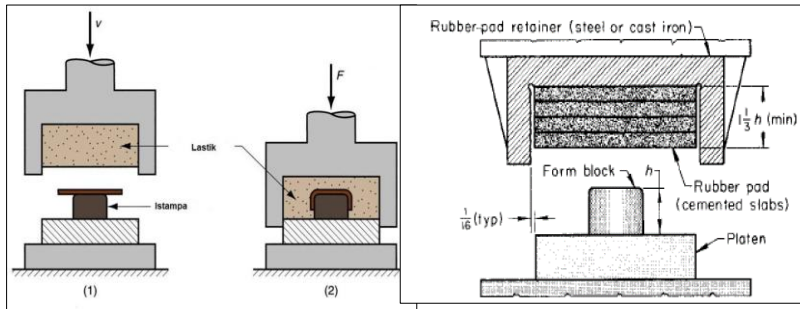
Hidroform yöntemi temelde sıvı basıncını doğrudan veya arada diyafram (kauçuk ped plaka) olacak şekilde sac malzemeye uygulayarak parça biçimlendirme / şekillendirmeyi içerir (Şekil 2.1). Literatürde daha çok kapalı geometrileri (boru, birbirine kaynatılmış iki farklı sac plaka) şekillendirme yöntemi hidroform olarak anılırken, düz sac plakaları şekillendirme yöntemleri diyaframlı hidrolik şekillendirme, hidro mekanik şekillendirme olarak yer alır.



Şekil 2.1. Hidroform şekillendirme işlemi

Guerin yöntemi

Bu yöntem sac metal şekillendirme amaçlı en eski ve en basit hidroform yöntemidir. 1936 ve 1940 yılları arasında Henry Guerin (Douglas Aviation Company) tarafından tanımlanan bu yöntemde; ıstampa (form kalıbı) üzerinde parça, komple lastiğin (kauçuk) içine görülerek form verme yapılır [1]. Kullanılacak lastiğin form verilecek parçadan hacimsel olarak en az %30-40 daha büyük olması gerekir. Bu yöntemde erkek kalıp altta sabit, üst kısımda lastik hareketli olabildiği gibi tam tersi de uygulanabilir. Basit etek bükmeler, V ve U bükümler, yüksek basınç gerektirmeyen basit formlarda bu yöntem uygulanabilir (Şekil 2.2).

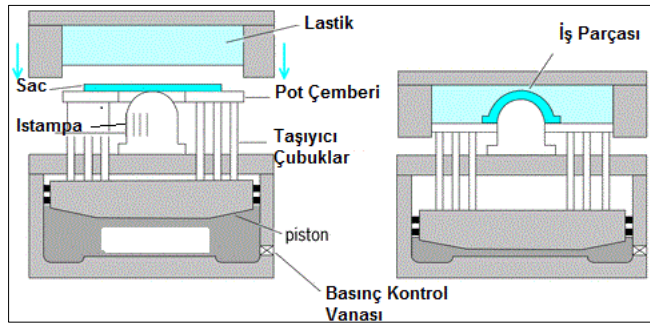


Şekil 2.2. Guerin yöntemi

Marform yöntemi

Bu yöntem Glen tarafından (L. Martin Company) daha çok derin çekme parçaları hidroform yöntemiyle üretebilmek için geliştirilmiş olup, temelde Guerin yöntemine metal pot çemberi eklemeye dayanır. Bu sayede özellikle derin çekme gereken parçalarda daha iyi sonuç verir [2]. Şekil 2.3'te görünen Marform yönteminde pot çemberi basıncı, basınç kontrol vanasıyla otomatik olarak ayarlanır. Lastik, parçaya sıkıştırılacak temas yüzey

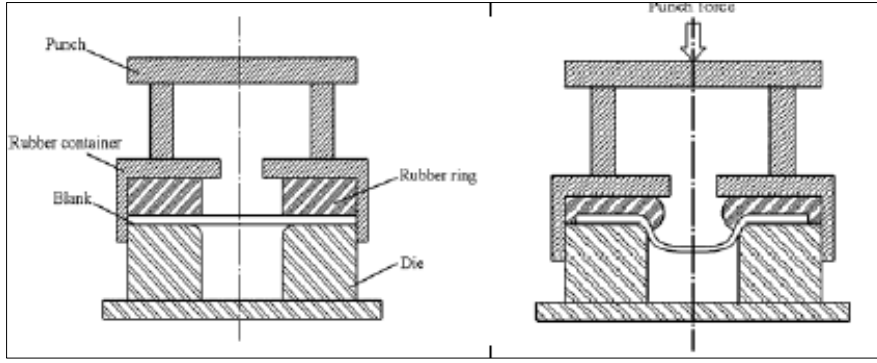
kısmı hariç kapalı bir pres koçu içindedir. Kullanılacak lastik kalınlığı, toplam şekil verilecek form veya derin çekme boyunun en az 1.5-2 katı olmalıdır. İşlem başlangıcında açınım parça, form erkeği ile aynı hizada bulunan pot çemberi üzerine konulur. Pot çember basıncı, parçayı tutacağı eteklerde kırılmaya sebep vermeyecek kadar (yüksek) olmalıdır. Guerin ve Verson-Wheelon yöntemlerine göre daha derin parça şekillendirmeye uygundur ve parçanın katlanma / buruşma olasılığı düşüktür. Literatürde Marform yöntemi üzerinde çok fazla çalışma vardır. Fukuda and Yamaguchi [3], yaptıkları araştırmada bu işlemin teorik ve deneysel inceleme ve karşılaştırmasını yapmışlar olup sonuçlar uyumlu çıkmıştır.



Şekil 2.3. Marform yöntemi

Maslennikov yöntemi

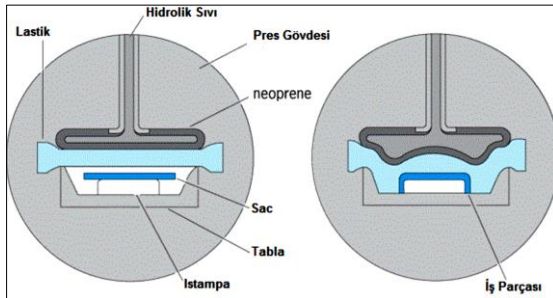
Maslennikov yöntemi derin çekme prosesinde halka şeklinde kauçuk ped kullanan bir yöntemdir [4]. Dişi kalıp üzerinde bulunan açınım parçaya kauçuk ped basınç uygular. Zımba kauçuk halkayı sıkarak ve radyal olarak içe doğru şekil almasını sağlar. Kauçuk halka ile sac arasında oluşan radyal sürtünme etkisi ile parça dişi kalıba doğru çekilir (Şekil 2.4). Bu işlemde halka şeklindeki kauçuk ped aynı zamanda pot çember görevi de görür. Kauçuk sac, parçanın tüm yüzeylerine aynı anda ve eşit basacağı için dengeli ve uzun bir derin çekme işlemi olur.



Şekil 2.4. Maslennikov yöntemi

Verson Wheelon yöntemi

Bu yöntem ilk olarak, Douglas Aircraft Company tarafından düşük basınçta şişirilebilir kauçuk kese ile şekillendirme amacıyla geliştirilmiştir. Prosese uygun özel presler geliştirmesi ve ticarileşmesini ise Verson Allsteel Press Company şirketi sağlamıştır. Verson-Wheelon yönteminde (Şekil 2.5), şekillendirilecek sac Guerin yöntemine benzer şekilde ıstampa üzerine yerleştirildikten sonra Neopren (sentetik kauçuk) kese hidrolik olarak şişirilir. Böylece akışkan basıncı matris görevi yapan lastiğe ve saca iletilmiş olur. Burada lastik Guerin yöntemine göre daha yumuşak, basınç ise daha yüksektir. Yüksek basınç, katlanmaları önlediği gibi daha karmaşık ve daha derin şekiller elde etme sağlar.



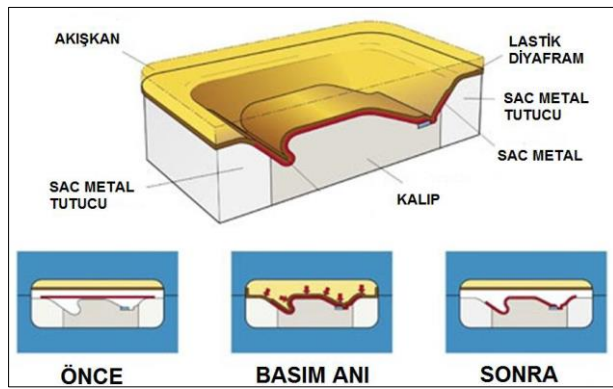
Şekil 2.5. Verson Wheelon yöntemi

Diyaframla Hidroform yöntemi

Bu hidroform yönteminde şekillendirme çevrimi boyunca lastik diyafram üzerine etkiyen basınç kontrol edilir. Böylece iş parçasının şekli ve boyutları da yakından kontrol edilmiş olur. İşlem sırasında sac metal, lastik diyafram vasıtasıyla sürekli kalıba bastırıldığı için iş

parçası ile kalıp arasındaki sürtünme kuvveti büyük olur. Böylece bu yöntemle klasik derin çekme yöntemine kıyasla daha derin kaplar elde edilebilir [5] (Şekil 2.6). Bu yöntemde basit erkek/dişi kalıp üzerine konan iş parçasına, diyafram aracılığıyla basınç uygulayarak açınım parçası kalıp üzerine sıvanarak form alması sağlanır. Form verme rijit bir şekilde gerçekleştiği ve vuruntu olmadığı için parça üzerinde yorulma gerilimi oluşmaz.

Tez kapsamındaki deneysel çalışmalar diyafram vasıtasıyla Hidroform yöntemiyle çalışan Quintus Flexform™ QFL 1.1 tezgâhında yapılacaktır.



Şekil 2.6. Diyaframla hidroform yöntemi

2.1.2. Hidroform yöntemlerinin karşılaştırılması

Sıvı basıncı ile şekillendirme işlemlerinde sac malzemenin doğrudan sıvı ile temas ettiği uygulamalarda meydana gelen sızıntıları engellemek için gereken sistem, işlem ve kurulum maliyetini arttırmaktadır. Çünkü bu durum ek güvenlik maliyetleri ve sızdırmazlık elemanları gerektirmekte veya sızıntı nedeniyle oluşan kayıplar nedeniyle işlem maliyetleri artmaktadır. Bu nedenle sac malzeme ile sıvı arasında diyafram kullanımı ile ilgili çalışmaların yapıldığı görülmüştür [5].

İlk zamanlarda çok daha basit parçaları üretebilmek için, basit ve düşük maliyetli yöntemler bulunmuşken, süreç içerisinde geliştirilen yöntemlerle daha kompleks parça imalatları mümkün olmuştur.

Bu prosesin temeli sayılacak Guerin Metodunda çok düşük maliyetle sistem kurulup parça alınabilirken, ihtiyaç adetleri yükselince ve tekrar edilebilirlik gerekince bu yöntem

yetersiz olmaktadır. Yöntemlerin tarihsel gelişimi de ihtiyaçlara istinaden gerçekleşmiştir. Bu doğrultuda ilk zamanlar da hızlıca basit parça imalatı için Guerin metodu bulunmuşken, daha karmaşık ve özellikle derin çekme parçaları alabilmek için Marform ve Maslennikov yöntemleri geliştirilmiştir. Endüstrileşme ile seri imalatla bu procesten faydalanabilmek için özel makine/pres imalatı gereksiniminin fark edilip sistem geliştirilmesiyle, prosesin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Her yöntemin kendine göre avantajları olmakla beraber endüstrileşme aşamasında, Verson ve Diyafram (Flexform™) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlere göre çalışan özel hidrolik pres imalatı yapan dünyada çok fazla firma bulunmamaktadır. Tüm hidroform şekillendirme yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Hidroform yöntemlerinin karşılaştırılması

Hidroform yöntemi	Düşük basınç	Düşük yatırım	Basit kalıp	Basit geometri	Karmaşık geometri	Seri imalat uygunluk	İşlem tekrarı
Guerin	+	+	+	+			
Marform	+	+	+		+		
Maslennikov			+		+	+	
Verson Wheelon			+	+	+	+	+
Diyaframla Hidroform			+	+	+	+	+

2.2. Metal Şekillendirme Yöntemi

2.2.1. Malzeme

Genelde hidroform yöntemi ile şekillendirilecek malzemenin tipi, kalitesi, kalınlığı gibi özelliklerinden ziyade biçimlendirilebilme, hadde yönü ve mekanik özellikleri daha önemlidir. Alüminyum, titanyum, paslanmaz çelik gibi geleneksel yöntemlerle şekillendirilebilen tüm malzemeler, uygun kalıp ve proses parametreleriyle hidroformla da şekillendirilebilir. Havacılıkta ve özellikle son yıllarda ağırlık azaltma ihtiyacından dolayı otomotiv sektöründe çok kullanıldığı için hidroform şekillendirme amaçlı bu çalışmada şekillendirilecek malzeme (aksi belirtilmedikçe) alüminyum olarak kabul edilmiştir.

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılması

ile olmuştur. Alüminyum, metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırada yer alır. 1900’lü yılların başlarında yaygınlaşmaya başlanan alüminyum birçok üstün özellikleri sayesinde endüstriyel kullanım alanları her geçen gün artmaktadır [6, 7].

Ana alaşım elementi bakır olan AA2014 alüminyum alaşımı kırılgan ve sert fazlar içerdiğinden kütleli şekil değiştirme kabiliyeti düşüktür. Bu yüzden içyapı faz dağılımı ve tane boyut homojen hale getirilerek süneklik artırılmalıdır [8]. 2000 grubu üzerinde yapılan araştırmalarda CuAl₂ ve Mg₂Si fazlarının parçalanarak α katı eriyiği içerisinde dağıtılması, küçük boyutlu tanelerin birleşerek büyümesi ile arzu edilen yüksek süneklik ve düşük dayanım elde edilmiştir [9]. Çizelge 2.2 de Al 2024 kalite malzemenin kimyasal ve farklı kondisyonlarda mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. 2024 Al alaşımının çeşitli ısıtılma koşullarındaki mekanik özellikleri [3].

Kimyasal Bileşimi									
Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zr+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	3,8-4,9	0,1	0,3-0,9	1,2-1,8	0,25	0,15	0,15	Kalan
Mekanik Özellikler									
Temper	Akma Mukavemeti (MPa)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Uzama (%50)		Sertlik (brinell)		
-	min-max		min-max		min-max		min-max		
0	75		185		20		55		
T3	340		475		18		120		
T6	230-300		310-395		10-12		110		
T8	275-315		370-420		10-12		115		

Şekillendirme

Sonuçları metal malzemenin sünekliğine ve şekillendirme koşullarına bağlı olarak tüm metaller şekillendirilebilir. Nihai Çekme Dayanımı (R_m), Akma Dayanımı (R_a) ve Uzama (ε) özellikleri, şekillendirme açısından ilk incelenecek özelliklerdir.

Gerilme (Uzama) formülü

Malzemeler Akma Dayanımlarının (R_a) üstünde gerildiklerinde kalıcı şekil değişimleri ve deformasyonlar başlar. Bu durum şu eşitlikle ifade edilir:

$$\sigma = k \times \epsilon^n$$

σ = Gerçek gerilme

k = Malzeme sabiti

ε = Logaritmik uzama

n = Deformasyon sertleştirme faktörü

Yaygın kullanılan malzemelerin çoğunda "n" değeri, 0,1 – 0,5 arasındadır. Karbon çeliklerde “n” değeri 0,18 – 0,24 paslanmaz çeliklerde ise 0,30 – 0,35 aralığında olur.

Havacılık sektöründe ağırlıklı olarak şu alüminyum serileri kullanılmaktadır. Örneğin; 2000 Serisi (Al- Cu), 3000 Serisi (Al-Mn), 6000 Serisi (Al-Mn-Si) ve 7000 Serisi (Al-Zn) gibi.

Alüminyum kondisyonları

Alüminyum, döküm veya biçimlendirme suretiyle elde edilir. İşlenebilirliğinin artması ve şekillendirmenin kolaylaşması için ısıtılma işlemi uygulanarak temperleme yapılır. Malzemenin şekillendirilmesi kolaylaşırken, sertliği o oranda artacaktır (Çizelge 2.2). Genel olarak alüminyum malzemenin ısıtılma işlemi kondisyonları Çizelge 2.3 verilmiştir.

Çizelge 2.3. Alüminyum kondisyonları (ısıtılma işlemi/temper durumları)

(O)	:	Alüminyumun fabrikasyon ve en yumuşak halidir. Tavlı ve rekristalizedir.
(W)	:	Kritik sıcaklık üzerine (solüsyon alma ısıtılma işlemi) kadar ısıtılıp hızlı soğutulularak elde edilen kararsız haldir. Buzdolabı içinde bir süre bu hali muhafaza edilebilir.
(T)	:	Isıtılma işlemi yapılarak elde edilen kondisyonlardır (T1, T2, T3, T4 vb.).
(T3)	:	Solüsyona alma ısıtılma işlemi sonrası soğutmadan geçirilir. Doğal yaşlandırma ile kararlı yapı elde edilir.
(T4)	:	Solüsyona alma ısıtılma işlemi sonrası, yapay yaşlandırma ile sertleştirilir.

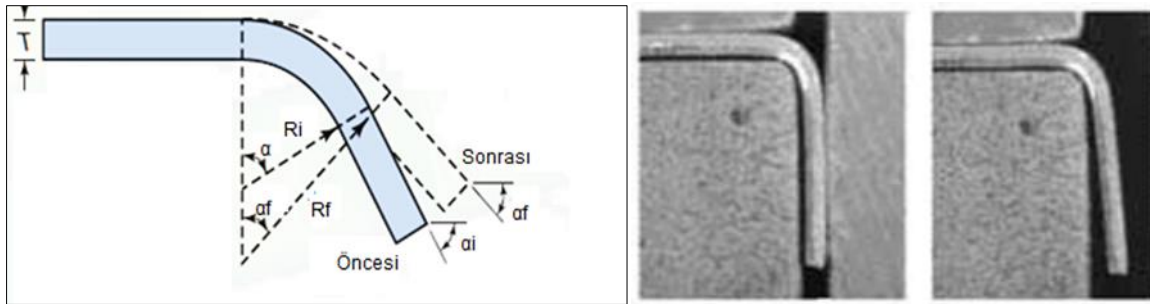
Bunlara ek olarak T42 ve T62 temperleri de mevcuttur. Başlangıçta ‘O’ temperinde olup da kullanıcı tarafından yapılan ısıtılma işlemi belirtmek için kullanılır. T42 doğal, T62 yapay yaşlanmış olma anlamına gelir.

T kondisyonlar şekillendirme için zor durumlardır. Bu sebepten ötürü form verme öncesi (O) ve (W) kondisyonları tercih edilir. Bu (T) kondisyonlarında parçaların şekillendirilemeyeceği anlamına gelmez. Parça kullanım yerlerine bağlı olarak, iletkenlik

değerleri önemlidir. (T) kondisyonlardaki bir iletkenlik değeri istenildiğinde, parça imalat süresi ve buna bağlı maliyetler dikkate alınarak ısıtıl işlem gerektirmeyen bir kondisyonda malzeme seçilebilir. Burada parça tasarımında ilgili kondisyon limit değerleri dikkate alınmalıdır (Örneğin, 2024 T3 malzemenin bükülebileceği min radyus değeri gibi).

2.2.2. Geri yaylanma değeri

Alüminyum parçaların hidroform bükme operasyonlarında belirlenmesi gereken en önemli parametre geri yaylanma değeridir. Geri yaylanma davranışına etki eden faktörler arasında; kalınlık, bükme radyüsü, kalıp boşluğu, akma dayanımı, anizotropi, elastiklik modülü ve sıcaklık başta gelmektedir [10]. Bükülen parçaların dış kısmında uzama, iç kısımlarında basma gerilmeleri oluşur. Bunun haricinde *Poisson* etkisi denilen kuvvetin uygulandığı yöne ters yönde deformasyonlar da oluşur. Kusursuz bir form için bu gerilim dağılımları önemlidir. Bükme için malzemenin elastikiyet sınırı aşılabılır ama maksimum çekme gerilmesinin aşılmaması gerekir. Dolayısıyla malzeme elastikiyet özelliğini belirli bir ölçüde korumalıdır. Parça üzerindeki kuvvet etkisi kaldırıldığında oluşan gerilmelerin parça üzerinde dağılmasıyla parça eski haline dönmeye çalışır ve geri yaylanma durumu (ilk hale geçme) gerçekleşir. Bu durum serbest, düz ve geniş bükümlerde daha bariz gözlemlenebilir.



Şekil 2.7. Geri yaylanma

Geri yaylanmayı almak için kullanılan en yaygın metot geri yaylanma miktarı kadar parçayı büyük bükme işlemidir. Burada geri yaylanma payı hesaplanırken veya deneysel verilerle veri tabanı oluştururken malzeme hadde yönünü sabit tutulmalıdır. Yaygın olarak kullanılan AL 2024 ve 7075 sac malzemelerin (O) ve (W) kondisyonları için geri yaylanma değerleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

2.2.3. Hadde yönü

Toz metalürjisi hariç tüm metaller dövme veya haddeleme ile şekillendirilirler. Haddeleme, dökülmüş kütüğün birbirine ters olarak iki merdane arasından geçirilerek istenilen boyutlara getirilmesi işlemidir. Hadde yönünün büküm eksenine paralel olduğu (Şekil 2.8 a ve c) halleri en istenmeyen durumlardır. Bu yönlü bükümlerde çatlaklar oluşabilir. En uygun olan büküm eksenine hadde yönünün birbirine dik olduğu (Şekil 2.8 b) durumlardır.



Şekil 2.8. Hadde yönleri

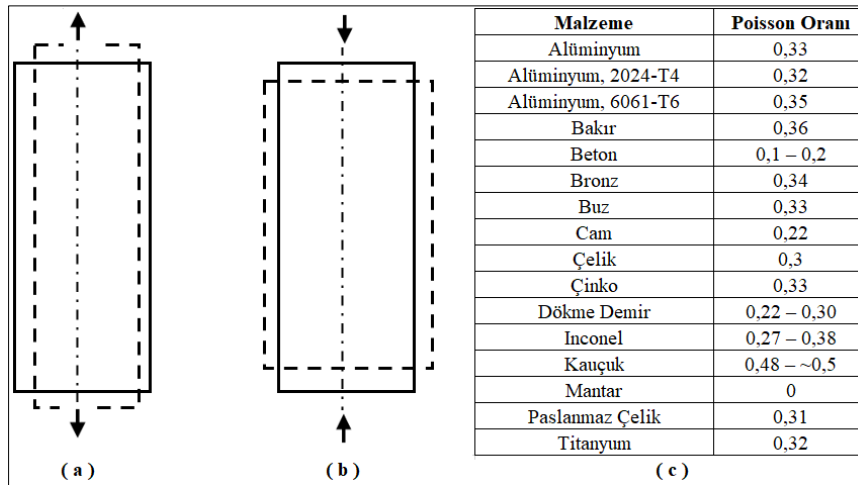
2.2.4. Anizotropi

Yöne bağlı olarak mekanik özellikleri değişiklik gösteren malzemelere anizotropik malzeme denilir. Özelliklerin yöne bağlı olarak değişmediği durumda ise malzemeler izotropik olarak adlandırılır. Sac malzemelerin mekanik özellikleri yöne bağlı olarak değişiklik gösterir [11]. Bu durum malzemelerin plastik olarak şekillendirilmesine yansımaktadır. Literatürdeki mevcut çalışmalar incelendiğinde, anizotropinin geri yaylanmaya etki ettiği anlaşılmaktadır [12]. Anizotropi değeri arttıkça malzemenin deformasyon direnci de artmaktadır. Bu durum hadde yönüne göre farklılık göstermektedir. Bükme eksenine hadde yönüne dik olan parçaları bükmek, haddeye paralel olanlara göre daha kolaydır [13]. Haddeye paralel olan parçalarda şekillendirme sonrası geri yaylanma miktarı ise haddeye dik doğrultudaki geri yaylanmaya göre fazla olmaktadır [14].

Sac şekillendirmede kullanılan çelikler genellikle anizotropiktir. İzotropi ve anizotropi malzeme cinsine değil hammaddenin üretim yöntemine bağlıdır. İnce saclar haddeleme ile üretildiği için anizotropi oluşur. Anizotropik malzemeler ise 21 bağımsız sabit ve yoğunluk ile ifade edilir [5].

2.2.5. Poisson oranı

Katı cisimler bir yönde gerilime maruz kaldıklarında diğer yönlerde bu gerilime ters yönde gerilmeler oluşur. Örneğin boyuna çekme (Şekil 2.9 A) uygulanan metal şerit, eninden kısılmaktadır. Tam tersi boydan basmaya maruz kaldığında da eninden genişler. Poisson oranı bazen eksenel ve yanal gerilmelerin mutlak değerlerinin oranı olarak da ifade edilmektedir. Bu oran 0-0,5 aralığındadır (Şekil 2.9 C). Gerilmelerde birim olmadığı için bu oranın da birimi yoktur. Poisson oranı mükemmel izotropik elastik bir malzeme için 0,25 olarak kabul edilir. Ancak çoğu malzeme için bu değer 0,28-0,33 arası olur. Çelikler için Poisson oranı ortalama 0,3 değerindedir. Bu değer, kuvvetin uygulandığı yönde oluşan 1 mm'lik bir deformasyon, kuvvetin uygulanma yönüne dik yönde 0,3 mm deformasyon oluşturacağı anlamına gelir. Kauçuk 0,5'e yakın bir Poisson oranına sahip olduğu için hemen hemen hiç sıkıştırılmaz. Poisson oranı tam olarak 0,5 olan teorik malzemeler tüm gerinim toplamaları sıfır hacim değişimine neden olduğundan dolayı gerçekten sıkıştırılmaz.



Şekil 2.9. Poisson oranı

3. HİDRAFORM İLE TASARIM KURALLARI

3.1. Konvansiyonel ve Hidroform Metotlarının Karşılaştırılması

3.1.1. Konvansiyonel form kalıpları

Sac metal levhadan kesilmiş parçaya istenilen formu verecek eksantrik veya hidrolik preslerde kullanılan ekipmanlara genel olarak form kalıbı denilmektedir. Bu çalışmada, hidroform kalıplarında verilebilecek formlara karşın, hidrolik ve eksantrik preslerde kullanılan konvansiyonel (klasik tandem kalıplar) mekanik form kalıpları olarak anılmaktadır. Abkant preslerdeki basit şekillendirmeler (V / U bükme gibi) veya progresif kalıplar, transfer kalıplar, derin çekme kalıpları gibi ileri düzey form verme kalıpları, çalışma kapsamı dışında olduğu için, bu tezde ele alınmayacaktır. Form verme işlemi temelde malzemenin plastik deformasyon sınırına ulaşp, şeklinde kalıcı deformasyon işlemini içerir. Bu operasyon sırasında (hidrolik preste nispeten daha az) şekillendirilecek parçaya mekanik olarak vuruuntu yapılacağı için parçada yorulma/gerilmeler oluşacaktır.

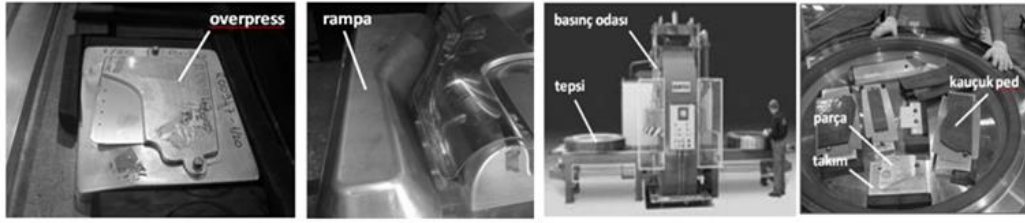
Bu bağlamda sac metal kalıpların dezavantajları şöyle sıralanabilir;

- Kalıp maliyetleri genelde yüksektir.
- Her form verilemez. Özellikle ters aç gerektiren yüzeyler tek operasyon ile alınamaz.
- Kalıp imalat ve devreye alma süresi uzun olur.
- Her üretim öncesi ilk ayar yapılması gerekir.
- Kalıp yapı karmaşıklığına bağlı olarak kabul zamanları uzayabilir.
- Bakım maliyetleri yüksektir.
- Revizyon maliyetleri yüksektir.
- Parçada metal yorulma oluşabilir.
- Form verme esnasında metal sürtünme kaynaklı parça yüzey deformasyonu/izleri olabilir.

3.1.2. Hidroform kalıpları

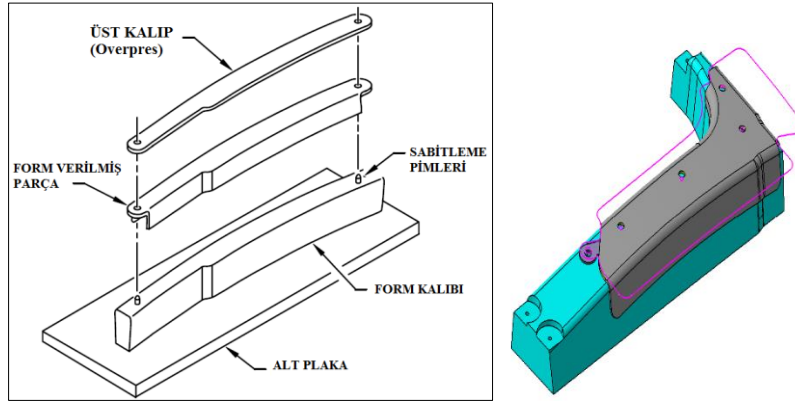
Sac parçayı hidroform tezgâhında şekillendirmede kullanılan ve genelde sadece erkek kalıptan oluşan takımlara hidroform Kalıbı (HFK) denilir. Bu takımlarda sadece alt

kalıplar vardır, üst kalıbın işlevini sıvı basıncı uygulayan diyafram almaktadır. Hidroform kalıplar; form kalıbı, alt plaka, üst plaka, rampa, sabitleme pimleri gibi alt parçalardan oluşur. Burada tezgah tablasına kalıpları sabitlemeye gerek yoktur. Şekillendirilecek açınım parçalar kalıpta pimler vasıtasıyla sabitlenir. Hem daha iyi form elde etmek hem de diyaframın zarar görmesini engellemek için kalıp ve parçayı örtecek ilave bir koruyucu kauçuk ped konur (Resim 3.1).



Resim 3.1. Hidroform işlemi

Bu kauçuk pedin sertliği; sac parça malzemesi, form tipi ve uygulanacak basınç değerine göre değişebilir. Kauçuk pedin yetmediği ve net şekillendirme olmadığı durumlarda üst kalıp (overpress) denilen ilave bir metal parça kullanılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Hidroform kalıbı

Hidroform kalıpların avantajları ise şöyle belirtilebilir;

- Kalıp imalat maliyeti klasik kalıplara göre daha ekonomik olur (%50-90 daha az).
- Kalıp tasarım ve üretim süreleri kısalmır.
- Kalıp revizyonları basittir.
- Klasik kalıplarla verilemeyen yaklaşık tüm formlar verilebilir.
- Klasik kalıplarla 2 ve daha fazla operasyonda verilebilecek formlar tek kalıpla

verilebilir.

- Basit kalıplar olduğu için, devreye alma, kalıp değişim ve ilk ayar süreleri çok az olur.
- Pres tablasına sabitlenmeleri gerekmez.
- Form verme sırasında sac parça yüzeyine kauçuk ped temas ettiği için hiçbir deformasyon/iz oluşmaz.
- Farklı kalınlıklardaki sac malzemeler aynı kalıpta şekillendirilebilir.
- Form verme esnasında parçada bir vuruş olmayacağı için yorulma ve gerilme oluşmaz.
- Pres tablasına bağlı olarak farklı biçim ve boyuttaki parçalar aynı anda basılabilir.
- Ters açığa giren etek bükümleri (boyları kısa bile olsa) yapılabilir (Resim 3.2).



Resim 3.2. Ters büküm parça

3.2. Tasarım Kuralları

3.2.1. Proses tanımları ve tasarıma etkileyen kısımlar

Bölüm 2’de bahsedildiği üzere, bu çalışmada diyafram vasıtasıyla hidroform şekillendirme yapan Flexform tezgahı için kalıp tasarımı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu proseste Şekil 3.2’te gösterilen, diyafram denilen kauçuk pede uygulanan hidrolik basınç vasıtasıyla, pres tablasındaki kalıbın üzerinde bulunan açınım parçasının kalıptaki forma sıvanmasıyla form verme işlemi gerçekleşir.



Şekil 3.2. Hidroform tezgahı tablası bileşenleri

3.2.2. Kalıp ölçüleri yüksekliği

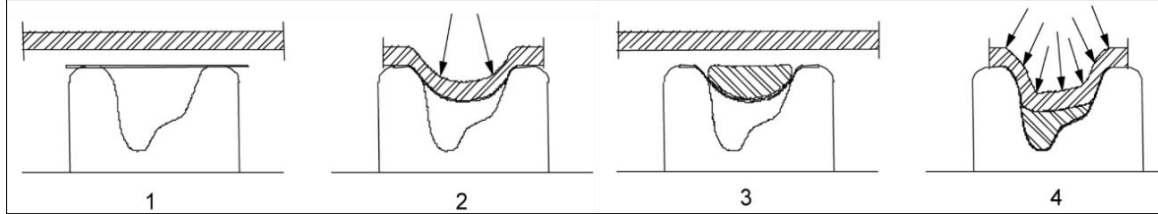
Kalıp tasarımı sürecinde diyaframın zarar görmeyecek şekilde kalıp geometrisi ve ölçülerini belirlemek çok önemlidir. Diyafram kesinlikle genişleyeceği için bunun çapından büyük yuvalara/deliklere basmaya ve girmeye zorlanmamalıdır. Burada 1,5 katı kuralı geçerlidir. Genişlik, derinliğin min 1,5 katı olmalıdır. Fazla olması durumunda Şekil 3.3 (b)'deki gösterildiği üzere yuva gerekli yüksekliği sağlayacak kadar kauçuk pedlerle doldurulmalıdır.

Önemli not: Böyle bir durumda beslenecek kauçuk hesabında bunun 800 bar (11600 psi) basınç altında %3 kadar sıkıştırılabileceği kabul edilir.



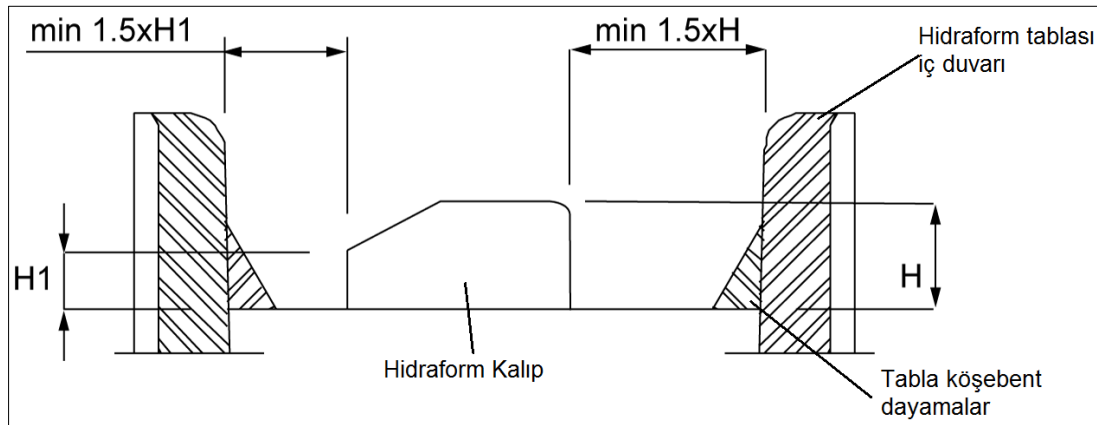
Şekil 3.3. Diyaframın mak uzama sınırları

Bu kuralı sağlamayan form verme işlemi gereken Şekil 3.4 (1) gibi durumlarda; önce düşük basınçta kritik yüksekliğe kadar ilk form verilir (2) , ardından kalan yükseklik kadar kauçuk parça diyafram ve ön form verilmiş parça arasına konulur (3) ve nihai form yüksekliği verilir [4].



Şekil 3.4. Derin form gerektiğinde uygulanacak işlem

Kalıp ölçüleri hidroform tezgah tabla boyutlarına göre optimize edilmelidir. Tabla iç ölçülerinin tamamı kalıp ölçüsü olarak kullanılamaz. Kalıp yüksekliğinin 1,5 katı mesafeye kadar kalıplar konumlandırılabilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kalıp konumlandırma

Kalıp yüksekliği, parça maksimum etek boyundan fazla olmalıdır. Tercih edilen oran 3/2 kadar olur. Bu değere kalıp taban plakası dahil değildir. Toplam kalıp yüksekliği pres tabla derinliğini aşarsa diyafram zarar görebilir (buna dikkat edilmelidir). Boy ve genişlik ölçüleri düşük, yüksekliği fazla olan kalıpların basımında mümkün olduğu kadar pres tablası benzer yükseklikte kalıplar veya kauçuk pedlerle doldurulmalıdır.

3.2.3. Parça sabitleme noktaları

Parça sabitleme noktaları belirlemede iş parçasında verilen veri (datum) tanımları dikkate alınır. Bunlar parça sabitleme yüzeyleri belirlemek için çok önemlidir. Bu sayede olası boyutsal hatalar önlenir. Açınım parçayı kalıba sabitlemek için parça net kenar hattına (EOP) bağlantı kulakları eklenir. Bu kulaklar form sonrası havalı kesme el aletleriyle veya basit kesme aparatlarıyla kesilir ve çıkartılır. Parçayı sabitlemek için kullanılan pimlerin bağlantı kulaklarında gireceği delikler parça net kenar ölçülerinden en az 10 mm uzaklıkta açılmalıdır. Parça geometrisinin izin vermediği durumlarda, parça datum deliklerinden de sabitleme yapılabilir. Bu durumda parçadaki forma bağlı olarak delik deformasyonunun oluşacağı dikkatten kaçmamalıdır. Açınım parçayı kalıba yerleştirirken hatalı konumlamayı önlemek için şu tür hususlar önemlidir;

- Simetrik olmayan kulak mesafeleri
- Bağlantı kulaklarının birisini farklı çapta tasarlanması
- Hata önleyici pim ve bu pimin olduğu kulağın kesik olması.

3.2.4. Geri yaylanma değeri

Geri yaylanma, 2. Bölümde de bahsedildiği gibi, hidroform kalıp tasarımında en kritik detaydır. Plastik deformasyon sebebiyle oluşan geri yaylanma pratikte tamamen ortadan kaldırılamaz. Geri yaylanma değeri form verilecek malzemenin kalitesi, kondisyonu ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Pratik uygulamada saha tecrübelerinden ve hesaplaması uygulama ile doğrulanmış olan değerlerin tutulduğu tablolardan faydalanılır. Yaygın olarak kullanılan bazı AL malzemelerin kondisyon, kalınlık ve büküm radyüslerine göre geri yaylanma değerleri Çizelge 2.4 de verilmiştir.

3.2.5. Kalıp malzemesi seçimi

Hidroform kalıbının tasarımında kalıp malzemesini seçerken dikkat edilecek hususlar şunlardır;

- Şekillendirilecek parçanın malzemesi
- Üretim adedi
- Parçanın formu

Genellikle kalıp malzemesi, sürtünme yapışmasını ve sıyırmayı engellemek amacıyla parça malzemesinden farklı ve mukavim olarak seçilir. Uygulamaya ve üretim adedine göre kalıbın çalışan yüzeylerine kaplama/parlatma yapılabilir.

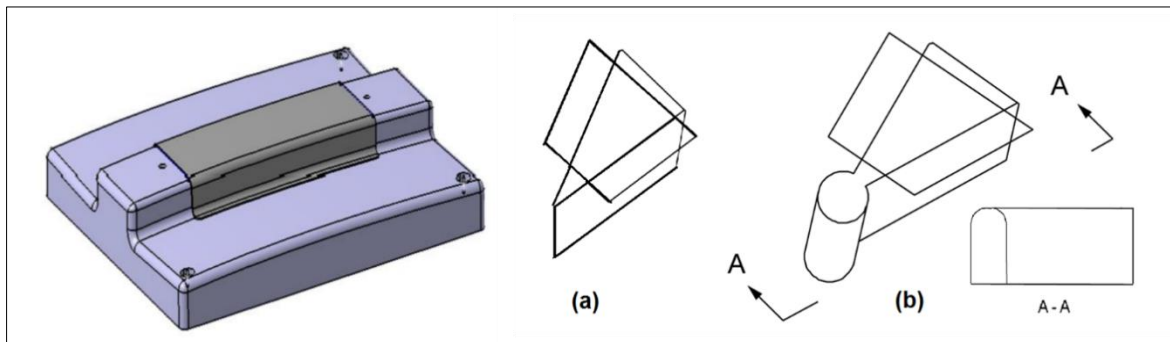
Alüminyum: En yaygın kullanılan kalıp malzemesidir. Yoğun ve sert bir alaşım olması, yüksek mukavemet ve korozyon gibi uygun özelliklerinden ötürü 7075 alaşımı ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. T6/T651 temperi ile işlenebilirliği arttırıldığı için tercih sebebidir.

Çelik: Parça üretim adedinin yüksek olması, malzemenin titanyum veya çelik olması durumlarında kalıp malzemesi olarak kesinlikle seçilmelidir.

Masonite: Düşük adetli (ortalama 50 kez çalışma) ve yumuşak malzeme şekillendirmede kullanılabilir. Parçanın takım üzerinde akması pek müsait olmadığı için çok kullanılan bir malzeme değildir.

3.2.6. Kalıpların kenar ve köşe radyüsleri

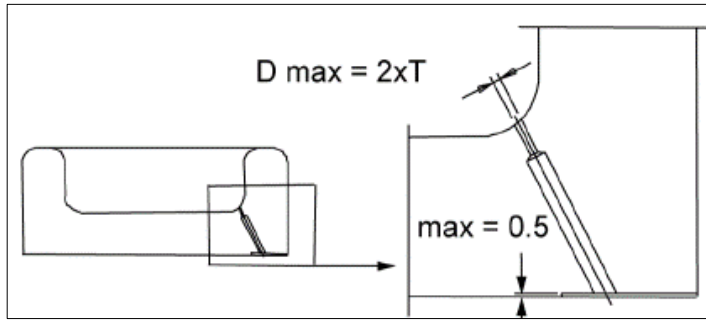
Hidroform kalıplarında kauçuk diyaframa en fazla zarar veren hususlar kalıp üzerindeki sivri ve keskin köşelerdir. Kalıp tasarımı sonrası buradaki boyutsal ve fonksiyonel açıdan önemli olmayan tüm kenar ve köşeleri mümkün olan en büyük kaviste olmalıdır. Keskin köşeler min 10 mm yarıçapında kavislere sahip olmalıdır. Özellikle hacimsel olarak büyük kalıplarda radyüs değerini belirlerken öngörülen değer kalıbın işleme süresini çok artıracığı da dikkate alınmalı ve buna uygun değer seçilmelidir. Kalıp tasarımına ait keskin köşeler/uçlar Şekil 3.6 (b)'de gösterildiği şekilde tasarım değişikliğiyle uygun bir hale getirilmelidir.



Şekil 3.6. Keskin köşelerin yuvarlatılması

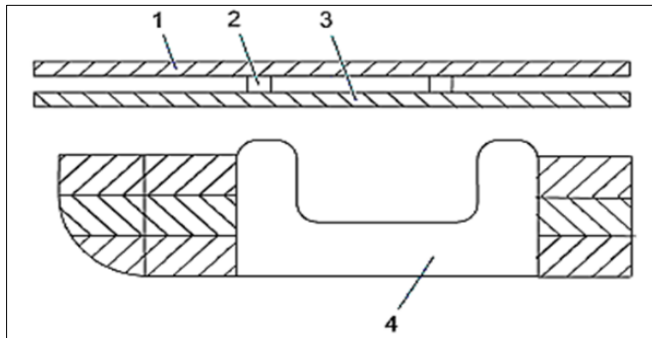
3.2.7. Havanın tahliye edilmesi

Hidroformda özellikle derin çekme yapılırken sac parçanın sıvanacağı kalıptaki yuvada bulunan hava, kauçuk pedlerin diyafram vasıtasıyla saca yüzeysel olarak basınç uygulamasıyla oluşan yalıtımdan ötürü sac parça ve kalıp arasında sıkışacaktır. Bu durum hem çekmenin tam olarak gerçekleşmemesine hem de parça yüzeyinde kırışıklığa sebebiyet verecektir. Bunun için yuvada, kalıp tabanına kadar tam boy hava tahliye delikleri açılmalıdır. Burada parça radyüslerinin kalıptaki karşılık radyüsleri en uygun yerlerdir. Aynı durum kalıp tabanı ile pres tablası arasında da oluşacağı için kalıp içine açılan deliklerin kalıp tabanında denk geleceği yerlere min delik çapı kadar derinlikte boydan boya kanallar açılması gerekir. Açılacak mak delik çapı malzeme kalınlığının(T) 2 katı olarak alınabilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Hava tahliye deliği

Kalıp üzerine hava tahliye deliği açılmadığı durumlarda, Şekil 3.8'deki gibi, tabla ve örtü pedlerinin arasına kauçuk şeritler yerleştirilerek yuvadaki havanın tahliye etmesi sağlanır.



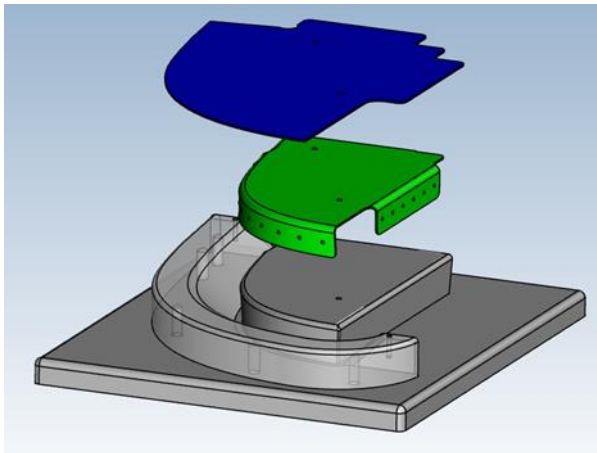
Şekil 3.8. Tahliye deliği açılmadığı durumlardaki çözüm (1-Tabla Pedi, 2-Kauçuk Şerit, 3-Örtü Pedi, 4-Kalıp)

3.2.8. Baskı Plakası (Overpres) gereksinimi

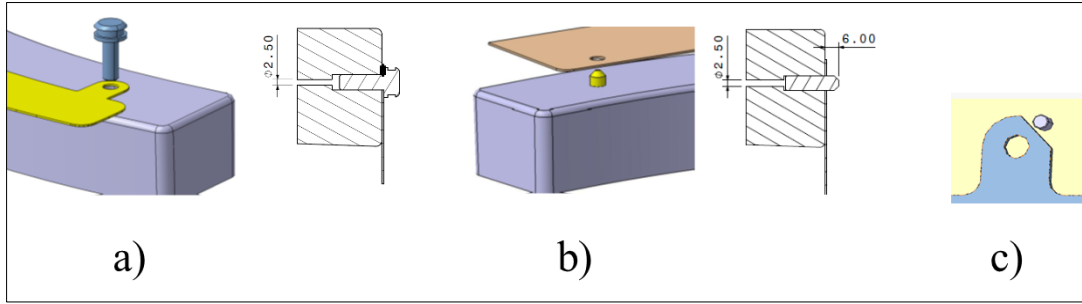
Bazen parça üzerindeki formların çok ince olması ve diyaframın malzeme liflerini kıramaması sebebiyle prosese baskı plakası eklemek gerekir. Eğer kalıpta baskı plakası gerekli ise tasarım aşamasında bu plakanın farklı bir şekilde yerleştirilme ihtimali ortadan kaldırılmalıdır. Kalıp ile baskı plakası arasındaki merkezleme pimlerini farklı çaplarda eklemek veya asimetrik yerleştirmek sureti ile bu gereksinim sağlanabilir. Baskı plakası, sökülüp takılabilir olmalı ve çalışma boşluğu unutulmamalıdır. Baskı plakasını yerleştirmek için eklenen pimin takım tarafındaki delikte boşluklu (örneğin H8), baskı plakasındaki delikte ise sıkı (örneğin H7) tolerans değerleri verilebilir.

3.2.9. Rampa gereksinimi

Etek boyunun sorunsuz bükülebilir boyutlardan büyük olduğu durumlarda, parça açınımında etek boylarına fazlalıklar eklenir. Kalıp tasarımında bu fazlalıkları karşılayacak şekilde form kalıbının çevresine rampa denilen ve duvar görevi gören kalıp parçası eklenir (Resim 3.3). Açınım parça rampa ve kalıp üzerine oturtulur. Form sırasında rampa üzerinden kayarak, rampa ve kalıp arasına süpürülür. Burada hacim azaltıldığı için buraya dolmaya çalışan diyafram serbest duruma göre daha fazla basınç uygular. Form sonrası parça eteğinde alt tarafta ‘V şeklinde’ fazlalık tezgahta veya elle işlenerek net ölçüye getirilir. Bu yöntemle serbest durumdaki bükme de etekte oluşan kırışmalarda fazlalık kısmına ötelendiği için bu sorun da çözülmüş olur.



Resim 3.3. Rampa örneği

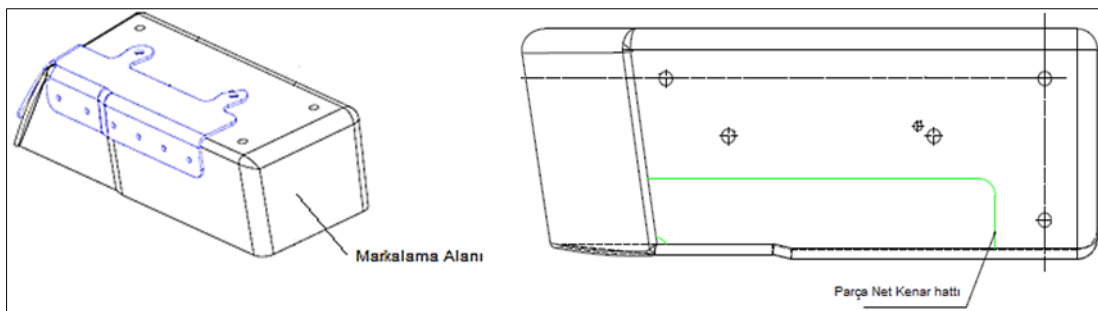


Resim 3.5. Kalıplarda kullanılan standart pimler

Kalıp üzerindeki pimlerin kalıba takılacak deliklerini kademeli olacak şekilde tam boy delinmesi, olası pim kırılmalarında kırılan kısmın kalıptan çıkartılabilmesi için önemlidir.

3.2.13. Kalıp üzeri markalama

Kalıpların parça oturma (web) yüzeyine iş parçasının net kenar hattı (kulaklar olmadan) çizilmelidir ve teknik resimde tanımlanmalıdır. Bu uygulama net açınım ölçüleriyle parça basılacağı zaman geçerlidir. Form sonrası etek kesme/işleme operasyonu öngörülmüş ise bu çizim referans amaçlı yapılabilir. Pratik uygulamada, çizme 0,2 mm ölçüsünde kanal açma şekliyle yapılmakla beraber, lazer kazıma yöntemiyle de yapılabilir. Kalıp üzerinde etiket markalaması yapılacak bölge teknik resimde net bir şekilde gösterilmeli ve yazdırılacak bilgiler net olarak tanımlanmalıdır. Markalama alanı kesinlikle net kenar hat çizimleri dışında kalıbın alansal olarak müsait bir yerine olmalıdır (Şekil 3.9).

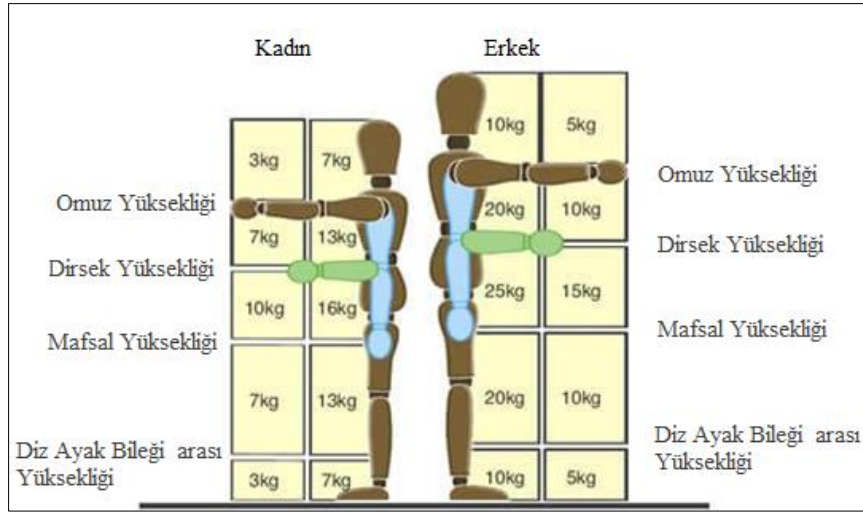


Şekil 3.9. Kalıp üzerindeki markalama verileri

3.2.14. Ergonomi

Tasarlanan kalıbın ergonomisi çalışan sağlığı açısından çok önemlidir. Tasarım

aşamasında operatörün rahat çalışmasını sağlayacak ve iş kazasına sebebiyet vermeyecek koruyucu önlemler düşünülmelidir. Örneğin maksimum kalıp ağırlıkları güvenli taşıma kaldırma limitlerini geçmemeli (Şekil 3.10) ve taşıma/çalışma sırasında hareketli/bağımsız parçaların sabit olmasına dikkat edilmelidir. Kalıp ağırlığının maksimum ağırlıkları geçtiği durumlarda vinç veya forkliftle kaldırılabilmesi için, kalıplarda kaldırma mapalarının uygun yerlere tanımlanması ve buna bağlı da kalıp boyutları güncellenmelidir. Forklift ayakları için kalıp altına eklenecek yuvalar, hidroform preslerde kalıp yüksekliğinin kritik olması ve çalışma esnasında diyaframın bu boşluklara girip zarar görebileceğinden, uygun değildir.



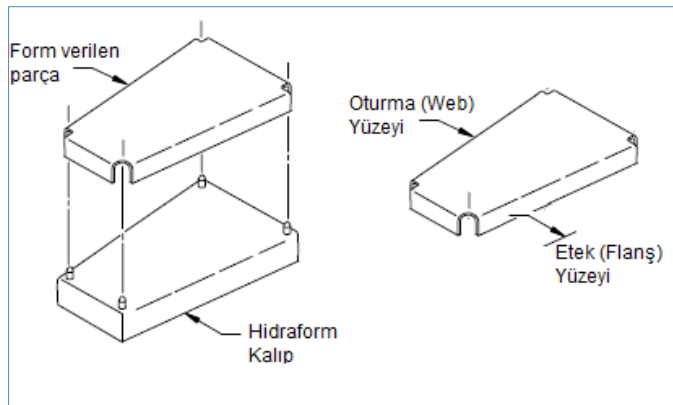
Şekil 3.10. Güvenli yük taşıma / kaldırma limitleri

4. YÖNTEM / KALIP TASARIMI

Çalışmamızın bu bölümünde, hidroform kalıp tasarımı dikkat edilmesi gereken kriterlerden bahsettikten sonra hidroform şekillendirmeye uygun bir uçak parçasına ait hidroform kalıp tasarımı tanıtılacaktır. Kalıp tasarımı Catia V5.R21 programı kullanılarak açıklanmıştır.

4.1. Hidroform Kalıp Tasarımı

Hidroform kalıp tasarımına başlamadan önce, Bölüm 3’de bahsedilen kalıp unsurlarına karar verilmiş olmalıdır. Her sac şekillendirme yönteminde olduğu gibi prosesi ve üretim ekipmanını belirleyecek olan ana unsurlar, parçanın teknik resim istekleri (malzeme, boyut / geometrik toleransları, kullanım yeri vb.) ve üretim adetleri olur. Tüm istekler beraber değerlendirilerek kalıbın malzeme seçiminden, üretim yöntemine kadar tüm kriterler tasarıma başlanmadan tasarımcı tarafından değerlendirilip konsepte başlanmalıdır. Örneğin Ar-Ge aşamasında bir parça üretilirken üretim adedi çok düşük (en fazla 5 adet) olacağı için kalıp malzemesini, iş parçasının malzemesinden bağımsız masonite seçmek, sert metal parçalarda kalıbın ilk baskıda deforme olup hurdaya çıkmasına sebep olabilir.



Şekil 4.1. Hidroform kalıp tanımları

4.2. Yüzey Gereksinimi

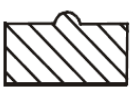
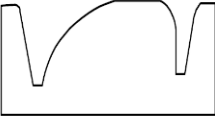
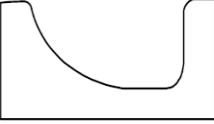
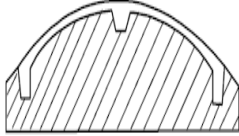
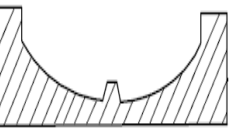
Hidroform kalıp tasarımı iş parçasına bağlı olarak birkaç farklı şekilde yapılabilir. Parçanın yüzey gereksinimi (yani, kalıbın şekli) belirlenerek tasarıma başlanmalıdır. Örneğin Şekil

4.2'deki 1. parça için 3 farklı şekilde kalıp tasarlanarak parça alınabilir. Parçada özel bir durum yoksa en hızlı ve en ekonomik (ucuz) üretilebilecek olan yöntem (a) olarak seçilmelidir. Böylece hem daha küçük kütük ölçülerinde malzeme kullanılır hem de daha az malzeme işlenerek kalıp üretilir.

Derin form verme yapılacak durumlarda kalıbı dişi olarak tasarlamak daha uygun olur. Kalıpta geniş ve derin bir form olacağı için, kauçuk ped iş parçasına dengeli olarak basıp kalıp yüzeyi ile temas edecektir. 2. parça gibi formun derin olduğu durumlarda form sonrası eteğin kenar hattı net olmayacağı için, kalıbı (b) deki gibi dişi tasarlayıp etek uçlarını boşa çıkarmak uygundur. Tersine (a)'daki gibi erkek kalıp tasarlanırsa rampa görevi yapacak havuzlar da tasarıma eklenmelidir -ki bu da hem kalıp hem de parça açınım boyutlarını artırır.

Kalıbın erkek veya dişi olarak tasarlanması parçanın hangi yüzeyinin kullanılacağına da bağlıdır. Kalıptaki çizik, kir, çapak gibi istenmedik özellikler parça ile kalıp arasında kalacağı için form verme esnasında parça yüzeyinde deformasyon ve iz oluşmasına sebep olabilir. Bunu engellemenin en basit yöntemi parça hassas yüzeyinin kalıpta dışa gelecek şekilde belirleyip bu yüzeye kauçuk pedin temas etmesi sağlanmalıdır.

Örneğin 3. parçada derin form olmasına rağmen hassas yüzeyi dış taraf olduğu için, kalıbı dişi yerine erkek (a) olarak tasarlamak gerekir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda kalıbı her basım öncesi özenle temizlemek gerekir.

	Örnek İş Parçası	a)	b)	c)
1				
2				
3				

Şekil 4.2. Örnek kalıp modelleri

4.3. Parça Toleransları

Kalıbın üretim toleransları parçanın en dar toleransını sağlayacak şekilde tanımlı olmalıdır.

Parça basımında kalıp yüzeylerinde bir deformasyon, çizik vs. oluşup oluşmadığı takip edilmeli, kalıp tipi ve malzemesi bu tür bir deformasyona izin vermeyecek şekilde belirlenmelidir. Parçadaki form radyüsleri parça kalınlığıyla (t) orantılı olmalıdır. Yeterli radyüs tanımlı olmadığında, parça büküm yerlerinde çatlaklar ve hatta yırtıklar oluşabilir. Teoride genel kullanımdaki bazı malzemelerin min büküm radyüsleri Çizelge 4.1’de tanımlanmıştır. Bu değerler malzeme temperine ve üretimine bağlı olarak değişebilir.

Çizelge 4.1. Bazı malzemelerin min büküm radyüsleri (750 bar basınç altında)

Malzeme	Min radyüs (t: parça kalınlığı)
Alüminyum	1,5 t
Çelik, derin çekme kalitesi	4,5 t
Paslanmaz Çelik	7 t
Pirinç	3,5 t
Bakır	2,5 t

Parça tasarımının izin vermediği durumlarda aşamalı olarak parça basılarak radyüs küçültülebilir. İlk basımda düşük barda parçayı bastıktan sonra kalıbı silerek temizleyip ikinci basımda yüksek barda parça basılabilir. Burada hareketi önlemek için kesinlikle yağ veya hava kalmaması önemlidir. Bu yöntemle tek basımdaki duruma göre yaklaşık %20 daha iyi sonuç alınabilmektedir.

4.4. Etekler

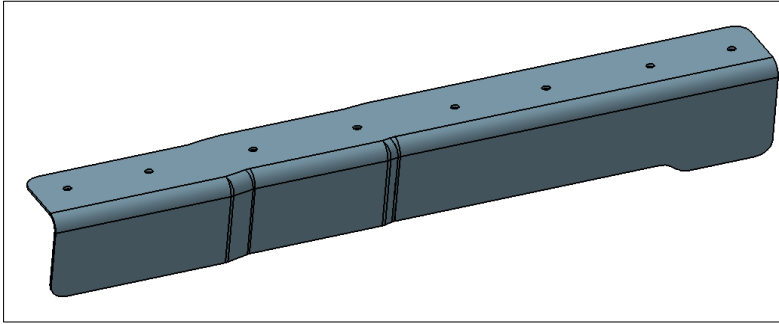
Parçadaki açılı düz etekler kolay bir şekilde form verilebilir. Eteklerde yüzeyin bükey olması durumlarında farklı etkiler oluşacağı için kalıp tasarımında bu durumlar dikkate alınmalıdır. Dış bükey etek bükümlerinde etek yüzeyinde gerilmeler ve hatta çatlaklar oluşabilir. İç bükey etek bükümlerinde büzülme ve kırışmalar oluşabilir.

4.5. Kalıp Modelleme Aşamaları

Hidroform kalıbının modellenmesine öncelikle parça dataları incelenerek başlanmalıdır.

Tasarım girdileri

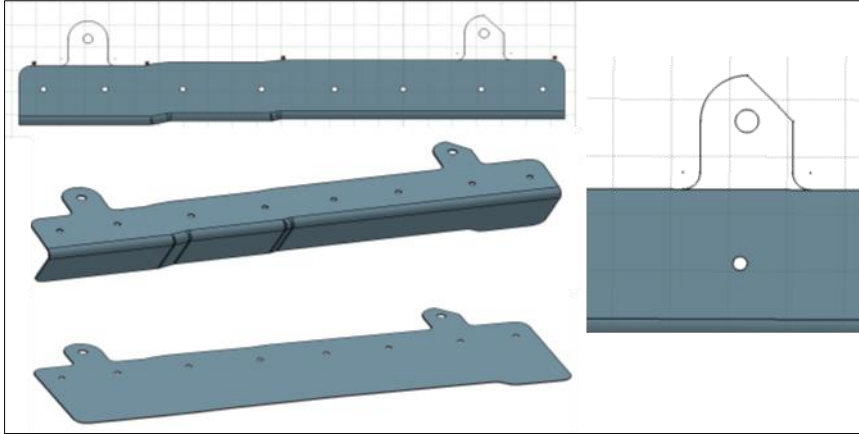
Parçamız (Resim 4.1) ; t: 0,8 mm kalınlığında AL 2024 T0 malzemeden tasarlanmış bir gövde yapısal parçasıdır. Büküm radyüsü R3 olan parçada; boy 223 mm, etek boyları ise 30 mm gelmektedir. Parça nihai aşamada T4 halinde istenildiği için form öncesinde ısıtılma işlemi uygulanıp W haline getirilir ve bu haliyle form verme gerçekleştirilir. Hassas yüzey tanımlı olmayıp büküm hattında herhangi bir çatlak istenmez. Toplamda 150 parça üretimi amaç olup yıllara sair üretim gerçekleştirilecektir.



Resim 4.1. Kalıp modellemesi için örnek parça

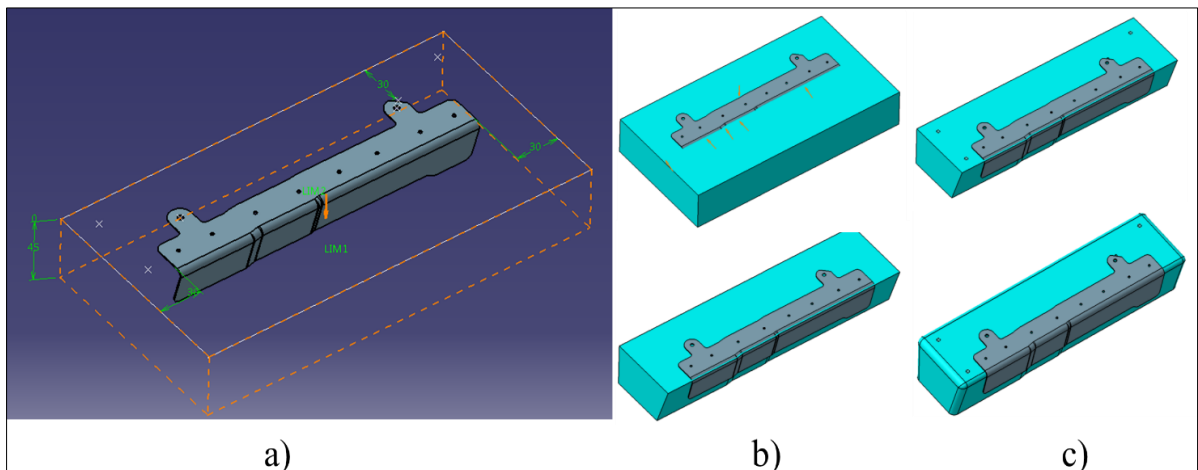
Bu bilgiler kapsamında tasarıma; kalıp malzemesi, parça malzemesinin alüminyum ve üretim miktarının makul seviyede olması sebebiyle alüminyum alaşımı seçerek başlanabilir. İşlenebilirlik ve temin kolaylığı açısından AL 7075 tercih edilebilir. Büküm radyüsünün alüminyum parçalarda tanımlı olan 1,5 t oranına göre min R 1, 2 olmasına karşın bu parçada R 3 olması ile problemsiz bir büküm yapılabilir. Geri yaylanma değeri, Çizelge 2.4 te tanımlı t: 0,8 2024 W malzeme için büküm radyüsü R 3 olduğu durumda; 4,9 ° olarak belirtilmiştir. Parametrik verileri belirleme sonrası öncelikle parça bağlantı kulakları parça datasına eklenir ve ardından da açınım çıkartılmalıdır. Bağlantı kulak şekil ve ölçüleri mümkün olduğunca standart hale getirilmeli ve parça uzunluğuna göre de sık yapılmalıdır. Bağlantı kulaklarının standart hale getirilmesi işlemde min farklı çapta pim kullanma sağlayacağı gibi form sonrası bu kulakları kesmede kullanılacak havalı bir kesme ekipmanı ile de kesme hızlanabilir. Parçayı kalıba ters/hatalı yerleştirmeyi önlemek için

kulaklardan birinde kesik oluşturulur ve kalıpta karşılık yere küçük bir pim eklenir (Resim 4.2). Bu pimin kalıp üzerindeki boyu parça kalınlığından en çok %20 fazla olabilir. Hatasız konumlama için kulaklarda farklı çaplarda delikler ve simetrik olmayan kulak mesafeleri de kullanılabilir. Bağlantı kulakları eklenmiş hali ile parçanın açınım datası hazırlanıp kalıp tasarımına geçilebilir.



Resim 4.2. Bağlantı kulaklarının tanımlanması

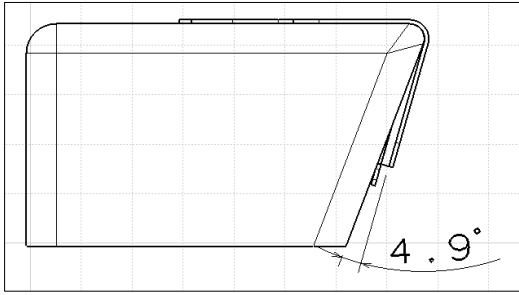
Parça kübik ölçüleri dikkate alınarak en uç mesafelerinden 30'ar mm ekleyerek kalıbın eni ve boyu belirlenebilir. Bükülecek etek boyu $\times 1,5$ hesabıyla da burada kalıp yüksekliği 45 mm olarak belirlenmiştir (Resim 4.3 (a)).



Resim 4.3. Hidroform kalıp tasarımı aşamaları

Split Defination komutu ile kalıbın kütük ölçüleri parça ölçülerıyla uygun hale getirilir (b). Bağlantı kulaklarındaki deliklerin CMM ölçüm deliklerinin kalıba aktarılması ve en son

olarak da tüm keskin hat radyüslerin eklenmesiyle kalıp tasarımı kabaca tamamlanır (c). Büküm hat radyüsünün parça büküm radyüsü ile aynı olması gerekir. Diğer radyüsler işleme süresini gereksiz arttırmayacak şekilde kalıp boyutları müsaade ettiği kadar büyük tanımlanabilir. Bu çalışmada büküm hattı hariç diğer radyüsler R 6 olarak tanımlanmıştır. Parçanın istenilen ölçüde bükülebilmesi için büküm açısı + geri yaylanma değeri kadar bükülmesi gerekir. Bu da kalıp açısının parça açısından geri yaylanma değeri kadar büyük olmasıyla sağlanır. Geri yaylanma değerinin kalıba aktarılması için parçadaki tüm iç yüzeylerin (kalıba temas eden) tanımlanıp boyutlandırılması gerekir. Hem oturma yüzeyi hem de büküm etek yüzeyleri kalıp kalınlığından büyük olmalıdır (örneğin 60 mm). Oturma yüzeyi ile büküm yüzeylerinin kesişim hattı döndürme çizgisi olarak tanımlanıp oturma yüzeyi sabit tutularak, büküm yüzeyleri geri yaylanma değeri kadar kapatılır. Bu yüzeyler kalıba aktarılarak kalıp yüzeyi olarak tanımlanıp katı model güncellenir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Geri yaylanma değerinin kalıba aktarılması

Parça ve kalıba ait bilgiler/tanımlar kalıp üzerine çıkmayacak bir şekilde markalanmalıdır. Bu markalama parçanın temas yüzeylerinde yapılmamalıdır. Aksi halde kalıptaki bu markalama parçaya çıkabilir. Tanımlama için etiket kullanılmak istenirse, kalıbın parça temas etmeyen yüzeylerine etiket monte edilebilir. Müşteri isteğine bağlı olarak bitmiş parçanın kenar hattı, oturma yüzeyi için kalıba çizilebilir. Bu hem versiyon parçalarda karışıklığı hem de parçanın kalıba nasıl oturtulacağına referans etmesi açısından faydalıdır.

4.6. Tasarımın PowerCopy Eklentisi ile Otomatik Olarak Güncellenmesi

Hidroform kalıp tasarımında en önemli konu geriyaylanma değerinin kalıpta doğru tanımlanmasıdır. Tasarım işçilik süresinin en büyük yüzdesi, kalıba yüzeylerin aktarılıp geriyaylanma kadar döndürülmesidir. Uçak parçalarında birbirinin benzeri ve versiyonu

çok fazla parça olduğu için, bu işçiliğin her kalıp tasarımında tekrarlanması, tasarım işçiliğini arttırmaktadır. Powercopy eklentisinde geri yaylanma değeri tanıtılarak, bu sayede otomatik olarak girilen geri yaylanma açısı kadar işçiliği tekrar ettirerek tasarım süresi ciddi oranda düşürülebilir.

Powercopy eklentisi, katı model modülünde *Product Knowledge Template*, yüzey modülünde ise *Replication* araç çubuğunda bulunur. Araç çubukları farklı olmasına karşın, uygulamada herhangi bir farklılık yoktur [15].

Powercopy ikonuna basılır ve iletişim penceresi (Resim 4.4) gelir. Bu pencerede 5 ayrı sekme ve her bir sekme içerisinde de değişik opsiyonlar ve alanlar bulunur.

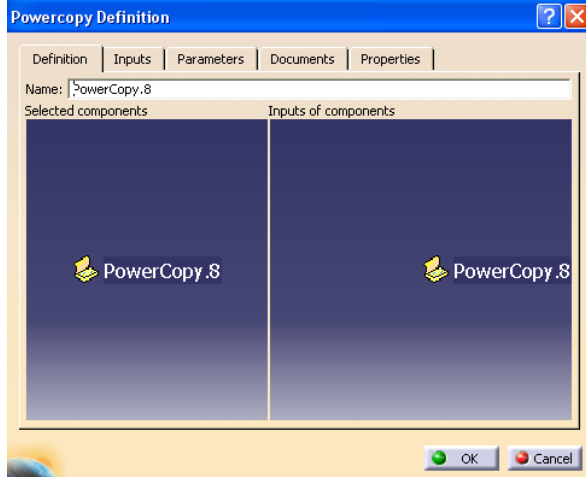
Definition; Powercopy oluşturulacak unsurların seçildiği ve bu unsurları yeniden oluşturmak için gerekli minimum girdi elemanlarını gösteren karttır.

Inputs; Powercopy oluştururken girdi için kullanılacak elemanlara daha kolay anlaşılan ve manidar (anlamlı) isimler verilen alandır.

Parameters; seçilen elemanlara ait parametrelerin listelendiği alandır. Bu parametreler istenirse Powercopy içinde yayınlanıp, Powercopy oluşturulması sırasında değiştirilebilir.

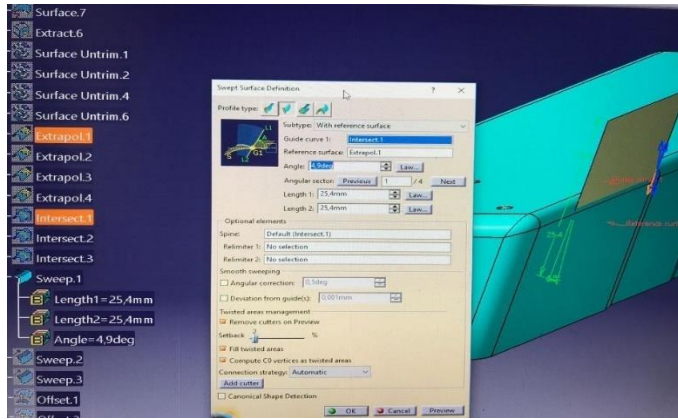
Documents; mevcut parça dosyasının sahip olduğu dış dosyaları görüntüler (Design Table gibi).

Properties; Powercopy'nin ürün ağacında gösterileceği ikonun seçimi yapılır [15].



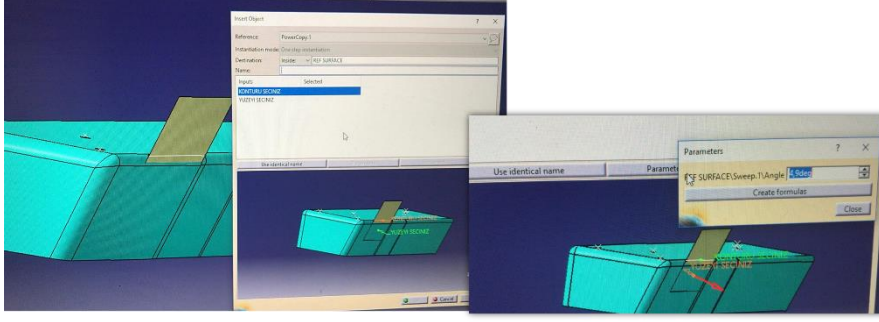
Resim 4.4. Powercopy penceresi

Resim 4.5 deki gibi tasarım ağacına powercopy eklenmesiyle, büküm hattı (Intersect.1) ve Referans yüzey (Extrapol.1) tanımlanır. Inputs dan kontur (büküm hattı) ve yüzey tanımlanır. Parameters'dan da bu iki bileşen arasındaki açı, tasarıma ait geriaylanma açısı tanımlanır.



Resim 4.5. Powercopy'ye büküm hattının ve yüzeyin tanımlanması

Powercopy çalıştırıldıktan sonra sırasıyla, KONTUR ve YUZEY girdileri tıklanarak, tasarım ağacından bu bileşenler seçilir. İletişim penceresindeki Parameters butonu tıklanarak (Resim 4.6) açı değeri girilir, kalıbın geriaylanma değeri değiştirilerek komple tasarım güncellenmiş olur.



Resim 4.6. Powercopy ile tasarımın güncellenmesi

5. ÖRNEK KALIP TASARIMLARI

5.1. Hidroform Kalıp Tasarımı

Bu bölümde örnek kalıp tasarımlarıyla hidroform kalıp örnekleri anlatılmıştır. Parçalara form vermek için yapılacak çok çeşitli kalıp tasarımı olmakla beraber, tasarımın limitlerini ve dolayısıyla kalıp tipinin seçilmesini belirlerken; parça malzemesi, üretim adedi, tolerans talepleri gibi belirleyici konular beraber değerlendirilip karar verilmelidir. Bazı durumlarda parçanın geometrisine bağlı olarak kalıp tipinde alternatif bulunmayabilir.

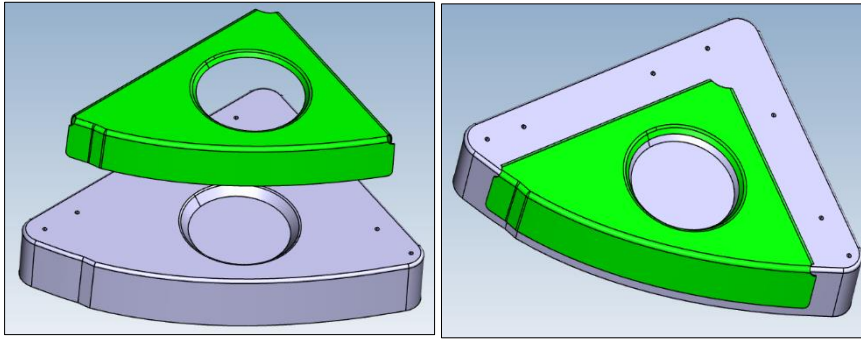
Örnek Tasarım-1

Sektör: Otomotiv

Üretim: Ön Seri

Parça Malzemesi: Alüminyum

Kalıp Malzemesi: Alüminyum



Resim 5.1. Hidroform kalıp tasarımı (tek gözlü)

Bu örnek tasarımda parça malzemesi ve üretim adedine (küçük) bağlı olarak kalıp malzemesi alüminyum olarak seçilmiş ve kalıp yüksekliği 3/2 kuralına göre parça etek boyundan büyük alınmıştır (Resim 5.1). Parça büküm radyusu tanımlı limitler içerisinde olduğu için bir problem olmaz. Form sonrası etek uçlarında bozulma olursa ilave bir operasyonla net kesim yapılabilir.

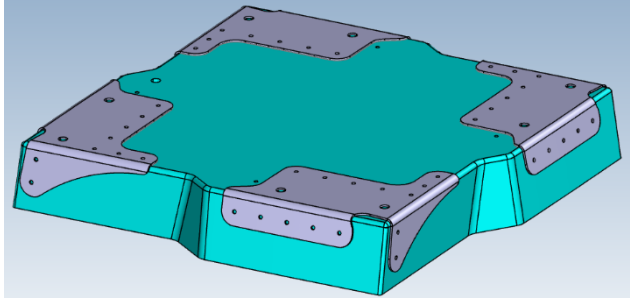
Örnek Tasarım-2

Sektör: Havacılık

Üretim: Seri İmalat

Parça Malzemesi: Titanyum

Kalıp Malzemesi: Çelik



Resim 5.2. Hidroform kalıp tasarımı (çok gözlü)

Bu tasarımda parça malzemesinin sert oluşu ve kalıbın seri imalatla çalışacağından ötürü kalıp malzemesi çelik seçilmiştir. Üretim adetlerinin yüksekliği sebebiyle kalıp dört gözlü olarak tasarlanmıştır. Bu sayede hidroform presin her baskısında 4 adet parça alınarak, parça imalat süresi ciddi oranda azaltılmıştır. Kalıp yüksekliği, parçada bükülen en büyük etekten yüksek olarak tasarlanmıştır (Resim 5.2). Çok gözlü kalıplarda seri imalatla yaşanması muhtemel hatalı parça konumlandırma problemlerine karşın, mutlaka hata önleyici pimlerin tasarıma eklenmesi gerekir. Üretim adedinin yüksek olması ve malzemenin çelik oluşundan dolayı kalıpta parçaların oturma yerleri zamanla aşınabilir. Böyle bir durumda ya belirli aralıklarla kalıp temizlenmeli ve kontrol edilmeli veya parçaların kalıp üzerinde oturacağı yerler polisaj yapılmalıdır. Bu hem kalıbın aşınmasını hem de parça iç yüzeylerinde muhtemel izlerin oluşmasını engelleyecektir. Çok gözlü kalıpların dezavantajı seri imalatla yaşanması muhtemel bir boyutsal hatanın hangi göz kaynaklı olduğunu bulmak maliyetli olabilmektedir.

5.2. İki Parçalı (Overpress) Kalıp Tasarımı

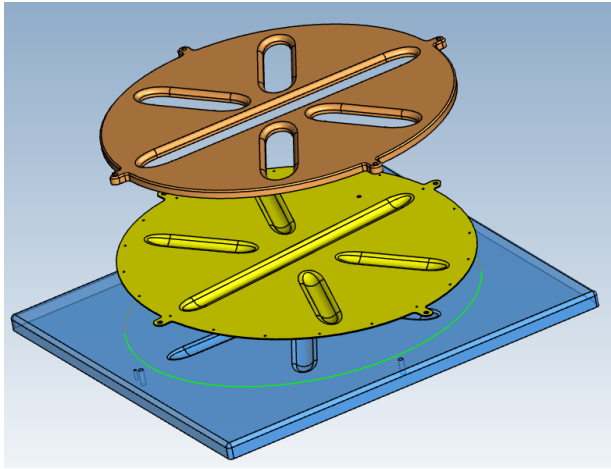
Örnek Tasarım-3

Sektör: Havacılık

Üretim: Seri İmalat

Parça Malzemesi: Alüminyum

Kalıp Malzemesi: Alüminyum



Resim 5.3. İki parçalı hidraform kalıp tasarımı

Buradaki gibi parça üzerinde küçük (yüksek) formlar olması ve düz parça durumlarında diyafram formu tam olarak veremez. Böyle durumlarda formların denk geldiği yerler boşaltılmış olarak baskı plakası tasarlanmalıdır. Bu şekilde hem kesiti küçültüp diyaframın o hacme sıkışarak daha fazla basınç uygulaması sağlanırken hem de form sırasında düz saca baskı yaparak düz yüzeyin korunması sağlanır (Resim 5.3). Hidroform ile derin çekme yapıldığı kalıplarda baskı plakası kullanmak gerekir. Diyafram çekme prosesini gerçekleştirirken, baskı plakası sacı tutarak malzemedeki kırışmayı minimize eder.

Derin çekme duvarları 90° ye yaklaştıkça diyafram parçayı dişi kalıpta dip radyüslere tam olarak basamayacak ve dik duvar oluşmayacaktır. Bu durumlarda baskı plakası olarak erkek formu olan üst kalıp tasarlanır. Baskı plakasız ilk form düşük basınçlarda verildikten sonra erkek formu baskı plakasıyla tam form verilir. Böyle tasarımlarda dişi kalıba hava tahliye delikleri açılmalıdır.

5.3. Süpürme Yöntemi İle Kalıp Tasarımı

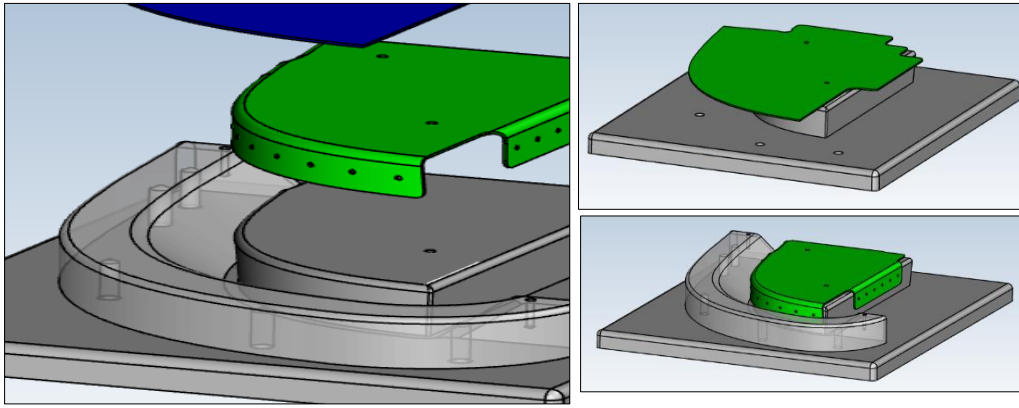
Örnek Tasarım-4

Sektör: Havacılık

Üretim: Seri İmalat

Parça Malzemesi: Alüminyum

Kalıp Malzemesi: Alüminyum



Resim 5.4. Süpürme yöntemi ile hidroform kalıp tasarımı

Parça eteği bükülebilir boydan uzun, büküm sonrası etek de kırışma var ve yırtılma riski olası ise, parça bükülecek eteğini süpürecek rampalar tasarlanmalıdır. Bu yöntemde etek boyu normalden fazla olacağı için parça açınım ölçüsü normal basıma göre büyük olur. Rampa denen kısım hidroform kalıbın etek büküm hattı karşısına konumlanıp, kalıbı çevreleyen ve genelde hidroform kalıpla arasında V boşluk oluşturan bir kalıp parçasıdır (Resim 5.4). Burada açınımdaki ilave malzemeyi kalıp ile rampa arası kısımda süpürerek uzatmak amaçlanır. Yani hacim daraltıldığından basınç da artacağı için malzemenin sünerek uzaması, kırışmayı ve deformasyonu tabandaki büküm sonrasına öteleyecektir. Parça/kalıp boyutuna göre bir alt plakaya toplanabilir veya tezgah tepsisinde karşılıklı olarak konumlanabilir. Üretim adedin yüksek olması durumunda boyutsal olarak tekrar edilebilirlik için bir plakaya toplamak önerilir. Parçayı tamamlamak için fazlalık kısım ilave operasyonla kesilmelidir.

5.4. Çift Kademeli Kalıp Tasarımı

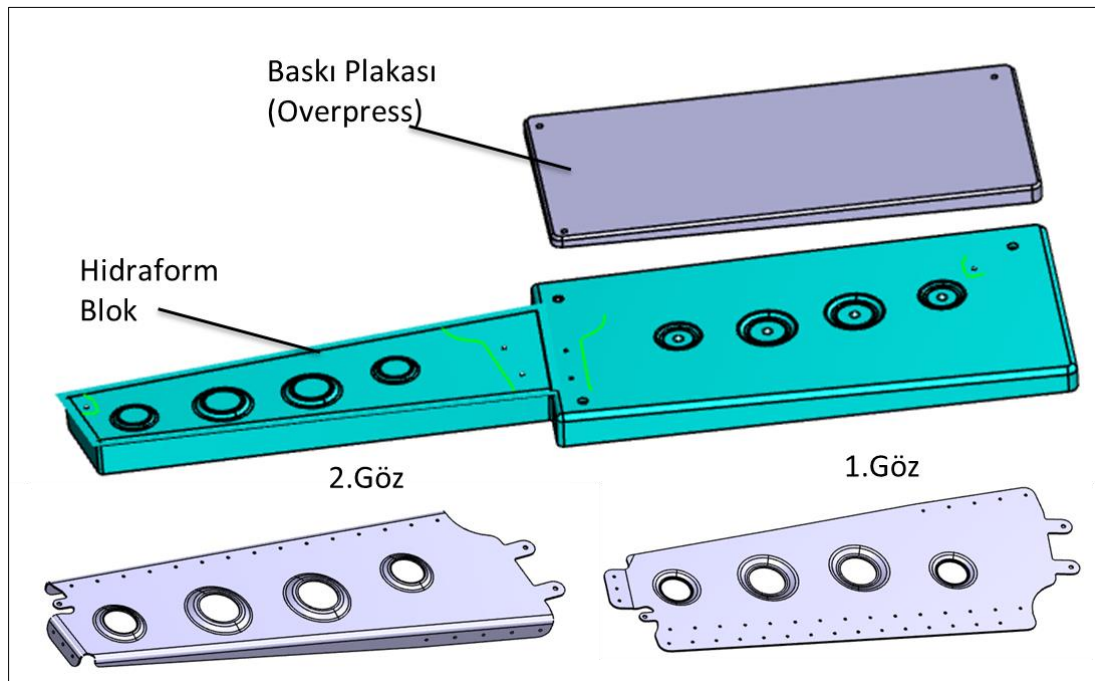
Örnek Tasarım-5

Sektör: Havacılık

Üretim: Seri İmalat

Parça Malzemesi: Alüminyum

Kalıp Malzemesi: Alüminyum



Resim 5.5. Çift kademeli hidroform kalıp tasarımı

Parçanın formunun bir operasyonda verilemediği durumlarda kalıp tasarımı çift kademeli olarak yapılmalıdır. Örneğin parçanın eteklerinin birbirine göre ters büküm olması veya parçadaki formun etek yönüyle ters olduğu durumlarda, parçanın bir kerede formunun verilmesi mümkün olmayacağı için, iki aşamalı olarak parça biçimlendirilir. Böyle durumlarda genelde ilk gözde verilen formun, ikinci gözde korunması için ilave bir kalıp detayına ihtiyaç duyulur. Bu kalıp detayı bazı durumlarda ayrıca baskı plakası (overpress) görevi de üstlenerek ilk formu kalibre eder. Resim 5.5 de örnek kalıp tasarımı gösterilen parçada etekler aşağı bükülürken, parçanın orta kısmındaki formlar yukarı bükülmüştür. 1. gözde formlar verildikten sonra parça ters çevrilerek 2. göze bu formlardan referanslama yapacak şekilde yerleştirilir ve etekler aşağıya doğru bükülür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ne Yaptık?

Bu çalışmada sıvı basıncı yardımıyla mekanik şekillendirme yöntemlerinden birisi olan diyaframla hidroform prosesinde kullanılan kalıp tipleri ve tasarımlarına ait kurallar sistematik olarak incelenmiştir. Kalıp tasarımına etki eden parametreler deneysel olarak açıklanmıştır. Havacılık ve otomotiv sektörlerinde yaygın olarak kullanılan AL 2024 T0 sac malzemesinden imal edilen, bir yapısal uçak parçası için örnek kalıp tasarımı yapılmıştır. Nihai kalıp tasarımı, imalat ile doğrulanarak öneri olarak üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kalıp tasarımına başlarken, tasarımda dikkat edilmesi gereken kritik konular (toleranslar, malzeme, bağlama noktası, geriye dönüş vb.) gözden geçirilip, karar verildikten sonra tezgah limitleri de göz önüne alınarak çalışmaya başlanılmalıdır. Kalıp tasarımı bittiğinde, ilk önce kontrol edilmesi gereken konu kalıpta keskin veya sivri bir yerin kalmamış olmasıdır. Özellikle kalıp köşeleri mutlaka yuvarlatılmış olmalı, alta büküm yapılacaksa o kısımlar da bu doğrultuda kontrol edilmiş olmalıdır. Dişi kalıplarda çekme yapılacağı durumlarda, hava tahliye delikleri ve bunların çıkışında kanallar mutlaka tasarıma eklenmiş olmalıdır. Yukarıda değinilen tüm bu konular tez kapsamında detaylı ele alınmış, incelenmiş ve örnek tasarımlar ile açıklanmıştır.

Sac metal parça kullanımının yoğun olduğu havacılık ve otomotiv sektörlerinde birbirine çok benzer (sadece tek uzunluk veya büküm ölçüsü farklı vb.) parçalara sık rastlanmaktadır. Dolayısı ile bu tür parçaların kalıp tasarım ve üretimi de benzer işlemler gerektirmektedir. Örnek uygulamamızdaki kalıp tasarımına basit bir eklenti ve arayüz ile benzer kalıp tasarımlarının dakikalar içerisinde tamamlanabileceği gösterilmiş oldu. Bu uygulama sayesinde, mevcut parça tasarımına gelen revizyonlara bağlı olarak, tasarlanmış olan kalıpların revizyonları da dakikalar içerisinde tamamlanabilmektedir. Bu bağlamda örnek kalıp tasarım çalışması için uyguladığımız Catia eklentisi yardımıyla, benzer geometrideki yaklaşık elli parça için gereken hidroform kalıp tasarımı birkaç gün gibi çok kısa bir sürede tamamlanarak imalata geçilebilmiştir.

Yapılanın Önemi Neydi?

Bu çalışma kapsamında mevcutta üretimi için konvansiyonel yöntemlerle, yüksek maliyetli kalıplar gerektiren sac metal parçaları, hidroform yöntemi ile çok basit ve düşük maliyetli kalıplarla üretilmesi sağlanmıştır. Örnek kalıp tasarımlarında bahsedilen otomotiv ve havacılık parçalarından bazıları, muadil üretim yöntemi olan hidrolik preste sac metal kalıp şekillendirme yöntemiyle istenilen kalite seviyelerinde alınamamıştır. Mevcutta min iki form operasyonu (sac metal kalıbı) ile istenilen şeklin alınabildiği parçalarda, hidroform kalıbı vasıtasıyla tek seferde parçalar alınabilmektedir.

Uygun hidroform kalıpları tasarlanarak, bu parçaların ülkemizde ilk kez üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Devam Mahiyetinde Ne Yapılabilir?

Hidroform kalıp tasarımı iş parçasına bağlı olarak birkaç farklı şekilde yapılabilir. Parçanın yüzey gereksinimi (yani, kalıbın şekli) belirlenerek tasarıma başlanmalıdır. Parçada özel bir durum yoksa en hızlı ve en ekonomik (ucuz) üretilebilecek olan yöntem seçilmelidir.

Hidroform prosesinin yaygınlaşmasıyla, ürün çeşitliliğinin önündeki en önemli engel olan ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliğine bağlı olumsuz fizibilite çıktıları aşılabilecektir. Mevcut prosesin izin vermediği; farklı kalınlıktaki malzemelerin veya aynı kalınlıkta farklı kalitede malzemelerin aynı kalıpta şekillendirilememesi gibi durumlar, hidroform prosesiyle çözülebilir. Bu sayede çok daha fazla parça tipi tanımlanarak, nihai kullanıcının isteklerine uygun ürün tipi çeşitliliği sağlanabilecektir.

Tez çalışmasındaki, örnek tasarım eklentisi geliştirilerek daha sonraki aşamada, kalıbı tasarlanacak olan parçaların oturma yüzeyi, büküm yönü, geriaylanma değeri gibi parametreleri seçtirilerek, kalıp tasarımının otonom olarak yaptırılması çalışılabilir.

KAYNAKLAR

1. Cezarina, A., Morosanu, G., Ionel, I., Viorel, I., and Virgil, T. (2018). A Review on Sheet Metal Rubber –Pad Forming, Department of Manufacturing Engineering, “Dunărea de Jos” University of Galați, Romania.
2. Ramezani, M., and Ripin Z. M., (2012 March). Analysis of deep drawing of sheet metal using the Marform process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
3. Fukuda, M., and Yamaguchi, K. (1971). An analysis for deep drawing of cylindrical shell with rubber die. *Bull Japan Society of Mechanical Engineers* 14(71):504–511.
4. Kumar, A., Kumar, S., and Yadav, D. R. (2014). *Review of Rubber Based Hydroforming Process*, 5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference, India.
5. Olsson, S. (2016). Recent Hydroform and Flexform Development, *Quintus Technologies*, Sweden.
6. Karaağaç, İ. (2011). *Sıvı Basıncıyla Sac Metal Şekillendirme İşlem Parametrelerinin Deneyisel Olarak Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
7. Doğan, M. (1989). *Alüminyumların Isıl İşlemi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
8. Aydın, B. (2002). *AA2014 Alaşımında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
9. Gavgalı, M. (1994). *AA 2014 Alüminyum Alaşımı İngotların Homojenizasyonunun Sıcak İşlenebilirliğe Etkisi*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
10. Parson, N., and Yiu, H. (1998). The Effect of Heat Treatment on The Microstructure and Properties of 6000 Series Alloy Extrusion Ingots, *The Minerals Metals and Metals Society*, 713-722.
11. Hekim, A. (2016). *Sac Bükmede Geri Yaylanmanın Sonlu Eleman Yöntemi İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
12. Zhang, D., Cui, Z., Chen, Z., And Ruan, X. (2007). An analytical model for predicting sheet springback after V-bending, *Journal of Zhejiang University Science A*, pp. 237-244.
13. Chen, P., Koç, M. (2007). Simulation of springback variation in forming of advanced high strength steels, *Journal of Materials Processing Technology*, no. 190, 189-198.

14. Leu, D. (1997). A simplified approach for evaluating bendability and springback in plastic bending of anisotropic sheet metals., *Journal of Materials Processing Technology*, no. 66, 9-17.
15. Mkaddem, A., Saidane, D. (2007). Experimental approach and RSM procedure on the examination of springback in wiping-die bending process, *Journal of Materials Processing Technology*, no. 189, 325-333.
16. İnternet: Powercopy uygulamasının kullanımı ve faydaları, (2020). *Grup Otomasyon*, Web: <https://grupotomasyon.com.tr/2020/07/08/power-copy-uygulamasinin-kullanimi-ve-faydalari/>, 15 Kasım 2020’de alınmıştır.

EKLER

EK-1. Adı Yaygın kullanılan AL 2024 ve 7075 sac malzemelerin (O) ve (W) koşulları için geri yaylanma değeri.

HIDRAFORM ŞEKİLLENDİRME İÇİN GERİYAYLANMA DEĞERLERİ TABLOSU									
MALZEME		BÜKÜM RADYÜSÜ							
KALİTE	KALINLIK inch (mm)	inch (mm)							
		.03 (0.77)	.06 (1.53)	.09 (2.29)	.12 (3.05)	.16 (4.07)	.19 (4.83)	.22 (5.59)	.25 (6.35)
2024-O	.016 (0.4)	1.4	2.8	4.2					
2024-W									
7075-O									
7075-W									
2024-O	.020 (0.5)		2.2	3.4	3.8				
2024-W									
7075-O									
7075-W									
2024-O	.032 (0.8)		1.4	1.8	2.4	2.9			
2024-W			2.7	4.0	4.9	6.0			
7075-O			1.5	2.0	3.0	3.8			
7075-W			3.0	3.8	4.6	5.0			
2024-O	.040 (1.0)		1.2	1.7	2.2				
2024-W				3.2	3.9	5.2			
7075-O			1.2	1.8	2.4	3.2			
7075-W				2.5	3.4	4.5	5.3		
2024-O	.050 (1.3)			1.5	1.9	2.6	3.0		
2024-W				2.8	3.5	4.8	5.9		
7075-O				1.5	2.1	2.4	3.2		
7075-W				2.0	2.6	3.5	4.3		
2024-O	.056 (1.4)				1.7	2.4	2.8		
2024-W				2.4	3.1	4.2	4.9		
7075-O					1.8	2.4	2.8	3.3	
7075-W					2.4	3.2	3.8	4.4	
2024-O	.063 (1.6)				1.7	2.3	2.6		
2024-W					2.9	3.9	4.6		
7075-O					1.8	2.4	2.9	3.3	
7075-W						2.7	3.2	3.7	4.2
2024-O	.071 (1.8)				1.6	2.2	2.4	2.8	
2024-W					2.6	3.2	3.5	4.3	
7075-O					1.6	2.2	2.3	2.6	
7075-W						2.4	2.6	2.8	3.1
2024-O	.080 (2.0)					1.0	1.5	1.7	
2024-W							3.1	3.7	4.2
7075-O							2.3	2.6	3.0
7075-W							2.3	2.7	3.0
2024-O	.090 (2.3)						1.0	1.5	1.7
2024-W									
7075-O									
7075-W									



GAZİ GELECEKTİR...