

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SAC BÜKÜM İŞLEMİNDE AÇINIM BOYU
PROBLEMLERİNİN AZALTI MASINA YÖNELİK
ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANSU BOZKURT

BOLU, KASIM - 2018

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



SAC BÜKÜM İŞLEMİNDE AÇINIM BOYU
PROBLEMLERİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK
ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANSU BOZKURT

BOLU, KASIM - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Cansu BOZKURT tarafından hazırlanan “SAC BÜKÜM İŞLEMİNDE AÇINIM BOYU PROBLEMLERİNİN AZALTILMASINA YÖNELİK ARAŞTIRMA” adlı tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 21/11/2018 tarihinde BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Sabri ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Murat PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL
Sakarya Üniversitesi

İmza

.....
S. Öztürk

.....
M. Pakdil

.....
H. Dal

Mezuniyet Tarihi :

Doç. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Aileme ve saygıdeğer hocalarıma,

ETİK BEYAN

Bolu Abant İzzet Baysal 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.

Cansu BOZKURT



ÖZET

**SAC BÜKÜM İŞLEMİNDE AÇINIM BOYU PROBLEMLERİNİN
AZALTI MASINA YÖNELİK ARAŞTIRMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CANSU BOZKURT
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, KASIM - 2018

Bu çalışma bükme işlemi için açınım boyu hesaplama hatalarını azaltmak için çözüm sunmaktadır. Araştırmanın amacı; sac metal endüstrisinde bükme operasyonunda sıklıkla karşılaşılan açınım boyu hesabının doğru yapılması probleminin çözülmesi, abkant büküm takımlarının doğru seçilmesi, geri esneme sorunlarının azaltılması ve set up sürelerinin kısaltılmasıdır. Büküm prosesi 6 eksenli CNC abkant presi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; EN 10130 DC01 kalitede 1 mm, 2mm, 3mm, 4 mm kalınlıkta sac numuneleri kullanılmıştır. Sac levha boyutlarının doğru hesaplanması için yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen çıktılardan hangi faktörlerin formülde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Uygulamada verimliliği arttırmak için C++ yazılımı kullanılarak açınım boyunu doğru hesaplayan bir program yazılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE R: Bükme işlemi, Geri esneme, Sac levha, Sac acınım geometrisi

ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF REDUCING INITIAL BLANK PROBLEMS IN SHEET BENDING PROCESS

MSC THESIS

CANSU BOZKURT

BOLU ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SABRİ ÖZTÜRK)**

BOLU, NOVEMBER 2018

This study presents a solution for the bending process to reduce the initial blank calculation errors. Purpose of the research; is to solve the problems that can be occurred when the calculating right initial blank geometry which is frequently encountered in the bending operation of the sheet metal industry, choosing the right bending tools, reducing the backwarding problems and shortening the set up times. The bending process was carried out using a CNC bending press with 6 axes. 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm thickness sheet samples are used for the study with a quality of EN 10130 DC01. As a result of the outputs obtained from experimental studies for calculate blanking sheet metal dimensions accurately was decided which factors more effective in formula. Moreover, in order to increase the productivity in the application, a program which calculates the initial blank length correctly by using C ++ software is written.

KEYWORDS: Bending process, Springback, Sheet metal, Initial blank geometry

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xii
TEŞEKKÜR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Plastik Şekil Verme	1
1.1.1 Plastik Şekil Vermenin Esasları.....	2
1.1.2 Plastik Şekil Değişirme Mekanizması	4
1.1.3 Plastik Şekil Değişimine Etki Eden Faktörler	5
1.1.3.1 Sıcaklığın Etkisi	5
1.1.3.1.1 Soğuk Şekil Değişirme	6
1.1.3.1.2 Sıcak Şekil Değişirme	7
1.1.3.2 Plastik Şekillendirmeye Şekillendirme Hızının Etkisi.....	7
1.1.4 Plastik Şekil Verme Usulleri.....	8
1.1.4.1 Dövme	8
1.1.4.2 Haddeleme	8
1.1.4.3 Ekstrüzyon	9
1.1.4.4 Çubuk, Tel Çekme ve Boru İmali	10
1.1.4.5 Plastik Sac İşleme Usulleri	10
1.1.5 Bükmeden İleri Gelen Plastik Şekil Değişirme	10
2. LİTERATÜR TARAMASI	12
2.1 Bükme İşleminin Tanımı	12
2.2 Büküm Metodları.....	13
2.2.1 V Bükme	13
2.2.2 Hava bükümü (Serbest Bükme).....	15
2.3 Bükme Kalıpları	17
2.3.1 Ofset Bükme Kalıbı	18
2.3.2 Kavisli Bükme Kalıbı	18
2.3.3 Dar Açılı Bükme Kalıbı	19
2.3.4 Katlama Kalıbı.....	20
2.3.5 Kazboynu Stampalı Kalıp.....	21
2.3.6 Boşluklu Bükme Kalıbı	22
2.3.7 Kenar bükme işlemi	23
2.3.8 Ezme metodu	23
2.3.9 Oluk bükme işlemi.....	24
2.4 Bükme İşlemini Etkileyen Faktörler	24
2.4.1 Malzeme Özelliklerinin Etkisi	24

2.4.5	Açınım Boyunun Bulunması	35
2.4.6	Bükme Kuvvetinin Bulunması.....	39
3.	METERYAL VE YÖNTEM	43
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	54
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
6.	EKLER.....	63
	EK A 63	
	EK B 64	
	EK C 65	
	EK D 66	
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çekme kuvveti etkisindeki küp.	2
Şekil 1.2. Kayma şekil değişimi.	3
Şekil 1.3. Gerilme – şekil değişimi grafiği.	3
Şekil 1.4. Uzama ve basma gerilmeleri (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları). ...	11
Şekil 2. 1. Bükme boyunun plastiklik özelliği üzerindeki etkisi.	13
Şekil 2. 2. V kalıpla bükme (GmbH. S ve GmbH S, 1998).	14
Şekil 2. 3. V yataklı kalıp görseli.	14
Şekil 2. 4. Serbest bükme (Diegel, 2002).	15
Şekil 2. 5. Ürün şekline göre bükme çeşitleri (Yurci, M.E., 1991).	16
Şekil 2. 6. Bükme kalıpları (Yurci, M.E., 1991).	17
Şekil 2. 7. 90°'lik iki bükme işleminin aynı anda uygulanması	18
Şekil 2. 8. Kavisli bükme kalıbı örneği.	19
Şekil 2. 9. Dar açılı bükme kalıbı (30 ° bükme açısı).	20
Şekil 2. 10. Kıvrırma bükme ile bükülmüş parça (90 ° den fazla bükme).	20
Şekil 2. 11. Katlama kalıbıyla bükülmüş parça görseli.	21
Şekil 2. 12. Dar açılı bükümü ve katlama prosesini gerçekleştiren kalıp.	21
Şekil 2. 13. Kazboynlu stampalı üst kalıp.	22
Şekil 2. 14. Kenar bükme (Özdemir, A., 2010).	23
Şekil 2. 15. Ezme metodu.	24
Şekil 2. 16. Oluk bükme kalıbında bükülmüş parçalar.	24
Şekil 2. 17. Şerit malzemenin haddeleme yönü.	26
Şekil 2. 18. Ofset büküm örneği.	27
Şekil 2. 19. Geri esneme katsayıları (Yurci, M.E., 1991).	28
Şekil 2. 20. Geri esneme açısı (Yurci, M.E., 1991).	30
Şekil 2. 21. Geri esneme kuvveti ve geri esneme miktarı.	31
Şekil 2. 22. Bazı malzemelerin geri esneme grafiği.	32
Şekil 2. 23. Büküm gösterimi.	34
Şekil 2. 24. Kalınlık ve malzeme özelliklerinin geri esneme üzerindeki etkisi.	35
Şekil 2. 25. Açınım boyu bulma işleminde kullanılan elemanlar.	36
Şekil 2. 26. Bükme yarıçapı ve katsayı bağlantısı.	36
Şekil 2. 27. Bükme kavis yarıçapının sac malzeme kalınlığına oranı.	38
Şekil 2. 28. O noktasına göre eğilme momentinin uygulanması.	39
Şekil 2. 29. V bükme işlemi (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları).	41
Şekil 2. 30. U bükme işlemi (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları).	41
Şekil 3. 1. Deneyde kullanılan CNC servo abkant pres.	43
Şekil 3. 2. Deneyde kullanılan CNC servo abkant pres.	44
Şekil 3. 3. 1 mm kalınlıkta R: 1 mm dkp sac.	44
Şekil 3. 4. 2 mm kalınlıktaki R: 2mm dkp sac.	44
Şekil 3. 5. 3mm kalınlıktaki R : 3mm dkp sac.	45
Şekil 3. 6. 4 mm kalınlıktaki R:4mm dkp sac.	45
Şekil 3. 7. 1 mm kalınlık ve R :1 mm dkp sac numunesi.	45
Şekil 3. 8. 2 mm kalınlık ve R : 2 mm dkp sac numunesi.	46
Şekil 3. 9. 3 mm kalınlık ve R : 3 mm dkp sac numunesi.	46
Şekil 3. 10. 4 mm kalınlık ve R :4 mm dkp sac numunesi.	47

Şekil 3. 11. İç büküm radyusu 0,8 mm olan 1 mm , 2mm , 3mm ve 4 mm dkp numunelerinin büküm gösterimi.	48
Şekil 3. 12. Parça açınım ölçülerinin AUTOCAD programında gösterimi.	49
Şekil 3. 13. Bükülen parçalar.	49
Şekil 3. 14. 1mm radyus iç değeri ile tasarlanmış numuneler.	51
Şekil 3. 15. Parça açınım ölçüleri.	51
Şekil 5. 1. 1 mm kalınlığında ki parçanın açınım boyunun hesaplanması.....	56
Şekil 5. 2. 2 mm kalınlığında ki parçanın açınım boyunun hesaplanması.....	57
Şekil 5. 3. 3 mm kalınlığında ki numunenin açınım boyunun hesaplanması. ..	57
Şekil 5. 4. 4 mm kalınlığında ki numunenin açınım boyunun hesaplanması. ..	58
Şekil A. 1. 1 mm DC01 kalite sacın malzeme sertifikası.	63
Şekil B. 1. 2 mm DC01 kalite sacın malzeme sertifikası.....	64
Şekil C. 1. 3 mm DD11 kalite sacın malzeme sertifikası.	65
Şekil D. 1. 4 mm DD11 kalite sacın malzeme sertifikası.	66



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. K faktörü tablosu.....	16
Tablo 2.2. Genel yapı çelikleri mekanik özellikleri.....	25
Tablo 2.3. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri.....	25
Tablo 2.4. Geri esneme açıları.....	29
Tablo 2.5. Bükme diyagramı.....	42



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

σ	: Gerilme $\frac{N}{mm^2}$
σ_{ζ}	: Çekme Dayanımı $\frac{N}{mm^2}$
σ_K	: Kopma Dayanımı $\frac{N}{mm^2}$
σ_A	: Akma Dayanımı $\frac{N}{mm^2}$
F	: Kuvvet N
ϵ	: Şekil Değişimi mm
γ	: Kayma Şekil Değişimi mm
E	: Young Modülü $\frac{N}{mm^2}$
ν	: Poisson Oranı
I	: Atalet Momenti mm^4
M_0	: Eğilme Momenti kgmm
σ_b	: Eğilme Gerilimi $\frac{N}{mm^2}$
α	: Büküm Açısı $^{\circ}$
R	: Radyus Değeri mm
T	: Sac Kalınlığı mm

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmada beni yönlendiren, değerli danışman hocam Doç. Dr. Sabri Öztürk' e teőekkürlerimi sunarım.

Deneyslerimi gerçekleştirmemde yardımlarını esirgemeyen Yeni Öztürk Kalıp firma ve çalışanlarına, eğitim öğretim hayatım boyunca üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma ve aileme içten teőekkürlerimi sunarım.



1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojik gelişim, ürün kalitesini arttırmanın yanı sıra ürün çeşitliliğini de beraberinde getirdi. Dolayısıyla üretimde; makine ve teçhizata hakim, işlemleri profesyonelce yapacak nitelikli iş gücüne daha fazla ihtiyaç duyulmaya başlandı. Çok ince sacların şeklini vermek basit el aletleri veya tonajı düşük preslerle mümkün olurken kalın olanlar için özel endüstriyel aletler kullanılmaktadır. Bu aletlerin bükme, kesme, delme için uyguladığı kuvvet yüzlerce ton ağırlığa denk gelebilir. CNC aygıtlar ise işlemi otomatik ve seri hale getirdiği, nitelikli eleman gerekliliğini azalttığı için tercih edilir oldu.

Metal işleme sanayisinin çok önemli bir girdisi olan sac levhalar, endüstriyel tasarım ve üretimde en yaygın kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Sağlamlık, dayanıklılık hemen her türlü şekile girebilme özelliği ile sac metal ürünler otomotiv, uçak teknolojisi, beyaz eşya ve mutfak gereçlerine kadar geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir.

Sac malzemeyi işleyen ve şekil veren makineler, ekipmanlar ve prosesler sac işleme teknolojisini oluşturur. Sac işleme yöntemlerinin başlıcaları; giyotin makasla kesme, oksijenle kesme, lazer kesim makineleri ile kesme, abkant presler ile bükme, çeşitli sıvama, kesme ve bükme kalıplarıyla şekillendirme, silindirik bükme..vb.gibi proseslerdir. Buradan da anlaşılacağı gibi sac metal malzemeler kullanım olarak hemen her sektörde tercih ediliyor.

1.1 Plastik Şekil Verme

Plastik şekil verme, metallere katı durumda ve hacimleri sabit kalacak şekilde yapılan bir şekillendirme işlemi olarak tanımlanır (Aran ve Demirkol, 1995).

Uygulanacak plastik şekil verme yöntemi, malzeme özelliklerine ve işlem parametrelerine uygun olarak seçilirse; dar toleranslara sahip, yüzey kalitesi yüksek ürünler elde edilebilir (Aran ve Demirkol, 1995).

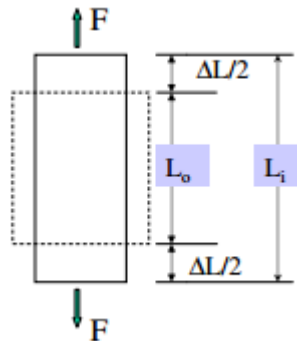
1.1.1 Plastik Şekil Vermenin Esasları

Malzemenin kuvvet etkisi altında başlangıçtaki biçimini değiştirmesi şekil değişimi olarak adlandırılır. Şekil değişimi; elastik şekil değişimi veya plastik şekilde olabilir. Elastik şekil değişiminde kuvvet kaldırıldığında, metal eski boyutlarına döner. Elastik şekil değişiminde metal atomları başlangıçtaki konumlarından oynatıldıkları halde; bu oynama onların yerlerini değiştirecek kadar büyük değildir. Atomların yer değiştirmesi söz konusu olmadığından, metalin elastik şekil değişimine neden olan kuvvet ortadan kaldırıldığında; metal atomları ilk yerlerine döner ve başlangıçtaki yerlerini tekrar almış olurlar.

Plastik şekil değişiminde metal tam olarak eski boyutlarına dönemeyecek kadar şekil değiştirmiştir ve metal atomları kalıcı olarak başlangıçtaki yerlerinden uzaklaşır, yeni yerlerine yerleşirler.

Herhangi bir malzemeye kuvvet uygulandığı zaman; malzemenin yapısına da bağlı olarak ya kalıcı şekil değişimine uğradıktan sonra kırılır; ya da hiç kalıcı şekil değişimi göstermeden kırılır. Kalıcı şekil değişimine uğrayıp kırılan malzeme sünekler; kalıcı şekil değişimi göstermeden direkt kırılan malzeme ise gevreklerdir.

Şekil 1.1 ve Şekil 1.2' de malzeme üzerinde çekme ve kayma şekil değişimine neden olan kuvvetler gösterilmiştir. Bu bağlantılar elastik şekil değişimi altında geçerlidir.



Şekil 1.1. Çekme kuvveti etkisindeki küp.

Şekil 1.1' de; bir küpe tek eksen boyunca bir kuvvet uygulandığı zaman küp kuvvet yönünde uzar. Küpün bu şekilde kuvvet yönünde uzaması gerinme olarak

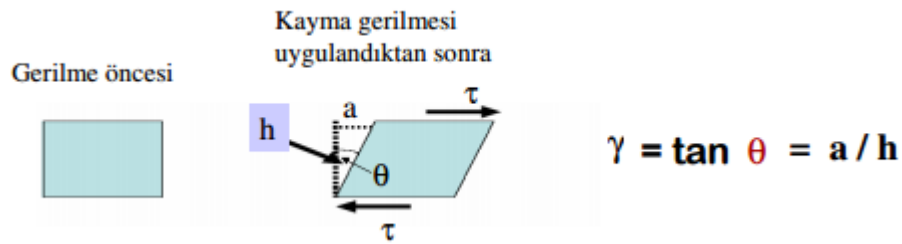
adlandırılır. Çekme kuvvetiyle oluşan mühendislik şekil değişimi, küpün boyunda kuvvet ekseninde meydana gelen değişikliğin, küpün başlangıç boyuna bölümüyle bulunmaktadır.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\text{uzunluktaki değişim}}{\text{ilk uzunluk}} \quad (1.1)$$

Mühendislik şekil değişimi; sanayideki uygulamalarda 100 ile çarpılarak yüzde şekil değişimi veya yüzde uzamaya dönüştürülür.

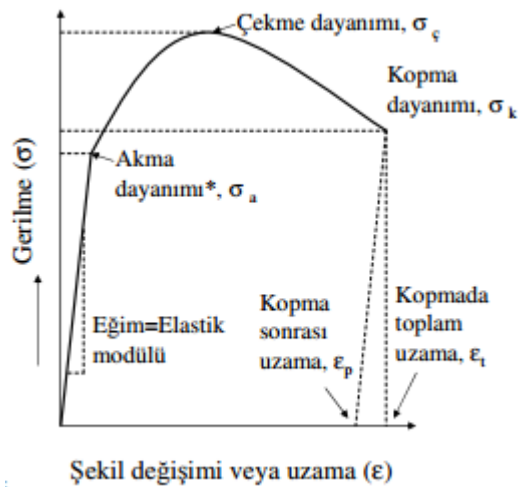
Kayma Şekil Değişimi;

Kayma şekil değişimi olan γ , a kayma yer değiştirmesinin kaymanın etkilediği h mesafesine bölümüne eğit olur. Şekil 1.2' de kayma gerilmesi etkisindeki bir küpün şekil değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kayma şekil değişimi.

Gerilme – Şekil Değişimi Grafiği;



Şekil 1.3. Gerilme – şekil değişimi grafiği (Leonghuat, Importance of Yield Strength & Plastic Deformation to Civil Engineers).

Plastik şekil değişimi, elastik şekil değişimine kıyasla geri dönüşlü bir olay değildir (Aran ve Demirkol, 1995). Bu nedenle kuvvetin arttırılması halinde, plastik şekil değişimi başlar ve sonunda parça kopar. Şekil 1.3'te gerilme ve şekil değişimi arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik paylaşılmıştır. Malzemelerin bu özelliklerinden faydalanarak onları arzu edilen şekle sokmamız mümkündür.

1.1.2 Plastik Şekil Değiştirme Mekanizması

Metaller temel olarak; atomların belli düzenlerde bir araya gelerek oluşan kristal kafeslerden meydana gelir. Metal atomlarının kafes içerisindeki diziliş biçimlerine göre hacim merkezli, yüzey merkezli, sıkı düzen hekzagonal gibi kafes tipleri mevcuttur.

Kristal kafesler bir araya gelerek tane yapılarını, taneler bir araya gelerek malzemeyi meydana getirirler. Şekil değişimi; bu kristal kafeslerin birbirine göre hareket etmesi ile oluşmaktadır. Kafeslerin hareketleri kayma, ikiz teşekkülü veya her ikisinin birlikte olmasıyla meydana gelir. Kübik kafeste eğer kuvvet etkisi yoksa düzlemler arasındaki açı dik açı olur. Kaymada; kuvvet etkisi ile kristal kafesler birbiri üzerinde kayar ve kafes düzlemleri arasındaki açı 90° 'dir. İkiz teşekkülünde ise; kafes düzlemleri birbiri üzerinde kayar ama aralarındaki açı değişir.

Kayma düzlemleri arasında birçok kayma olmayan düzlemler de vardır. Kaymalar ilerledikçe; kafeslerin şekil değiştirme kabiliyeti azalır, sonunda düzlemler arasında ayrılma meydana gelir ve parça kopar. İki düzlem birbirine göre kayma düzleminde ilerleme miktarının atomlar arası mesafe kadar olabilmesi için, o düzlemde var olan tüm atomların bağlarının kopması lazımdır. Bu kopmayı sağlamak için gerekli kuvvet hesaplanırsa, bunun deneyle bulunandan çok daha büyük (100 ile 1000 defa) olduğu görülür. Oluşan bu fark, dislokasyon adı verilen kafes hatalarına bağlanabilir. İçinde dislokasyon barındıran bir kafes sisteminde bütün düzlemde kaymayı sağlamak için, gerekli kuvvetin sadece birkaç atomun bağını koparabilecek mertebede olması yeterlidir. Parça üzerinde görülebilir bir deformasyonun olabilmesi için çok büyük sayıda dislokasyonun oluşması gerekir.

Kaymalar; kafeslerin atom yoğunluğunun daha fazla olduğu düzlemlerde meydana gelir. Bunu nedeni; bu düzlemlerde atomlar arası mesafe kısaldığı için, dislokasyon adımı da kısalmakta ve daha az bir kuvvet dislokasyonu hareket ettirebilmektedir.

1.1.3 Plastik Şekil Değişimine Etki Eden Faktörler

Malzemenin plastik şekil değişimi sırasındaki davranışları;

- Malzemenin kimyasal bileşim ve içyapısı,
- Şekil verme sıcaklığı,
- Şekil verme hızına bağlıdır.

Malzemenin kimyasal bileşim ve içyapısına göre; malzeme ya kolayca şekil değiştirebilir ve istenen biçimi alır ya da zor şekil değiştirir ve istenen biçimi alamadan kırılır. Şekil değişimi esnasında malzemenin sıcaklığına bağlı olarak plastik şekil değişimi; “soğuk şekil değişimi” ve “sıcak şekil değişimi ” olarak ikiye ayrılır.

1.1.3.1 Sıcaklığın Etkisi

Malzemenin şekil değişiminin neden olduğu iç yapı ve mekanik özelliklerdeki değişimler sıcak şekil değiştirmede ortadan kalkar ve malzeme, şekil değişimi olmadan önceki özelliklerine tekrar sahip olur. Soğuk şekil değişiminde; sıcak şekil değişimine kıyasla şekil değişimi sonundaki özellikler, şekil değişiminden önceki özelliklere göre farklıdır. Metallerin plastik şekil vermeye karşı olan dirençleri sıcaklık arttıkça düşer. Büyük kütleli metaller; sıcaklığın etkisi ile dövme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi proseslerle şekillendirilirler.

1.1.3.1.1 Soğuk Şekil Değiştirme

Soğuk şekil değiştirmede; malzeme kuvvet etkisi altındayken kristal kafes yapısında kayma, ikiz teşekkülü veya her ikisi birden meydana gelebilir. Şekil değişimi sonunda taneler uzar ve şekil değişiminin ilerlemesiyle; malzemede pekleşme meydana gelerek malzemenin şekil değişimine karşı mukavemeti artmış olur. Eğer şekil değişimine devam edilirse, malzemede çatlamlar veya yırtılmalar olur. Malzemenin şekil değişimi sonunda sertlik ve mukavemeti artar, sünekliği azalır. Bu sertleşme miktarı kullanılan malzemenin cinsine ve içerdiği alaşım elementlerine bağlıdır. Alaşım elementleri ilavesi malzemenin akma sınırını yükseltir. Bu sertleşmenin temel olarak nedeni; birbiri ile karşılaşan ve birbirinin hareketini engelleyen dislokasyonlardır.

Malzemenin plastik şekil değişimi sonrası sertliği, çekme ve yorulma dayanımı, elektriksel direnci ve kimyasal çözünmesi artar; ancak uzama; alan küçülmesi ve sürünme kabiliyetlerini azaltır. Soğuk şekil değişimi sonrası malzeme yüksek bir iç enerjiye sahip olur ve atomları daha dengeli yayılmak ister. Sıcaklık yükseldikçe atomların yayınması hızlanır ve malzeme eski sünekliğini tekrar kazanmış olur. Böylece soğuk şekil değişimine uğramış malzeme ısı işlem yoluyla tavlanabilir. Isıl işlem sonrası malzeme tekrar eski özelliklerini kazanır. Yani düşük sıcaklıklarda malzemenin elektriksel iletkenlik ve mukavemetinin artması, iç gerilmelerin azalmasına rağmen, malzemenin iç yapısı değişmez. Bu durumun avantajı olarak kazanılan mukavemeti kaybetmeden iç gerilmelerin azalmasıdır. Yeniden kristalleşmenin başında; plastik şekil değişimden dolayı uzamış olan taneler arasında yeni taneler oluşmaya başlar ve bu tanelerin oluşmaya başladığı sıcaklık “yeniden kristalleşme sıcaklığı” olarak adlandırılır. Bu sıcaklık değeri metalden metale farklılık gösterir. Tekrar kristalleşmiş taneler, şekil bakımından daha düzgün ve genellikle küçüktürler. Uzamış tanelerin kaybolması, mekaniksel özelliklerdeki ani değişiklik, kayma çizgilerinin görünmemesi ve tane büyümesi özellikleri yeniden kristalleşmenin sonuçlarıdır.

Metalin tekrar kristalleşme sıcaklığından ani bir şekilde soğutulmasıyla, sertleşme eğilimi göstermez. Örnek verecek olursak; soğuk plastik şekil değiştirmiş demir ve yumuşak çelikler 500-700 C° arasında tekrar kristalleşir ve bu sıcaklık

değerleri kritik bölgenin altındadır. Yani soğuk plastik değişimi, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan şekil değişimidir.

1.1.3.1.2 Sıcak Şekil Değiştirme

Plastik şekil değiştirme işlemi yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta yapılırsa, bu işleme “sıcak plastik şekil değiştirme” denir. Sıcak şekil değiştirme sırasında deformasyon hızı, derecesi ve sıcaklığı uygun seçilmişse; malzemenin şekil değişimi sırasında pekleşme görülmez, gaz boşlukları, gözenekler birbirine kaynatarak giderilir ve sonrasında ufak taneli, yüksek mukavemetli bir yapı elde edilir.

Sıcak şekil değiştirmede, soğuk şekil değişimine kıyasla harcanan enerji daha azdır. Ek olarak sıcak plastik şekil değişim sırasında istenmeyen maddeler uniform bir şekilde dağılır ve malzemenin çatlama olmadan şekil değişebilme kabiliyetini artırır.

Genellikle sıcak şekillendirme işlemi havada yapılır ve oksidasyondan dolayı önemli bir oranda metal kaybı görülür. Metallerin sıcak şekillendirilmesiyle yüzeyde karbon kaybı olur.

1.1.3.2 Plastik Şekillendirmeye Şekillendirme Hızının Etkisi

Malzemenin plastik şekillendirmeye karşı davranışı şekillendirmenin hızına göre değişmektedir. Hızlı şekillendirmede sünek halden gevrek hale geçme daha fazla görülür. Bu konuya örnek olarak; oda sıcaklığının altında demir, çelik çekişlendiği zaman çatlar, ancak aynı sıcaklıkta yavaş bir şekil değişimi olursa çatlama görülmez. Malzemenin şekil değişimi hızı arttıkça, şekil değiştirme kabiliyeti azalır.

1.1.4 Plastik Şekil Verme Usulleri

- Dövme
- Haddeleme
- Ekstrüzyon
- Çubuk, tel çekme gibi kütle şekillendirme yöntemleri
- Kesme
- Bükme
- Derin çekme gibi sac metal şekillendirme yöntemleri.

1.1.4.1 Dövme

Dövme işlemi, preste iki kalıp arasında basınç uygulanarak veya çekiç kullanılarak metalleri işlevsel bir şekle sokma işlemidir, kullanılan kalıplara göre dövme işlemi; açık kalıpta dövme, kapalı kalıpta çapaklı dövme, kapalı kalıpta çapaksız dövme şeklinde üç bölüme ayrılır. Dövme yöntemi plastik şekil verme usüllerinin en eski yöntemidir.

1.1.4.2 Haddeleme

Metal malzemelerin, merdane olarak adlandırılan ve eksenleri etrafında, birbirlerine karşı dönen silindirlere arasından geçirilip ezerek plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Haddeleme prosesi en fazla kullanılan şekillendirme yöntemlerinden birisidir. Bunun nedeni şekillendirilebilecek malzeme kapasitesi yüksektir ve ölçüler daha kontrol edilebilir düzeyde olur. Malzeme merdaneler arasında ilerlerken, merdanelerin birbirlerine karşı hareketinden dolayı hem basma gerilmesine hem de parça ile merdane arasındaki sürtünmeden dolayı kesme gerilmelerine maruz kalır. Aynı zamanda ortaya çıkan sürtünme kuvveti de malzemenin merdaneler arasından sıyrılmasını sağlar. Haddeleme işleminde

uygulanan sıcaklığa göre sıcak ve soğuk haddeleme olarak iki yöntem uygulanmaktadır.

Haddeleme yönteminde kütük ve ingot gibi malzemelerde olduğu gibi; parçanın haddelemeden önceki ve sonraki kesitleri arasındaki fark büyükse, şekil değişimi yüksek sıcaklıkta olur ve bu yöntem sıcak haddeleme denir. Parçaya uygulanan sıcaklık değeri çelik için, tekrar kristalleşme sıcaklığının üzerindedir. Kütük ve ingotların sıcak haddelenmesinden elde edilen yarı mamuller daha sonra tekrar bir sıcak haddeleme işlemine sokularak tel, çubuk, profil ve levha haline getirilir.

Genellikle son haddeleme işlemi oda sıcaklığında yapılır ve uygulanan bu işleme de soğuk haddeleme adı verilir. Soğuk haddeleme ile dar toleranslara sahip ölçü, daha düzgün yüzey ve yüksek mekanik özellikler elde edilir. Ancak bu sefer sıcaklığın etkisi olmadığı için gerekli haddeleme kuvveti yüksek dolayısıyla harcanan güç fazladır.

1.1.4.3 Ekstrüzyon

Bir metal bloğunun kalıba yerleştirilerek, basma gerilmesiyle malzemenin sıkıştırılıp, belirli profillere sahip matrisler içerisinde geçirilerek şekillendirilmesine "ekstrüzyon" adı verilir.

Çeşitli profil ve borular, hafif ve ağır metallere ekstrüzyon yöntemi ile elde edilebilir. Metallerin ekstrüzyonu genel olarak sıcak şekilde yapılır. Ancak kurşun ve kalay gibi yumuşak malzemelere soğuk ekstrüzyon yöntemi ile şekil verilebilir.

Genellikle ekstrüzyon yöntemi, çubuk, boru veya tüp imalinde kullanılır. Ancak düzgün kesitli olmayan parçaların üretimi içinde alüminyum gibi kolayca şekil değiştirebilen malzemeler kullanılabilir. Ekstrüzyon yönteminde de büyük kuvvetlere ihtiyaç olduğu için, birçok metal sıcak olarak şekillendirilmektedir.

1.1.4.4 Çubuk, Tel Çekme ve Boru İmalı

Borular sac malzemelerin kesilip, kıvrılıp ardından kaynatılarak şekil verilmesiyle veya blok malzemedan çeşitli yöntemlerle çekilerek imal edilirler. Sac levhadan kıvrılarak yapılmış borulara "dikişli boru" denir ve bunlar yalnızca düşük basınçlara maruz şebekelerde kullanılabilirler. Bloktan imal edilmiş borular ise "dikişsiz boru" olarak adlandırılır ve buhar ve hidrolik devreler, kazanlar gibi yüksek basınçlı yerlerde kullanılır.

Çekme yöntemi; bir taraftan çekme kuvveti uygulanarak, metalin bir kalıptan geçirilmesi işlemidir. Çubuk ve tel çekmede çeşitli büyüklükler için farklı kalıp ve ekipmanlar kullanılmasına rağmen, uygulanan prensip aynıdır. Çubuk ya zincirli ya da hidrolik bir mekanizma yardımıyla çekilir. Önceden ekstrüzyon yöntemiyle çekilerek veya haddelenerek oluşturulan mamul, bir çekme matrisi deliğinden tekrar geçirilerek çapının küçülmesi sağlanır.

1.1.4.5 Plastik Sac İşleme Usulleri

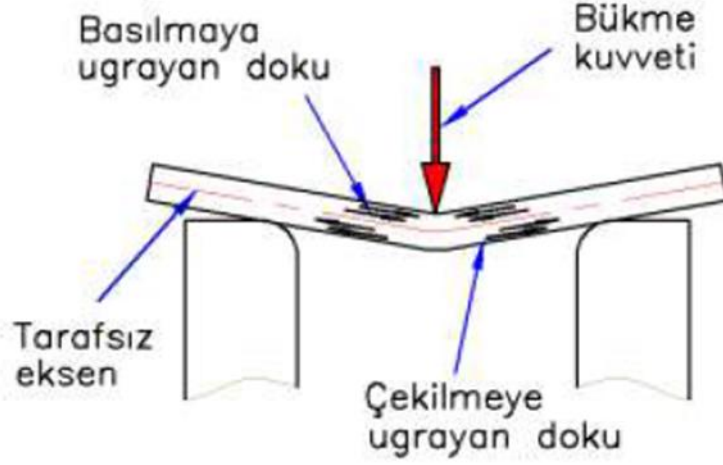
Seri imalatta yassı plaka ve levhalara istenilen çeşitlilikte şekil verebilmek, teknolojik ilerlemelerden biri olarak görülür. El yordamıyla şekillendirmeye gerek duymadan, sürekli, hızlı, seri imalata geçiş; yaşam standartını yükseltmede en büyük etkidir. Tank, kazan, beyaz eşya, gemi teknesi, otomobil gibi mamuller, saclara plastik şekil verilerek elde edilir.

Sacları bükme, kesme, kıvrıma, ütöleme, sıvama, damgalama hepsi plastik şekil verme usulüdür. Bundan sonra plastik şekil vermede bükme prosesi üzerinde duracağız.

1.1.5 Bükmeden İleri Gelen Plastik Şekil Değişirme

Şekil 1.4' te bükme kuvveti etkisi altındaki malzemede oluşan gerilmeler görülmektedir. İş parçasına kuvvetin uygulanması parçanın bükülmesine sebep olurken; iç yüzeyler kısalmaya dış yüzeyler de uzamaya çalışır. Ancak iç yüzeyle dış

yüzey arasında değişime uğramayan tarafsız düzlem vardır. Bu düzlem tarafsız eksen olarak da adlandırılır. Tarafsız eksenin iç kısımlarında malzemede basılma gerilmesi, dış kısımlarında da uzama gerilmesine maruz kalır.



Şekil 1.4. Uzama ve basma gerilmeleri (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları).

Büküm prosesinde iş parçasının kalınlığı, parçanın istenen bükme açısı ve bükme yarıçapı ölçüsü etkilidir. Bu parametrelerin büküm kuvveti ile olan ilişkisi;

- Malzeme kalınlığının arttıkça uygulanması gereken bükme kuvveti de artmalıdır.

- Büküm açısının artışı bükme kuvvetini artırır.

- Bükme yarıçapının azaltılması bükme kuvvetini artırır.

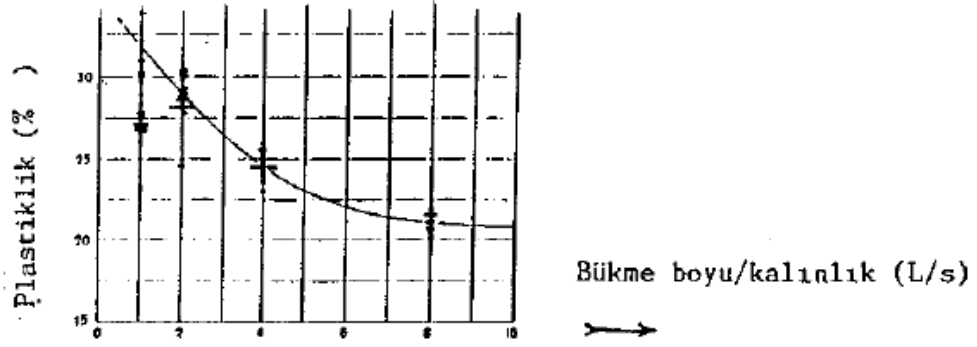
2. LİTERATÜR TARAMASI

Metal şekillendirme proseslerinde sac açınım geometrisinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Uygun açınım boyu hesaplamak için birçok araştırmacı tarafından numerik ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılmıştır. Ancak nümerik yöntemlerin her süreç için geçerliliği tartışmalı bir konudur. Bu tarz yaklaşımlar bilgi birikimi gerektirmekte ayrıca zaman kaybına neden olabilmektedir. Bu çalışmada ise bu kayıpları azaltmak için endüstrideki tecrübelerden yararlanılarak bilgisayar programı yazılarak hızlı ve doğru çözüm oluşturulmaya çalışılmıştır.

2.1 Bükme İşleminin Tanımı

Malzemeleri ısıtarak veya ısıtmadan ve talaş kaldırmadan, malzemenin bir eksen etrafında döndürülerek şekillendirilmesi işlemine bükme işlemi denir. Bükme işleminde sacın belirli bir bölgesi deformasyona uğrar. Bu sac parçaya uygulanan kuvvet basma gerilmesine maruz kaldığında malzeme eski formuna döner. Basma gerilmesinin aşılmasıyla oluşan akma gerilmesi parça üzerinde plastik deformasyon ve elastik şekil değişimi meydana getirir. Bükme kuvveti, malzemenin gösterdiği karşı dirençten büyük ama kalıbın gösterdiği karşı kuvvetten küçük olmalıdır (Özdemir A, 2010).

Bükme prosesi; sac malzemenin uniform gerinime uğratılmasıdır. Sac bandının boyuna yönüne dik doğrultuda tarafsız düzlemdeki düz eksen etrafında uygulanmaktadır. Kalıcı şekil değişimi meydana gelmektedir. Bükülen bölgenin iç kesiminde basma gerilimleri gözlenirken dış kesiminde çekme gerilimleri ortaya çıkar. Belirli kalınlıktaki uzunca büküm boylu sac şeritler aynı sac şeridin daha kısa büküm boylu olanlarına göre daha az plastiklik özelliği göstermektedir (Yurci ME, 1991). Şekil 2.1' de büküm boyunun artmasıyla plastikliğin azaldığı gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Bükme boyunun plastiklik özelliği üzerindeki etkisi (Yurci ME, 1991).

$\frac{\text{Genişlik}}{\text{Kalınlık}}$ oranı arttıkça dış kesimde oluşan çekme gerilmeleri malzemenin dayanım değerini aşabilir. Bu oran düştükçe iç kesimdeki basma gerilmesi bölgesinde bulunan genişlikte artış görülmektedir. Kalın saclarda şekil bozukluğu daha belirgin olmaktadır. Büküm yarıçapı büyüdükçe, bükümün derecesi azaldıkça, sac kalınlığı azaldıkça, metal akışı da azalmaktadır. Genişliği daha az olan saclar için çekme tarafında daha az olmakla beraber basma tarafında ise daha fazla metal akışı oluşur. Geniş bantlarda ise bunun aksine bir durum olur. Sert metaller çekme bölgesinde; yumuşak metaller ise basma bölgesinde daha fazla metal akışına neden olurlar (Yurci ME, 1991).

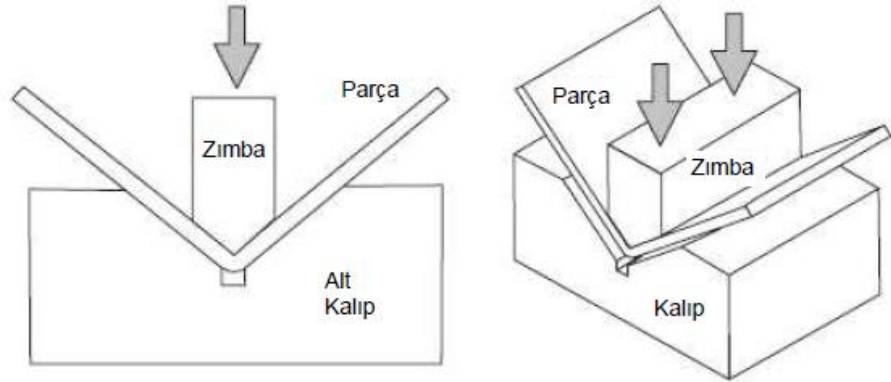
2.2 Büküm Metotları

Bükme işlemi doğrusal kalıp hareketiyle bükme ve dairesel kalıp hareketiyle bükme işlemi olarak iki ana gruba ayrılır. Doğrusal kalıpta bükme işlemi; V bükme ve U bükme olarak ikiye ayrılır. V bükme kendi içinde serbest bükme, kenar bükme, açılmal bükme gibi alt gruplara ayrılabilir (GmbH S ve GmbH S, 1998).

2.2.1 V Bükme

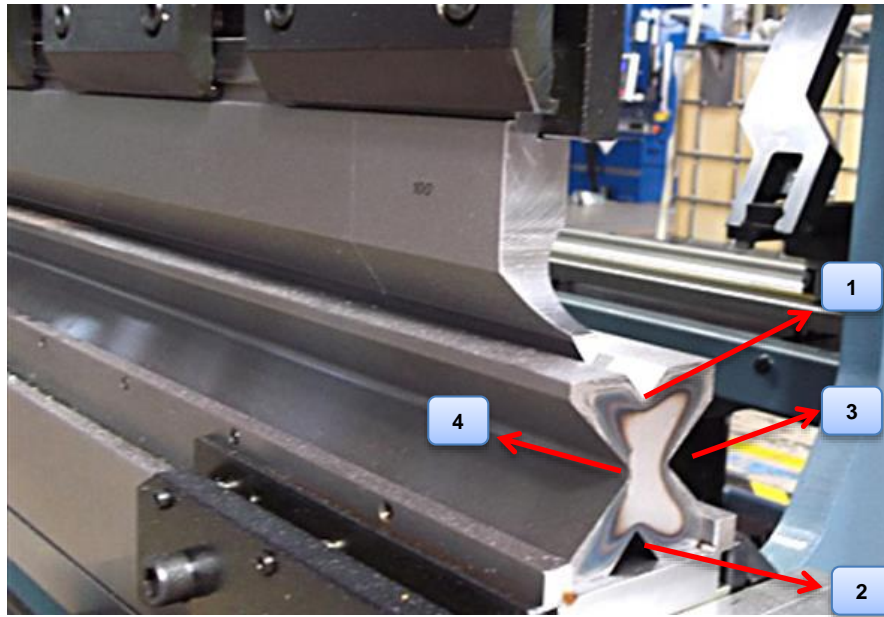
V kalıplarıyla büküm prosesinde (Şekil 2.2); büküm parçası üzerine doğru indirilen üst bıçak kalıbın dibine doğru inerek parçayı şekillendirir. V bükümde, üst kalıp ile alt kalıp arasındaki en yakın uzaklık çalışma parçasının kalınlığına eşittir.

Endüstride 0,5 mm den 25 mm sac kalınlıklarına kadar kullanım alanına sahiptir. V kalıplarında bükme geri esneme açısından daha kullanışlıdır.



Şekil 2. 2. V kalıpla bükme (GmbH S ve GmbH S, 1998).

Hidrolik abkant büküm preslerinde genellikle V yataklı kalıplar tercih edilir. Kullanılan sac kalınlığı cinsine göre alt kalıp üzerinde farklı genişlikteki V yatakları sayesinde, kalıp döndürülerek tek kalıpta farklı kalınlıkta ve cinsten saclar bükülebilir (MEGEP, 2011, Saclardan Profiller Bükme, Ankara). Şekil 2.3' te tek bir V yataklı kalıpta 1 mm' den 10 mm'ye kadar parçaların bükülebildiği alt yatağın görseli bulunmaktadır.

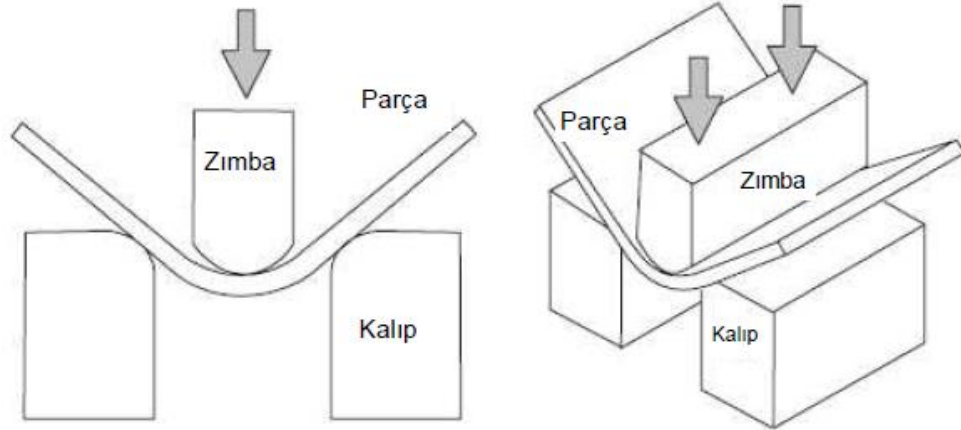


Şekil 2. 3. V yataklı kalıp görseli (1-V genişliği 16 mm, 2-V genişliği 22 mm, 3-V genişliği 35 mm, 4-V genişliği 50 mm).

Alt kalıbın V kanalı, iş parçası resmi üzerinde verilen bükme yarıçapına (R) göre seçilir. İş parçası resmi üzerinde bükme yarıçapı belirtilmemiş ise sac kalınlığı (S) dikkate alınarak uygun V kanalı seçilir (MEGEP, 2011, Saclardan Profiller Bükme, Ankara).

2.2.2 Hava bükümü (Serbest Bükme)

Serbest bükme prosesinde üst kalıp çalışma parçasına dokunur ve Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi; çalışma parçası v kalıbın alt boşluğunda dibine kadar inmeden kalıbın omuz çiftinden güç alarak şekillenir. Üst kalıp çalışma parçasından kurtulduğu zaman parçada belli bir miktar geri esneme görülür. Bunun sebebi elastic recovery fenomenon olarak görülür. Hava bükümü bir çok açıda, çeşitli malzemeleri az sayıda ekipman kullanarak gerçekleştirilebilmesi açısından avantajlıdır. Farklı büküm açıları aynı ekipmanlarla gerçekleştirilebilir çünkü büküm açıları üst bıçağın stroğu ile ilgilidir. Parçanın iç açısı kullanılan üst bıçağın uç radyusu ile aynı derecededir.



Şekil 2. 4. Serbest bükme (Diegel, 2002).

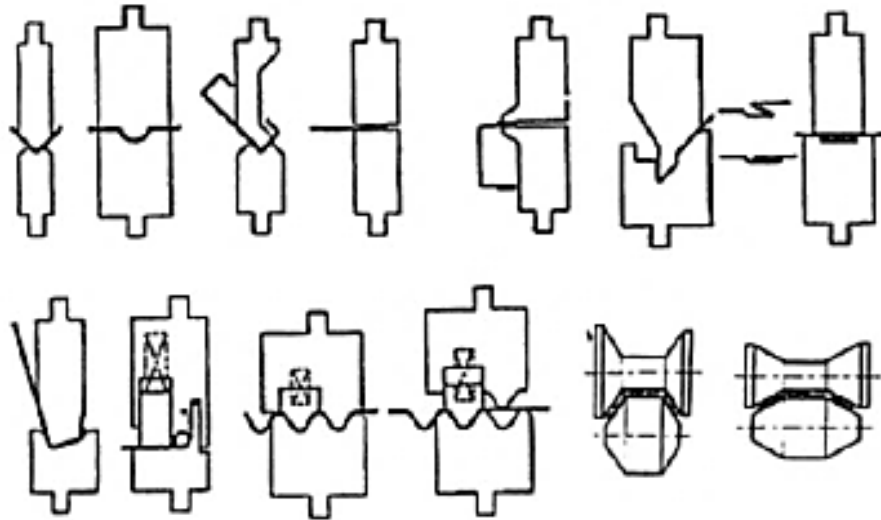
Hava Bükümü için K-Faktörü Kuralı;

Metallerin sertlik derecesine göre formülde kullanılması gereken k faktörü farklılık göstermektedir. Tablo 2.1’ de metallerin sertlik özelliklerine göre k faktörü değerleri belirtilmiştir.

Tablo 2.1. K faktörü tablosu (GmbH ve GmbH, 1998)

Radyus	Yumuşak Metaller	Orta Sertlikteki Metaller	Sert Metaller
0 mm 'den kalınlığa kadar	0,33	0,38	0,4
Kalınlıktan 3 kat kalınlığa kadar	0,4	0,43	0,45
3 kat kalınlıktan büyükse	0,5	0,5	0,5

Ürün şekline göre bükme işlemi Şekil 2.5 ve Şekil 2.6' da uygulamalı gösterilen; şekillendirme, oluklama, kenar bükme, ezme, birleştirme, kıvrırma, buruşturma ve dairesel şekillendirme olarak 8 ana grupta sınıflandırılmıştır. Bu konuyu bükme kalıpları kısmında detaylı inceleyeceğiz.



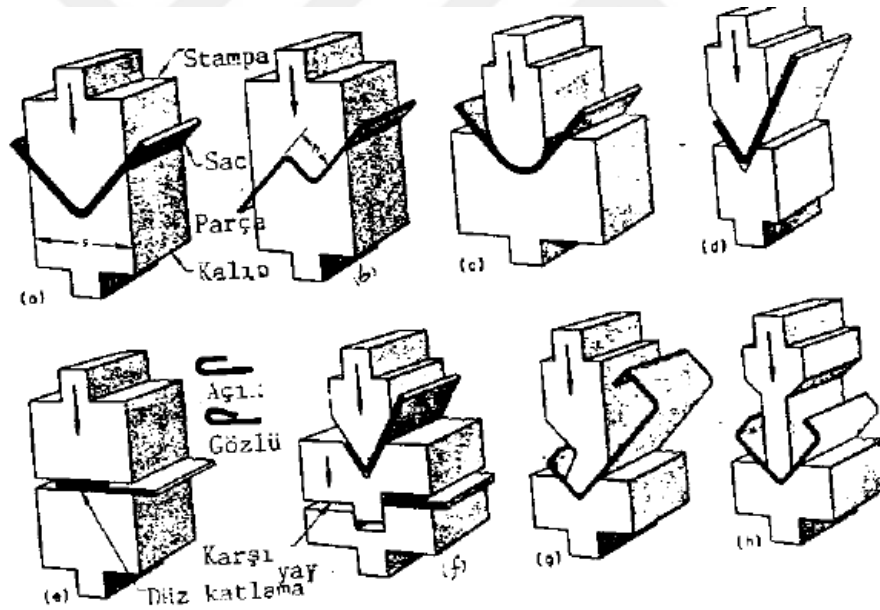
Şekil 2. 5. Ürün şekline göre bükme çeşitleri (Yurci ME, 1991).

Bükme işlemi abkant büküm işlemlerinde de kullanılan sac metal ürünlerinin büküm prosesi esnasında; geri-ileri esneme problemleri, açınım boyunun kısa veya uzun gelmesi gibi karşılaşılan olumsuzluklar, kalıp bağlama ayarlama sürelerinin üretimi olumsuz etkileyen uzunluğu gibi problemlerle karşılaşmaktadır. Çalışmamızda ilk olarak v geri-ileri esneme miktarlarının tahminine yönelik konular üzerinde duracağız.

2.3 Bükme Kalıpları

Bükme kalıpları da klavuzlu veya klavuzsuz olarak prosesin çeşitliliğine ve hassasiyetine göre tasarlanabilirler.

Sanayide uzun büküm uzunluğuna sahip olan parçalar için abkant presler kullanılmaktadır. Abkant preslerin çalışma kapasiteleri 1000 mm'den 8000 mm'ye kadar; tonajları da 30 ile 500 tona kadar çıkabilmektedir. Abkant preslerin avantajlarından biri de farklı yapılarıdaki kalıpların kolayca bağlanıp çıkarılabilir olmasıdır; bu şekilde çeşitli ürünlerin bükü prosesi gerçekleştirilebilir. Hidrolik abkant preslerde hidrolik mekanizmanın gereği aşırı yükleme tehlikesi söz konusu değildir. Stroğun ayarı ve stroğun kolayca aşağı yukarı alınabilme imkanı vardır. Stroğun, preslemeye geçiş, geri dönüş hızları artırılıp azaltılabilir. Presleme esnasında bekleme süresi artırılıp geri esneme azaltılabilir.



Şekil 2. 6. Bükme kalıpları (Yurci ME, 1991).

Şekil 2.6' da; a.) 90 ° V Bükme b.) Ofset Bükme c.) Kavisli Bükme d.) Dar açılı V Bükme e.) Katlama f.) Bükme ve Katlama g.) Ardışık Bükme ve kazboynu stampa h.) Ardışık Bükme ve Boşluklu Stampa (Yurci ME, 1991) örnekleri görülmektedir.

2.3.1 Ofset Bükme Kalıbı

Bu kalıp tipinde 90° lik iki bükme aynı anda yapılabilir. Ofset bükme işlemi genelde 3mm ve daha ince parçalar için kullanılmaktadır. Ofset derinliği h boyutu için minimum değer kalınlığın altı katı alınabilir. Şekil 2.7' de 1,5 mm kalınlığında ki galvaniz kaplı sacın ofset büküm prosesi gösterilmektedir.



Şekil 2. 7. 90° lik iki bükme işleminin aynı anda uygulanması (Ofset Bükme).

2.3.2 Kavisli Bükme Kalıbı

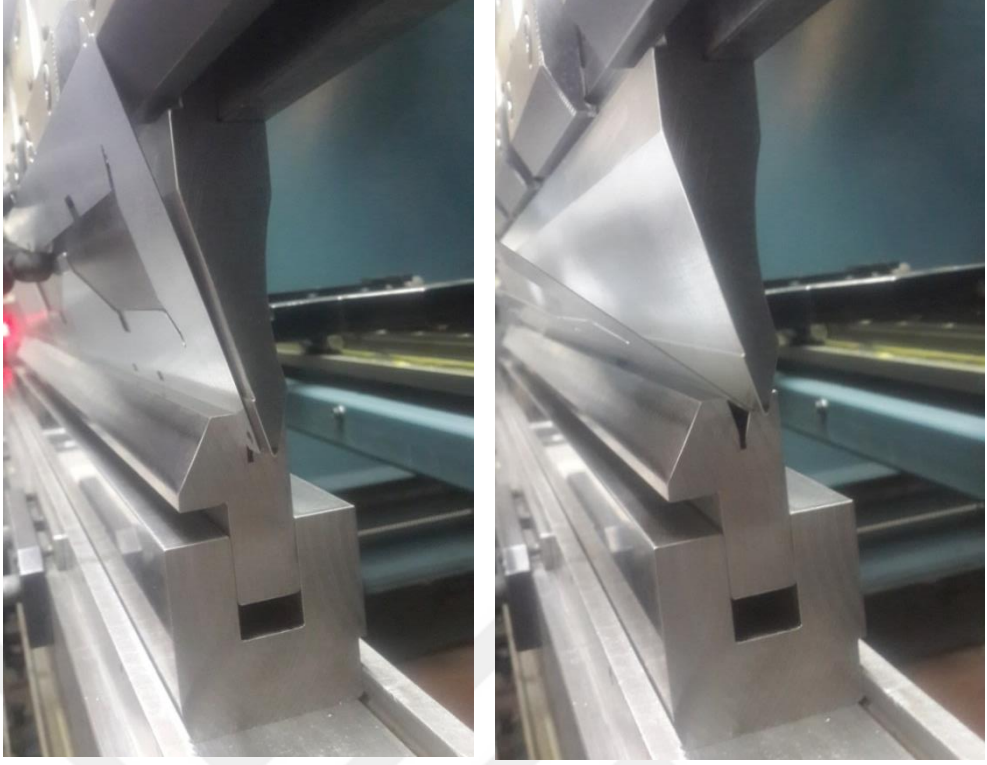
Geniş radyuslu 90° lik açılı kalıp ve stampa ile gerçekleşir. Stampa, kalıba tam olarak oturduğunda bükülen parçanın iç radyusu, stampa kavisinin belirli bir bölümü ile çakışmaktadır. Stampanın presleme hızının yüksek olması, daha az geri esneme ile daha küçük bükme yarıçapının sağlanması ve bükülen parçanın stampa ucunu daha iyi sarması sonucunu getirir. Sacın kalınlık olarak uniformluğu, bükme açısının uniformluğuna bağlıdır. Şekil 2.8' de radyuslu kalıp uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. Kavisli bükme kalıbı örneği.

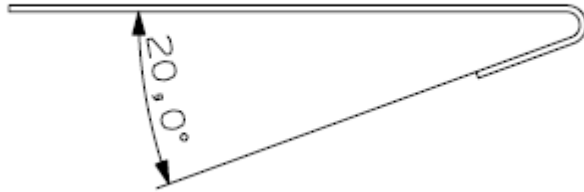
2.3.3 Dar Açılı Bükme Kalıbı

Bu kalıpta büküm için tam bir şekilde stampa kalıp çakışması olmaz. Dar açılı bükme, katlama bükümünün ilk basamağı olarak kullanılabilir. Bu amaçla olabildiği kadar dar açılı bir büküm elde edilmeye çalışılır. Katlama işleminin en büyük dezavantajı; metalin bu bölgede oldukça sertleşmesi ve şekillendirme esnasında kırılma eğilimi göstermesidir. Bu nedenle kıvrma işlemi Şekil 2.9' da örneği görüldüğü gibi genellikle ince kalınlıkta ki saclarda tercih edilir.



Şekil 2. 9. Dar açılı bükme kalıbı (30° bükme açısı).

Kıvrırma bükmede; parça ucunun yuvarlatılması veya daire şeklinde kalıplanması için kullanılır. Şekil 2.10' da belirtildiği gibi dar açıyla bükme işlemi gerçekleştirilir.



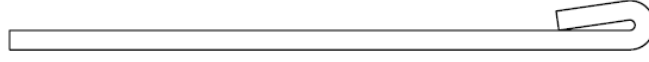
Şekil 2. 10. Kıvrırma bükme ile bükülmüş parça (90° den fazla bükme).

2.3.4 Katlama Kalıbı

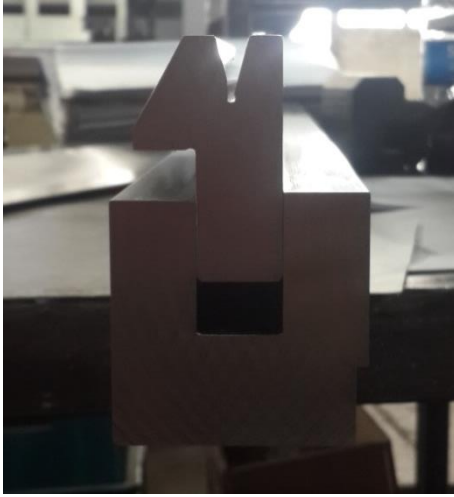
Katlama işlemi, sac malzeme ucundaki çapağı giderme için ve parçaya dayanım kazandırma amacıyla uygulanır. Malzemenin katlanan ucu 180° döndürülür,

daha sonra birbiri üzerine bindirilir. Bu işlemden önce dar açılı bükme aşaması yer alır. Şekil 2.12’ de hem kıvrırma hem da katlama işleminde kullanılabilen bir alt yatak görseli bulunmaktadır.

Katlama kalıbı; malzemelerin kenarlarını birbiri üzerine katlayan kalıptır. Genellikle parça kenarlarına sağlamlık katma veya parçanın iki ucunu birleştirmek amacıyla tercih edilir.



Şekil 2. 11. Katlama kalıbıyla bükülmüş parça görseli.



Şekil 2. 12. Dar açılı bükümü ve katlama prosesini gerçekleştiren kalıp.

2.3.5 Kazboynu Stampalı Kalıp

Ardışık bükümleri gerçekleştirmek üzere, bazı stampa tipleri kazboynu ya da boşluklu olarak düzenlenmektedir.

Çeşitli stampa tiplerinde pres başlığına bağlantı kısmı, genellikle düz olarak tasarlanmaktadır. Bazı durumlarda bükülecek ürünün imalatının kolaylığı ve stampanın mukavemetini arttırmak için çıkıntılı olarak da tasarlanabilmektedir.

Şekil 2.13’ te yer alan kazboynu stampalı üst kalıp genellikle ardışık bükümlerin bulunduğu parçaların bükümünde kullanılır.



Şekil 2. 13. Kazboynu stampalı üst kalıp.

2.3.6 Boşluklu Bükme Kalıbı

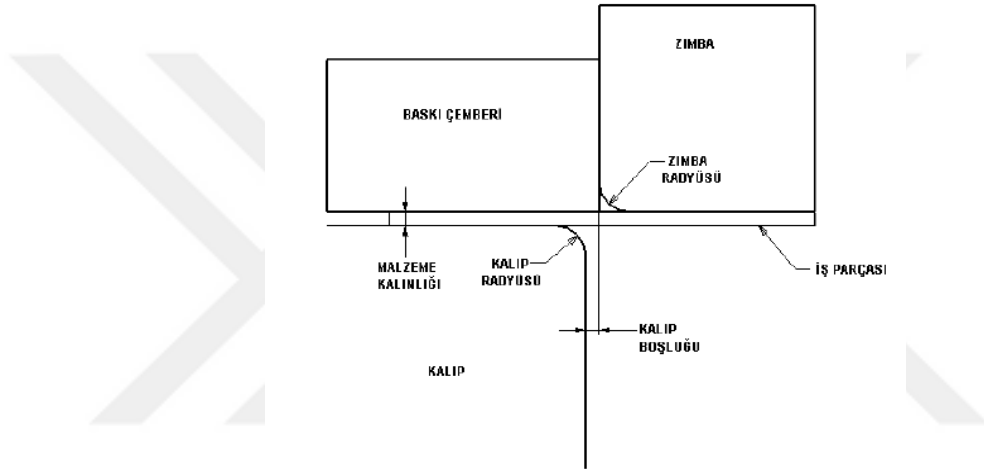
Stampanın tam olarak oturmasına gerek kalmadan uygulanan bükme stroku parçanın şekillendirilmesi için yeterli olur. Bu kalıp genellikle “V” bükme tipindedir. Ancak dik kenarlı olarak da üretilebilir.

Zımbanın tasarımı, uç radyusu büküm parçası ile uyumludur. İstenen büküm açısı stampanın kalıba giriş derinliği ile ayarlanabilmektedir. Kalıp açıklığı arttıkça uygulanan şekil değiştirme kuvveti azalır. Açıklığın azalması ile manivela etkisi de azaldığından daha büyük kuvvetler gerekecektir. 12 mm’ ye kadar olan kalınlıktaki sacların boşluklu bükülmesinde kalıbın açıklığı genellikle sac kalınlığının 8 katı seçilmektedir. Bu durumda yaklaşık olarak sac kalınlığına eşit bir büküm yarıçapı sağlanabilmektedir. Bundan daha kalın veya yüksek dayanımlı metaller için büküm yarıçapını arttırıp çatlama olasılığını azaltmak amacıyla kalıp açıklığının en azından sac kalınlığının 10 katı kadar seçilmesi gerekmektedir.

Boşluklu bükme işleminin en önemli avantajı; minimum sayıdaki stampa ve kalıp ile çok değişik bükme işlemleri sağlanabilmesidir.

Bu yöntemin dezavantajı ise büküm prosesinin kararsızlığıdır. Boyutsal değişimler ile sacın sertliğindeki değişimler, üretim süresince geri esnemenin de değişmesine yol açar.

2.3.7 Kenar bükme işlemi

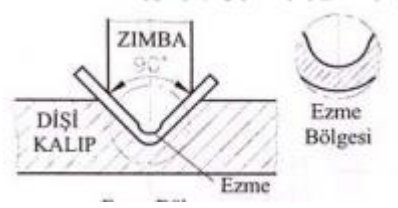


Şekil 2. 14. Kenar bükme (Özdemir A, 2010).

Şekil 2.14' de de görüldüğü gibi iş parçası (sac) baskı çemberi tarafından sabit tutulurken bükme zımbası aşağı doğru inerek sacı şekillendirir.

2.3.8 Ezme metodu

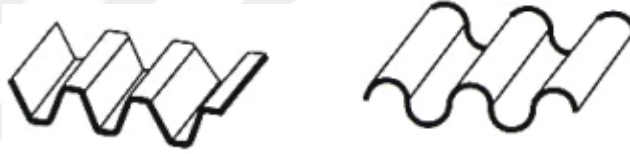
Malzemedeki bükme bölgesi, zımba ve dişi kalıp arasında kalacak şekilde ezilir. Ancak bu tip bükme işlemlerinde yüksek tonajlı pres tezgâhı gerekir. 90° lik V bükme kalıbında yapılır. 90° lik V bükme kalıplarında zımba ucu yarıçapı sac malzeme kalınlığından az olmalıdır ki ezme işlemi gerçekleştirilebilsin. Şekil 2.15' te ezme yönteminin temsili uygulanması gösterilmiştir.



Şekil 2. 15. Ezme metodu.

2.3.9 Oluk bükme işlemi

Bu işlem düz sac levhaların dayanımını artırmak aynı zamanda biçimlendirme sonunda şekil değişimini önlemek için uygulanır. Oluk bükme kalıplarında tek vuruşta birden dörde kadar oluk bükme yapılabilir. Uygulama alanları; duvar panoları, çatı levhaları, hangar, gölgelik ve benzeri yerlerdir. İşlemle birlikte alüminyum ve galvanizli sac levhalara kalıplama işlemi uygulanır. Şekil 2.16’ da de görüldüğü gibi olukların tasarımı değişiklik gösterebilir.



Şekil 2. 16. Oluk bükme kalıbında bükülmüş parçalar.

2.4 Bükme İşlemini Etkileyen Faktörler

2.4.1 Malzeme Özelliklerinin Etkisi

Plakanın kalınlık değişimleri, akma gerilmesi ve haddeleme yönü bükme işlemi etkileyen faktörlerdir. Akma gerilmesinin büyük olması daha yüksek bükme kuvvetlerinin uygulanmasını zorunlu kılar. Ek olarak akma gerilmesinin büyük oluşu; şekillendirme güçlüğü ve kırılma, geri esnemenin artışı gibi sorunlara yol açar. Örnek verecek olursak paslanmaz çelik bir sacı bükme için; düşük karbonlu çeliğe uygulanan kuvvetin %50-60 kadar daha fazla bükme kuvveti uygulanması

gerekir. Tablo 2.2 ve 2.3' te genel yapı ve paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 2.2. Genel yapı çelikleri mekanik özellikleri (Has Metal, Genel Yapı Çelikleri)

DIN (Eski)	DIN (Yeni)	SAE/AISI	Çekme		Akma Sınırı (>= Mpa)						Kopma Uzunluğu (Şekillendirme yönü-dik doğrultu) (>=%)			
			Dayanımı (Mpa)		<=16mm		>=16mm		>=40mm		>=63mm		>=80mm	
			<3 mm	3 mm >=	<=40mm	>=40mm	<=63mm	>=63mm	<=80mm	>=80mm	<=3mm	<=40mm	<=63mm	
St33	S185	-	310-540	290-510	185	175					16	-	-	
St 37-2	S235 JR	-	360-510	340-470	235	225					26	25	24	
Ust 37-2	S235JRG1	A570Gr.33	360-510	340-470	235	225	215	215	195	26	25	24		
RSt 37-2	S235JRG2	A570Gr.36	360-510	340-470	235	225	215	215	215	26	25	24		
St 37-3	S235JRG3	A284Gr.D	360-510	340-470	235	225	215	215	215	26	25	24		
St 44-2	S275JR	A570Gr.40	430-580	410-560	275	265	255	245	235	22	21	20		
St 44-3	S275J0	A573Gr.70	430-580	410-560	275	265	255	245	235	22	21	20		
St 52-3	S355J0	-	510-680	490-630	355	345	335	325	315	22	21	20		
St 50-2	E295	A570Gr.50	490-660	470-610	295	285	275	265	255	20	19	18		
St 60-2	E335	-	590-770	570-710	335	325	315	305	295	16	15	14		
St 70-2	E360	-	690-900	670-830	360	355	345	335	325	11	10	9		

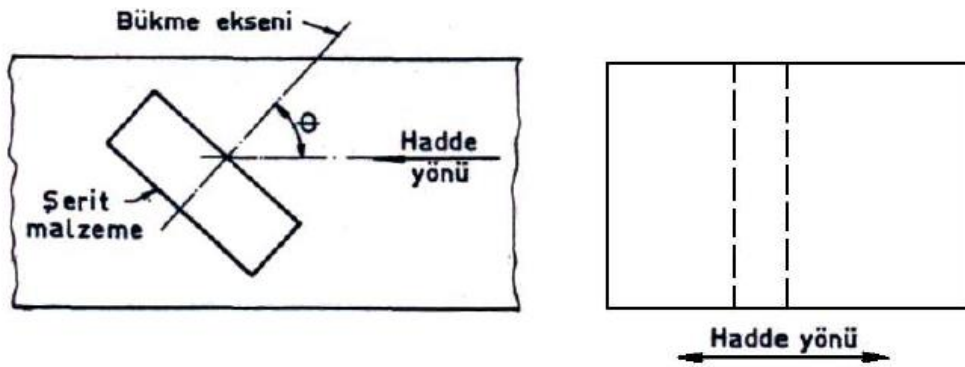
Tablo 2.3. Paslanmaz çeliklerde mekanik özellikler (Has Metal, Genel Yapı Çelikleri)

DIN	SAE/AISI	Tavlı	İslah	Sertleştirme	Hızlı Soğutma	SERTLİK(RS D-C)	ÇEKME DAYANIMI (Mpa)								A5 Kopma uzunluğu 10-5d0>=%		
							20	50	100	150	200	300	400	500		550	
X 6 Cr 13	403	*	-	-	-	130...180	250	240	235	230	225	220	195	-	-	450..650	20
X 6 CrAl 13	405	*	-	-	-	130...180	250	240	235	230	225	220	195	-	-	450..650	20
X 10 Cr 13	410	*	-	-	-	140...180	300	285	275	265	260	245	-	-	-	550...700	20
X 8 Cr 17	430	*	-	-	-	130...170	270	-	-	-	-	-	-	-	-	450..660	20
X 20 Cr 13	420	-	*	-	-	160...210	400	-	-	-	-	-	-	-	-	550...700	18
X 15 Cr 13	-	*	-	-	-	<=220	440	-	-	-	-	-	-	-	-	<=750	-
X 40 Cr 13	-	*	-	-	-	<=250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<=800	-
X 22 CrNi 17	431	*	-	-	-	<=275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<=950	-
X 12 CrMoS 17	430 F	*	-	-	-	160...210	300	-	-	-	-	-	-	-	-	550..700	20
X 6 CrMo 17	434	*	-	-	-	130...180	270	-	-	-	-	-	-	-	-	450..650	20
X 45 CrMoV 15	-	*	-	-	-	<=260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<=900	-
X 5 CrNi 18 9	304	-	-	-	-	130...180	185	175	155	140	127	110	98	92	90	500...700	50
X 5 CrNi 18 12	308;305	-	-	-	*	130...180	185	175	155	140	127	110	98	92	90	500...700	50
X8CrNiS18-9	303	-	-	-	*	130...180	215	-	-	-	-	-	-	-	-	500...700	50
X2CrNi19-11	304 L	-	-	-	*	130...180	175	165	145	130	118	100	89	81	80	450...700	50
X 2 CrNiN 18 10	304 L N	-	-	-	*	140...200	270	245	205	175	157	136	125	119	118	550...750	40
X5CrNiMo17-12-2	316	-	-	-	*	130...180	205	195	175	158	145	127	115	110	108	500...700	45
X2CrNiMo17-12-2	316 L	-	-	-	*	120...180	195	185	165	150	137	119	108	100	98	450...700	45
X2CrNiMoN17-11-2	316 L N	-	-	-	*	150...210	280	250	211	185	167	145	135	129	127	600..800	40
X2CrNiMoN17-13-3	316 L N	-	-	-	*	50...210	300	265	225	197	178	155	145	138	136	600..800	40
X2CrNiMo18-14-3	316 L	-	-	-	*	120...180	195	185	165	150	137	119	108	100	98	450...700	45
X3CrNiMo17-13-3	316	-	-	-	*	130...180	205	195	175	158	145	127	115	110	108	500...700	45
X2CrNiMo18-15-4	317 L	-	-	-	*	130...180	195	187	170	158	144	126	116	110	108	500...700	45
X 3 CrTi 17	M 8;430Ti	*	-	-	-	130...170	270	-	-	-	-	-	-	-	-	450..600	20
X 3 CrNb 17	-	*	-	-	-	130...170	270	-	-	-	-	-	-	-	-	450..600	20
X6CrNiTi18-10	321	-	-	-	*	130...190	205	190	176	165	155	136	125	119	118	500...750	40
X6CrNiNb18-10	347	-	-	-	*	130...190	205	190	176	165	155	136	125	119	118	500...750	40
X6CrNiMoTi17-12-2	316 Ti	-	-	-	*	130...190	205	205	190	176	165	145	135	127	127	500...750	40

1100 Alüminyum alaşımı gibi yumuşak metallere geri esneme ihmal edilebilir. Düşük karbonlu çeliklerde, genellikle alüminyum ve bakır alaşımlarından daha fazla geri esneme meydana gelir ancak paslanmaz çeliklerde bunlardan daha fazla geri esneme görülür.

Haddeleme yönü de büküm işlemini çok etkileyen bir faktördür. Şekil 2.17’ de hadde yönü belirtilen bir malzemenin büküm yönü gösterilmiştir. Parçanın çizimi, konstrüksiyonu gereği sacın hadde yönüne aykırı bir bükme prosesi gerekebilir. Kalın parçalar ile akma gerilmesi yüksek olan malzemelerde, bükme kenarı ile haddeleme yönü arasındaki açı daha da öncelik kazanmaktadır.

Bükülebileceği kabul edilen bir metal parça için en çok arzu edilen durum bükme ekseninin hadde yönüne dik olmasıdır. En az arzu edilen durum ise bükme ekseninin doku yönüne paralel olduğu zamandır. θ açısı 90° ye yaklaştıkça, malzemenin bükme gerilmesine karşı koyma kabiliyeti iyileşir. Eğer bükme işlemi sırasında haddeleme yönüne dikkat edilmezse bükülen parça üzerinde çatlaklar meydana gelebilir (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları, Ankara).



Şekil 2. 17. Şerit malzemenin haddeleme yönü ve bükme esnasında dikkat edilecek bükme açısı (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları, Ankara).

2.4.2 Parça Dizaynı

Bükülecek parçanın büküm çizgisinin parçanın kenarına çok yakın olması veya büküm çizgisine yakın yerde delikler olması düzgün bir bükme kenarı elde edilmesini güçleştirmektedir. Büküm kenarı üzerindeki çentik ve boşluklar, bükümün düzgünlük ve sürekliliğini engellemektedir. Şekil 2.18’ de gösterilen parçanın bükümü için kullanılan kalıbın V genişliğinin daha büyük olması durumunda; büküm eksenine yakın olan deliklerin deformasyona uğradığı görülecektir.



Şekil 2. 18. Ofset büküm örneği.

Ofset bükümde; büküm kenarları arasında minimum kalınlığın altı katı bir mesafe bulunmadıkça biçim sapmaları görülebilmektedir (Yurci ME, 1991).

2.4.3 Büküm Yarıçapı

Prof. Dr. Emin Yurci, çoğu metalin r/s oranının yaklaşık olarak sabit kaldığını, çünkü plastiklik özelliği r değerini sınırlayan başlıca etken olduğunu söylemektedir. Diğer bir faktör ise işlem sırasında oluşan pekleşmedir. Bu malzeme türü ve ısıl işleme bağlı olarak değişebilmektedir (Yurci ME, 1991).

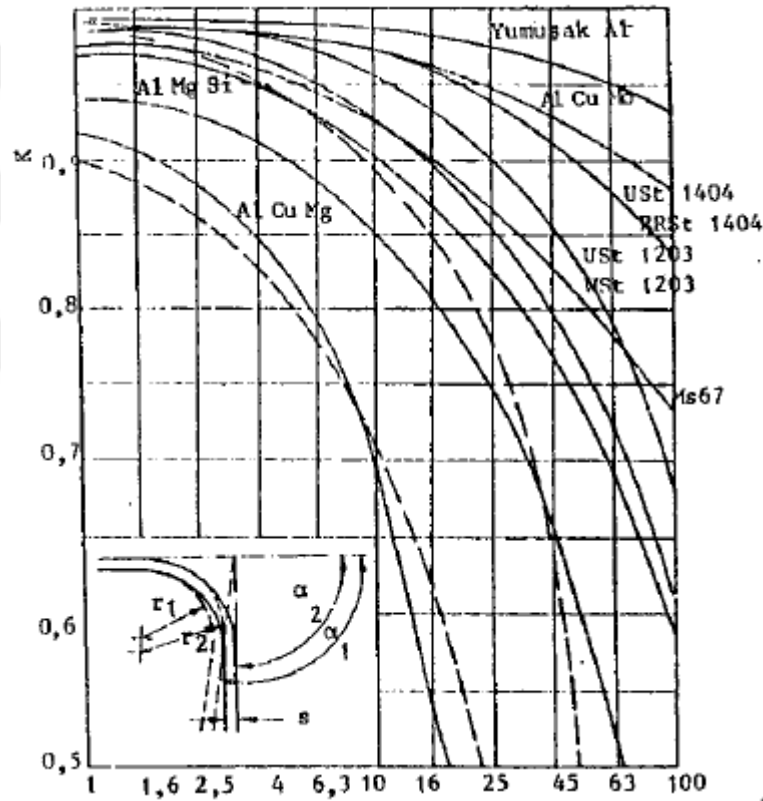
Büküm yarıçapı bükülecek parçanın metal özelliklerine ve prosesin gerçekleştirileceği takımın dizaynına da bağlıdır. Hava bükümü prosesinde büküm yarıçapı kullanılan üst bıçağın uç radyusu kadardır.

2.4.4 Geri Esneme

Şekil verme işleminden sonra yük boşaltımı esnasında bir metal levhanın şeklinin elastik olarak değişime uğraması geri esneme olarak tanımlanır (GmbH S ve GmbH S, 1998). Şekil 2.20' de geri esnemenin görseli bulunmaktadır.

Geri esnemeyi etkileyen faktörler ise şu şekilde sıralanabilir; malzeme kalınlığı, malzeme ve işlem parametreleri (sıcaklık ..vb), malzeme üzerinde zımba yükünün beklediği zaman aralığı (ütüleme süresi) kalıp ölçüleri ve uygulanan yük parametreleridir (Aslan ve Karaağaç, 2014).

Bükme işlemi sonunda sacın üzerindeki bükme basıncı kalkınca elastik gerilmelerin de kalkması ile eğrilik yarıçapı genişleyerek geri esneme olayı meydana gelmektedir. Geri esneme hareketi $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ oranı ile metalin sertlik durumuna bağlı olmaktadır (Yurci M.E, 1991).



Şekil 2. 19. Geri esneme katsayıları (Yurci ME, 1991).

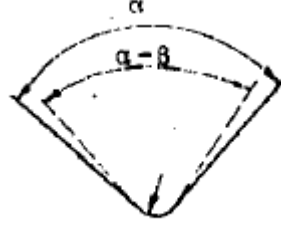
$$K = \frac{r_1 + \frac{s}{2}}{r_2 + \frac{s}{2}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad (2.1)$$

Geri esneme ile ilgili olarak, bükme açısına pay verilmesi, uç ezmeli ve germeli bükme uygulaması gibi önlemlere başvurulur (Yurci ME, 1991).

Sünek malzemelerde, bükme yarıçapının küçük seçilmesi durumunda ve kalın sacların bükülmesi esnasında geri esneme azalma görülebilir. Şekil 2.19 ve Tablo 2.4’ te malzeme cinslerine göre geri esneme açıları belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Geri esneme açıları (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları, Ankara)

Malzeme Cinsi	Sac Kalınlığı (mm)	Bükme Yarıçapı (mm)	β°
Yumuşak Çelik	< 0,8	< 1s	4
		(1-5) s	5
		> 5s	6
Yumuşak Prinç $\sigma_{\zeta} = 22 \frac{Kgf}{mm^2}$	0,8-2	< 1s	2
		(1-5) s	3
		> 5s	4
Alüminyum	2<	< 1s	0
		(1-5) s	1
		> 5s	2
Orta Sert Çelik $\sigma_{\zeta} = 40 \frac{Kgf}{mm^2}$	< 0,8	< 1s	5
		(1-5) s	6
		> 5s	8
Sert Prinç $\sigma_{\zeta} = 35 \frac{Kgf}{mm^2}$	0,8-2	< 1s	2
		(1-5) s	3
		> 5s	5
Sert Bronz	2<	< 1s	0
		(1-5) s	1
		> 5s	3
Sert Çelik $\sigma_{\zeta} = 60 \frac{Kgf}{mm^2}$	0,8	< 1s	7
		(1-5) s	9
		> 5s	12
	0,8-2	< 1s	4
		(1-5) s	9
		> 5s	7
	2<	< 1s	2
		(1-5) s	3
		> 5s	5



Şekil 2. 20. Geri esneme açısı (Yurci ME, 1991).

Ütüleme süresi geri esnemeye etki eden faktörlerin en başında gelmektedir.

DKP (DC01) kalite sac malzeme için yapılan bir incelemede; 4 farklı bükme yöntemi kullanılarak ütüleme süresinin etkisi değerlendirilmiştir. DKP çelik sac malzemenin 15, 30, 45, 60, 75, 90 derece açılarla bükülmesinde; 1. yöntemde kalıp ile zımba arasına sac malzemenin kalınlığı kadar boşluk verilmiş ve malzemenin bükme kesitinde ezilerek geri esnemeyi etkilemesi bu sayede önlenmiş ve 20 sn ütüleme süresi uygulanmıştır. 2. yöntemde kalıp ile zımba arasında sac malzeme kalınlığı kadar boşluk bırakılmış ancak ütüleme süresi uygulanmamıştır. 3. yöntemde zımba sac malzemeyi preslemiş ve 20 sn ütüleme süresi tercih edilmiştir. 4. yöntemde ise zımba ile kalıbın teması sağlanmış, sac malzeme kalınlığı ihmal edilmiş ve sac malzemenin üzerine etki eden zımba hiç bekletilmemiştir. Bunlar sonucunda, geri esneme miktarının kalıp fonksiyonu ve malzemeye göre değiştiği bulunmuş olup, ütüleme süresi artışının geri esneme değerini oransal olarak azalttığı gözlemlenmiş, ayrıca ütüleme süresinin 20 sn uygulanması durumunda DKP sac malzemede geri esneme değerinde 1 ile 3 derece arasında azalma olabileceği belirlenmiştir (Aslan ve Karağaç, 2014).

CNC servo presler kullanılarak yapılan çalışmalarda; kalınlık kontrollü bükme için kullanışlı olduğu ve ayrıca geri esneme miktarına şekillendirme hızı ve kalıp alt ölü noktasındaki ütüleme zamanının etkilerinin çok küçük olduğu tespit edilmiştir.

Gerisneme miktarını etkileyen diğer faktörler;

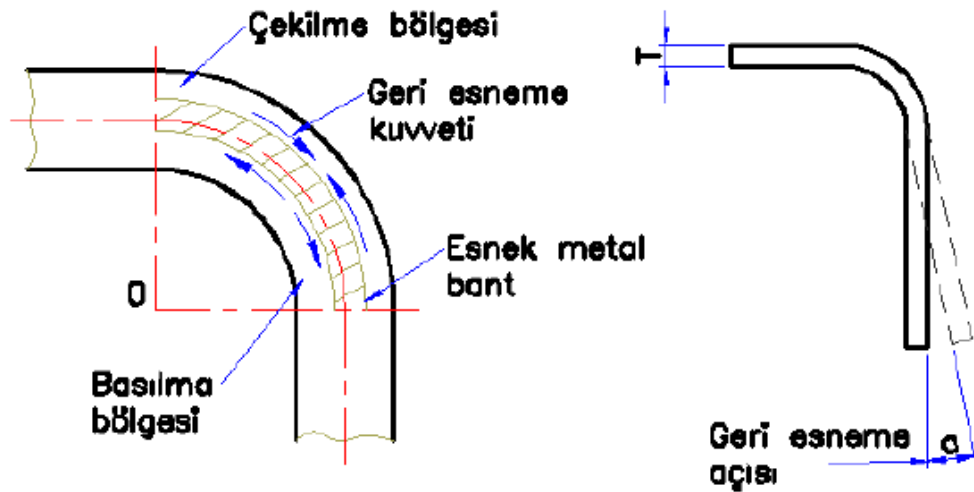
- Sertliği fazla olan metallerde elastik metal bant büyüktür ve gerisnemeyi arttırır.

- Küçük yarıçaplı bükümlerde, geri esneme miktarı azalır fakat bükme bölgesinde kırılma meydana gelir.

- Bükme açısından daha büyük bükümlerde, geri esneme elastikiyet bölgesi artar ve her bükme derecesindeki geri esneme miktarı azalır.

Geri esnemenin telafisi için yapılan çalışmalar genellikle kalıp takımlarının değişimini ve modifiyesini içermektedir. Geri esnemenin tahmini takım tasarım aşamasında çok önem kazanmaktadır. Çünkü bitmiş kalıp takımları üzerindeki geometri düzeltmeleri çokzaman alıcı ve maliyetlidir. (Has Metal, Genel Yapı Çelikleri).

En büyük çekme gerilimesi, bükülen parçanın dış yüzeyinde oluşur. İç yüzeye doğru çekme gerilimi azalır ve tarafsız eksen üzerinde sıfır olur.



Şekil 2. 21. Geri esneme kuvveti ve geri esneme miktarı (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları, Ankara).

Geri Esneme miktarı faktörü (K) (2.2) formülü yardımıyla bulunur.

$$K = \frac{\alpha}{\alpha_d} = \frac{R_d + \frac{T}{2}}{R_1 + \frac{T}{2}} \quad (2.2)$$

K = Geri Esneme Faktörü

R_1 = Parçanın bükme kavis yarıçapı (mm)

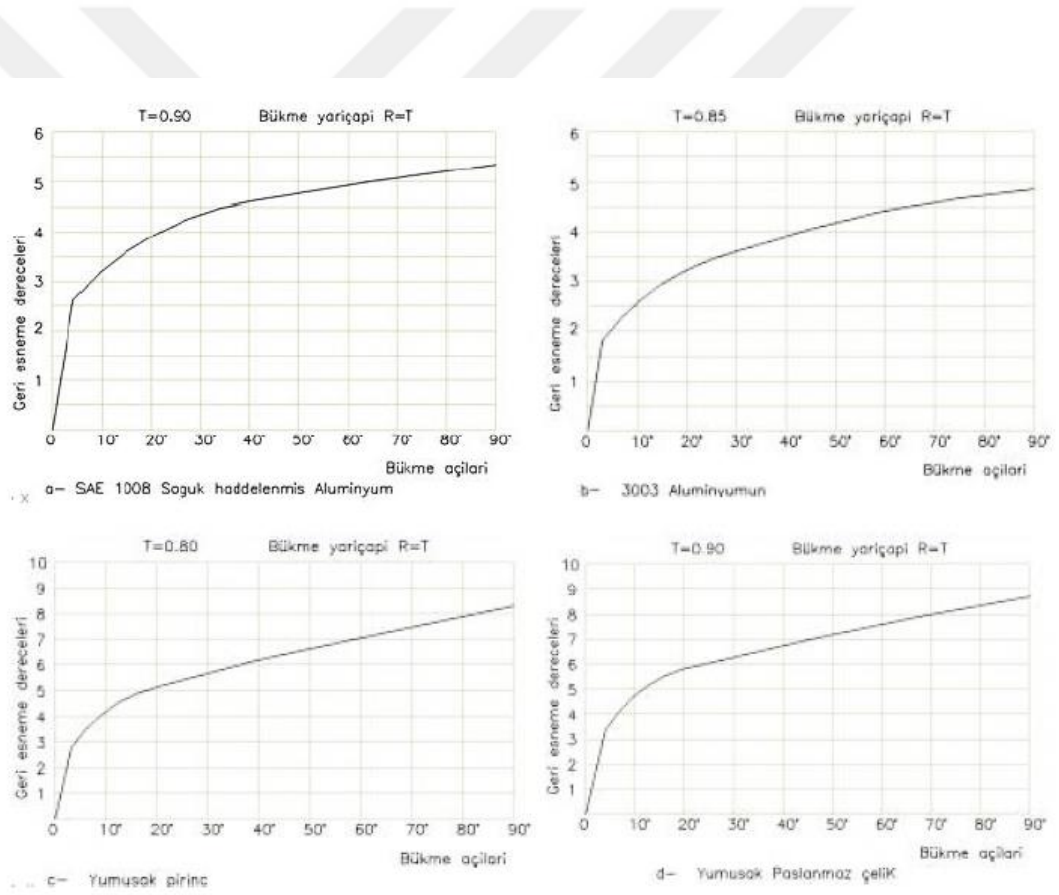
R_d = Dişi kalıp kavis yarıçapı (mm)

α = Parçanın bükme açısı (°)

α_d = Dişi kalıp açısı (°)

T = Sac malzemenin kalınlığı (mm)

Bazı malzemelerin cinsi ve bükme açısına göre geri esneme miktarı Şekil 2.22' de gösterimiştir.



Şekil 2. 22. Bazı malzemelerin geri esneme grafiği (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları, Ankara).

Geri esnemeyi giderebilmek için bükme kavis yarıçapı, sac malzeme kalınlığı, bükme açısı ve malzemenin cinsine göre düzenlenmiş grafiklerden

bulunacak geri esneme miktarları zımbaya ve dişi kalıba aktarılarak malzemenin tam ölçüde bükülmesi sağlanabilir (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları, Ankara).

Geri esneme miktarının giderilmesi için ;

İstenilen açıda bükme işlemi yapılabilmesi için bükme açısı, geri esneme değeri kadar arttırılır.

Bükme bölgesi, kalıp ve zımba arasında ezilir.

Zımba ucunun iç bükey yapılarak, özellikle kalın parçaların büküm prosesinde geri esneme önlenir.

Hasford ve Caddell elastik – ideal plastik malzemeler için kullanılabilen geri esneme modeli sunmuşlardır; (Wang vd., 2008)

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{r} = \frac{2\sqrt{3}Y(1-V^2)}{ET} \quad (2.3)$$

(2.3) formülündeki elemanların açıklamaları;

R = İlk yüklemdeki büküm radyusu

r = Yükleme sonrası büküm radyusu

Y = Akma Dayanımı

E = Young Modülü

V = Poisson Oranı

T = Sac Kalınlığı

Pekleşmiş malzemeler için ;

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{r} = \left(\frac{6}{2-n}\right) \left[\frac{K'(1-V^2)}{ET}\right] \left(\frac{T}{2R}\right)^n \quad (2.4)$$

$$K' = K \left(\frac{4}{3}\right)^{(n+1)/2} \quad (2.5)$$

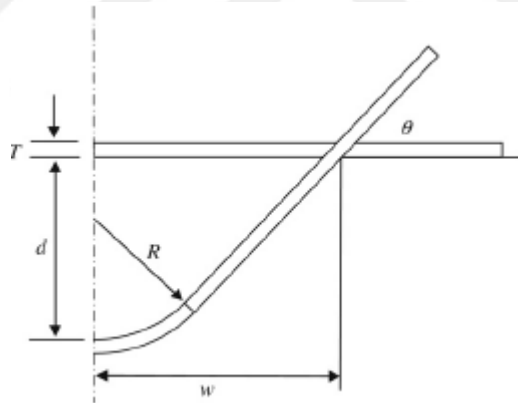
K = Güç Katsayısı

N = Pekleşme Üsteli

Gardiner tarafından geliştirilmiş matematik modelinde, geri esneme daha da basitleştirilerek ;

$$\frac{R}{r} = 4 \left(\frac{RY}{ET}\right)^3 - 3 \left(\frac{RY}{ET}\right) + 1 \quad (2.6)$$

Büküm radyusunun iki düz bölüme tanjant olduğunu varsayarsak, ilk büküm radyusu R yaklaşık olarak kalıp geometrisinden hesaplanabilir, malzeme kalınlığı ve ölçülen büküm açısı Şekil 2.23' te gösterilmiştir .



Şekil 2. 23. Büküm gösterimi.

$$R = \frac{w \tan \theta_1 + \frac{T}{2} - d}{\sec \theta_1 - 1} \quad (2.7)$$

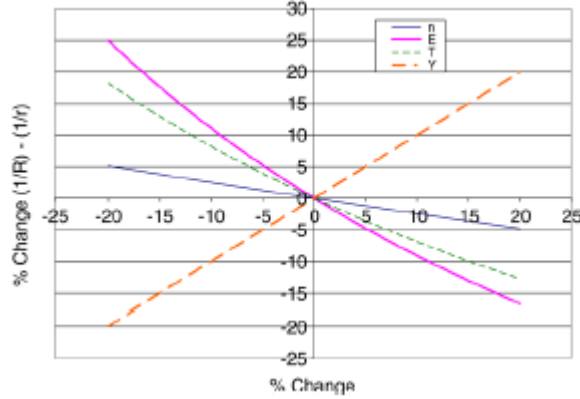
W = yaklaşık olarak kalıp genişliğinin yarısı

θ_1 = Yüklene büküm açısı

d = Zımbanın indiği derinlik (kalınlık hariç)

Yukarıdaki eşitliklerden görüldüğü gibi malzeme kalınlığı (T) ve malzeme özellikleri (E,Y ve n) kullanılarak geri esneme hesaplanabilir.

Geri esneme derecesi $\left(\frac{1}{R}\right) - \left(\frac{1}{r}\right)$ olarak nitelendirilen parametrelerin yüzde sapmasına karşı çizilir. Lineer olmayan ilişkiler beklenmesine rağmen, geri esneme üzerine parametlerin etkisi bulunmuştur.



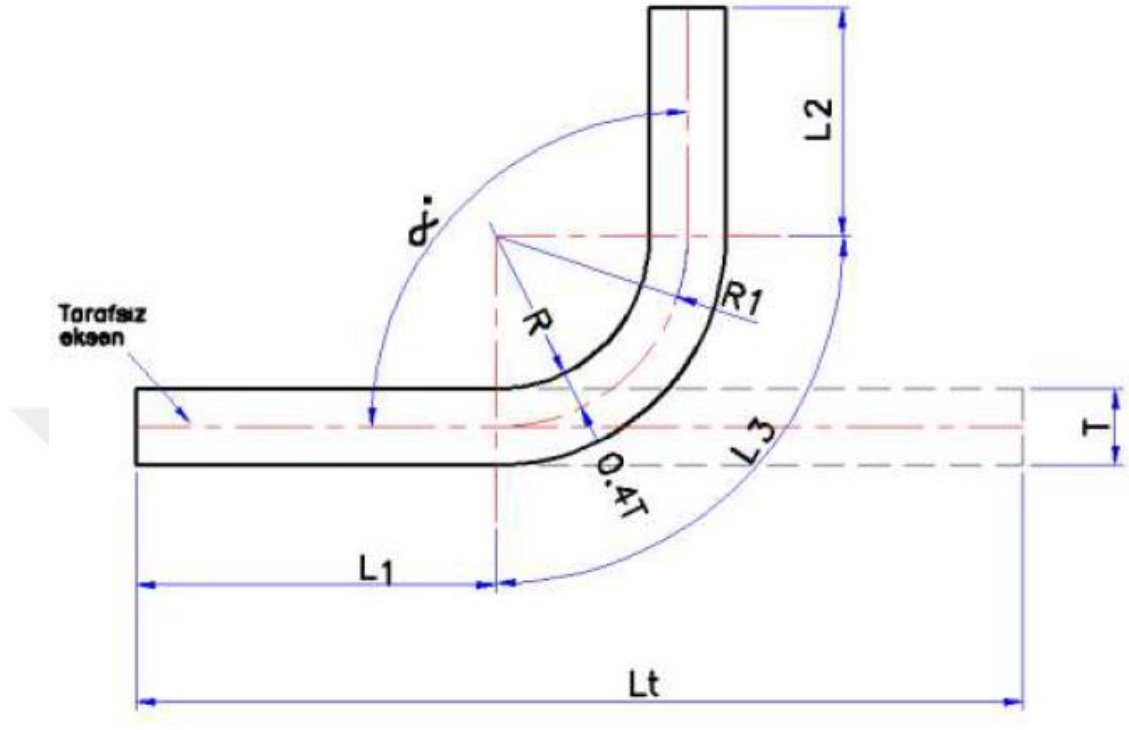
Şekil 2. 24. Kalınlık ve malzeme özelliklerinin geri esneme üzerindeki etkisi (Garcia-Romeu vd., 2007).

Malzeme kalınlığı ve malzeme özelliklerinin geri esneme üzerindeki etkisi Şekil 2.24' te gösterilmiştir. Geri esnemenin hassasiyeti parametrelere geri esnemenin hassasiyeti eğrilerin eğiminden tanımlanabilir. Malzemenin pekleşme üstelinin pratikteki varyasyonu % 5' ten küçüktür ve etkisi önemsizdir.

2.4.5 Açınım Boyunun Bulunması

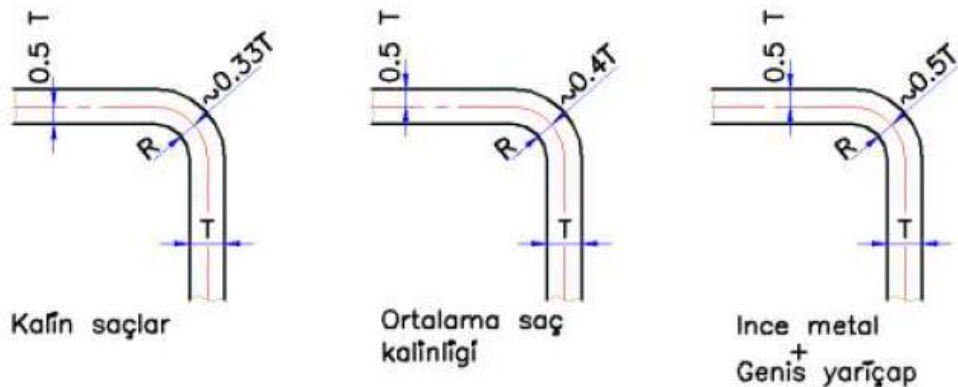
Bükme prosesi gerçekleşecek parçanın açınım boyunun bulunması gereklidir. Açınım boyunun doğru bulunması sanayi için çok önemlidir. Günümüzde tasarım programları bükümlü parçayı sac metal parçaya dönüştürüp parçanın açınımını elde etmektedirler. Ancak 2 mm kalınlıktan sonra, özellikle 90 ° lik bükümlerde açınım boyları 3 mm'ye kadar farklılık gösterebiliyor ki bu durum, seri üretimi yavaşlatıcı bir etken haline dönüşüyor.

Bükülen parçanın tam boyunu hesaplamak için bükülen kısmın tarafsız eksen üzerindeki tam boyu hesaplanabilir. Bu hesap için Şekil 2.25’ te de belirtilen bükme açısı, bükme kavis yarıçapı ve sac malzeme kalınlığı verilerine ihtiyacımız vardır.



Şekil 2. 25. Açınım boyu bulma işleminde kullanılan elemanlar (MEGEP, 2011, Saclardan Profiller Bükme).

Gerçek bükme boyunun bulunmasında uygulanan yarıçap (R), Şekil 2.26’ da belirtildiği gibi hesaplanır.



Şekil 2. 26. Bükme yarıçapı ve katsayı bağlantısı (MEGEP, 2011, Saclardan Profiller Bükme).

Bükme kavis yarıçapı $R_1 = T$ ise , katsayı $y= 0,33 *T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap ;

$$R = R_1 + 0,33*T \text{ (mm)} \quad (2.8)$$

olarak alınır.

Bükme kavis yarıçapı $R_1 = (2 / \dots / 4) T$ ise , katsayı $y=0,42$ alınır ve bükme boyuna esas yarıçap ;

$$R = R_1 + 0,42*T \text{ (mm)} \quad (2.9)$$

olarak alınır.

Bükme kavis yarıçapı $R > 4T$ ise , katsayı $y= 0,5$ alınır ve bükme boyuna esas yarıçap ;

$$R = R_1 + 0,5*T \text{ (mm)} \quad (2.10)$$

olarak alınır.

Bükme boyu bulunurken aşağıdaki işlemler takip edilir ;

1 – Tarafsız eksenin çember uzunluğu formülü yazılır ;

$$L_{\text{ç}} = 2*\pi *R \quad (2.11)$$

$$R = (R_1+y*T) \quad (2.12)$$

$$L_{\text{ç}} = 2*\pi*(R_1+y*T) \text{ (mm)} \quad (2.13)$$

2- Bükme açısı α belirlenir.

3- α açısı kadar bükülen parça boyu bulunur.

$$\text{Bükme boyu } L_{\text{yay}} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2*\pi*(R_1 +y*T) \quad (2.14)$$

$$L_{\text{yay}} = \frac{\alpha * \pi}{180^\circ} * (R_1 + y*T) \quad (2.15)$$

4-Bükülen parçanın toplam açınım boyu ;

$$L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n \text{ (mm)} \quad (2.16)$$

(2.13) ve (2.15) formüllerinde kullanılan elamanların açıklamaları ;

L_φ = Tarafsız eksenin çember uzunluğu , mm

L yay =Bükülen yayın tarafsız eksene göre bükme boyu (mm)

L_t = Toplam bükme boyu (mm)

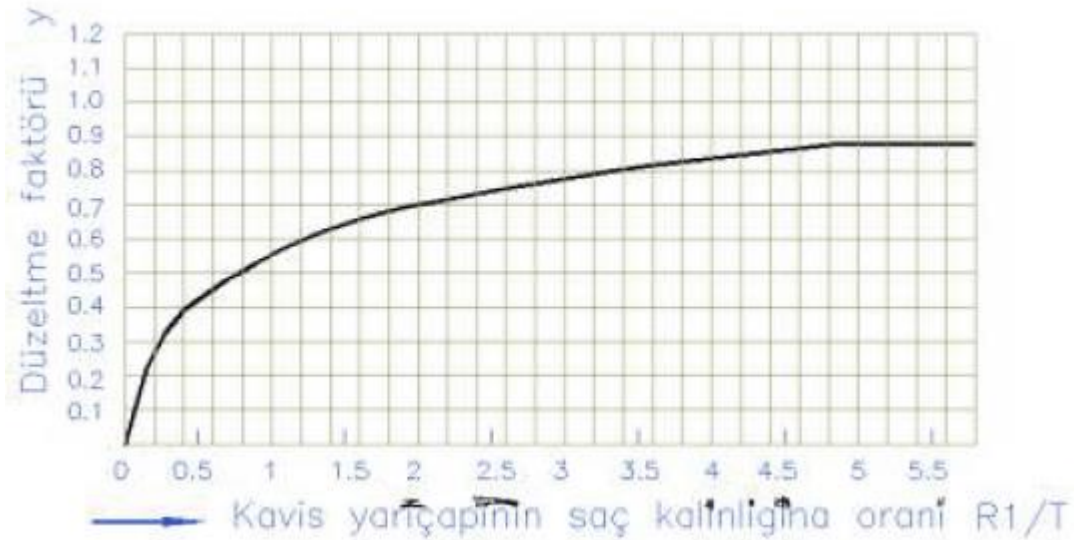
R_1 = Bükme kavis yarıçapı (mm)

R = Tarafsız eksenin bükme kavis yarıçapı (mm)

y = Katsayı

α = Bükme açısı ($^\circ$)

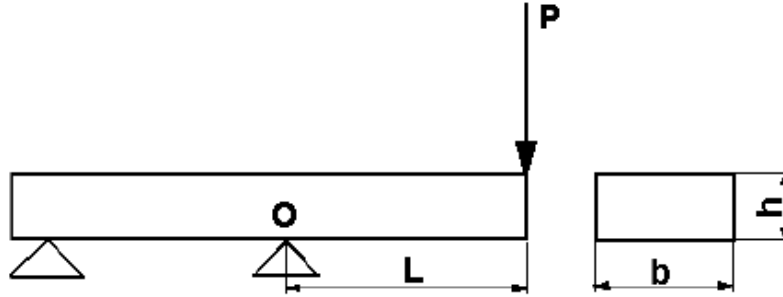
T = Sac malzeme kalınlığı (mm)



Şekil 2. 27. Bükme kavis yarıçapının sac malzeme kalınlığına oranı R_1/T oranına göre düzeltme faktörü (Yurci, M.E., 1991).

2.4.6 Bükme Kuvvetinin Bulunması

Bükme kalıplarında parçaların bükülebilmesi için gerekli olan kuvvete bükme kuvveti denir (Şekil 2.28). Kirişlerdeki eğilme momenti formülü sac malzemelerin bükme kuvveti hesaplamalarında kullanılır.



Şekil 2. 28. O noktasına göre eğilme momentinin uygulanması.

$$M_0 = P \times L \quad \text{kgmm} \quad (2.17)$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad \text{mm}^4 \quad (2.18)$$

$$\sigma = \frac{M_0 \times \frac{h}{2}}{I} \quad \text{kg/mm}^2 \quad (2.19)$$

Eğilme gerilimi formülünde yukarıdaki değerler yerlerine konulduğunda ;

$$\sigma_b = \frac{(P \times L \times \frac{h}{2})}{b \times \frac{h^3}{12}} \quad \text{kg/mm}^2 \quad (2.20)$$

$$P = \frac{1}{6} \times \frac{\sigma_b \times b \times h^2}{L} \quad \text{kg} \quad (2.21)$$

$$P = 0,167 \times \frac{\sigma_b \times b \times h^2}{L} \quad \text{kg} \quad (2.22)$$

olarak bulunur. (2.17), (2.18) ve (2.19) denklemlerinde kullanılan elemanların açıklamaları;

M_0 = Eğilme momenti kgmm

I =Atalet momenti mm^4

P = Bükme Kuvveti Kg

L = Tatbik edilen kuvvetin destek noktasına uzaklığı mm

b = Kiriş genişliği mm

h = Kiriş kalınlığı mm

σ_b = Eğilme gerilimi kg/mm^2

Bükme kuvveti (P) formülündeki kiriş genişliği (b) yerine şerit malzeme genişliği (w) , kiriş kalınlığı (h) yerine şerit malzeme kalınlığı (T) konulursa bükme kuvveti formülü;

$$P = 0,167 \times \frac{\sigma_b \times w \times T^2}{L} \quad \text{kg} \quad (2.23)$$

olarak bulunur.

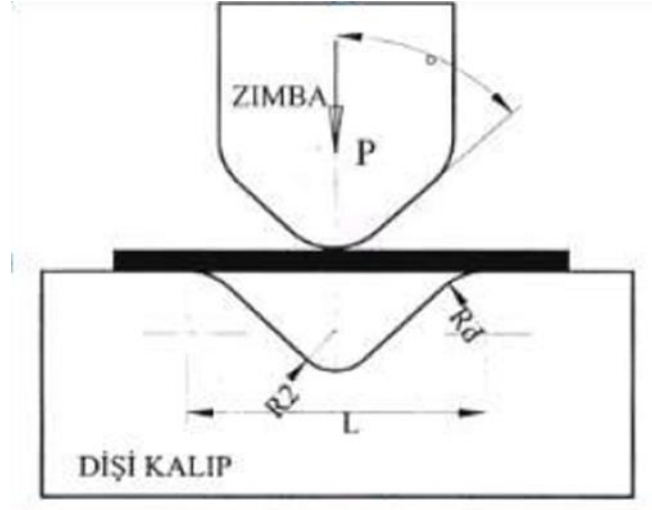
“ L ” (90°) Bükme işleminde bükme kuvveti ;

$$P = 0,167 \times \frac{\sigma_b \times w \times T^2}{L} \quad \text{kg} \quad (2.24)$$

“ V ” bükme işleminde bükme kuvveti Şekil 2.29’da gösterilmiştir;

$$P_v = 1,33 \times \frac{\sigma_b \times w \times T^2}{L} \quad \text{kg} \quad (2.25)$$

$$L = 2 \times H \times \text{tg}\alpha \quad (2.26)$$

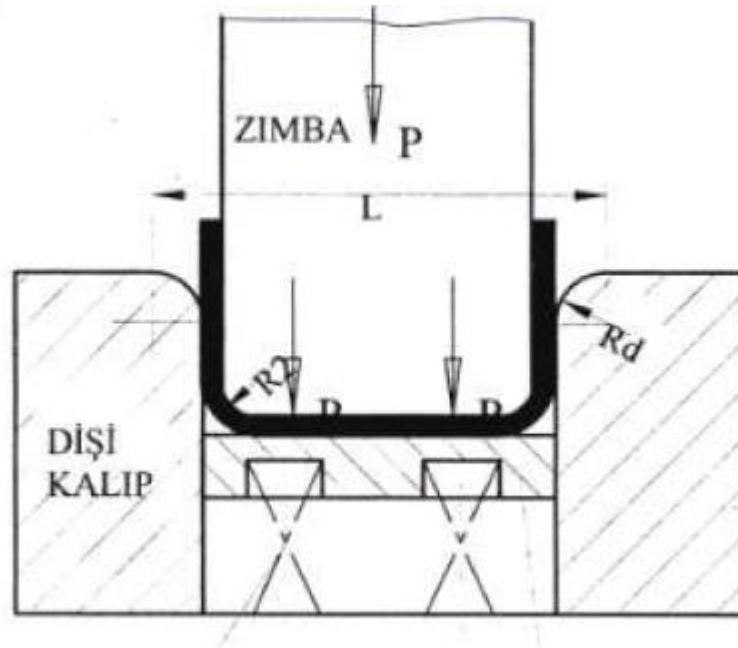


Şekil 2. 29. V bükme işlemi (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları).

“ U ” bükme işleminde bükme kuvveti Şekil 2.30’ da gösterilmiştir;

$$P_u = 0,667 \times \frac{\sigma_b \times w \times T^2}{L} \text{ kg} \quad (2.27)$$

$$L = \text{Parça genişliği} + (2 \times R_d) + (2 \times c) \quad (2.28)$$



Şekil 2. 30. U bükme işlemi (MEGEP, 2013, Bükme Kalıpları).

Tablo 2.5. Bükme diyagramı

BÜKME DİYAGRAMI																								
V	H min	R	S : mm																					
			0,5	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	12	15	18	20
6	5	1	2,5	6,5	10																			
8	6	1,3	2	5	8	11																		
10	7	1,7	1,5	4	6	9	13																	
12	9	2		3	5	7	11	16																
15	12	2,7			4	6	9	13	16															
20	15	3,3				4	7	10	12	19														
26	18	4,2					5	7,5	9	14	21													
30	22	5						6,5	8	12	19	24												
32	23	5,4							7,5	12	17	23	30											
37	25	5,8								10	15	20	26	33										
42	29	6,7									13	17	23	29	36									
45	32	7,5										16	21	27	33	48								
50	35	8,3											19	24	30	43	58							
60	43	10												20	25	36	49	64						
70	50	11,5													21	31	42	55	69					
80	57	13,5														27	37	48	60	75				
90	64	15															32	42	54	66	95			
100	71	17																38	48	60	86	134		
130	93	22																	37	46	66	103	149	
180	130	30																		33	48	75	107	133
200	145	33																			43	67	97	119
250	180	42																				54	77	95

Bükme diyagramı (Tablo 2.5); bükülecek sac metalin kalınlığına göre uygun alt kalıp seçmek için kullanılır. Kalınlık (S) arttıkça kullanılması gereken alt kalıbın V yatak genişliği artar.

3. METERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada büküm prosesi için kullanılan makine; 100 ton büküm kuvvetine sahip, 6 eksenli, servo CNC abkant presdir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Nx Unigraphics 7.5 programı kullanılarak 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm EN 10130 DC01 kalite sacdan numuneler tasarlandı (Şekil 3.3-3.10) ve CNC lazer kesim makinesiyle parçaların açınımları kesildi. Tasarım aşamasında parçaların iç büküm radyusları kalınlıklarına eşit alınmıştır. Kesilen parçalar CNC abkant presde büküldü, bükülen parçalar Şekil 3.13' te gösterilmiştir. Bükülen parçaların ölçümleri dijital kumpas ve dijital mihengir kullanılarak yapıldı. Parça ölçümleri için DIN ISO 2768 medium (orta) tolerans aralıkları esas alındı. Bunun nedeni; genellikle sanayide abkant büküm prosesi için ölçümlerin DIN 2768 tolerans tablosunun medium hassasiyetinde değerler kullanılarak yapılmasıdır.

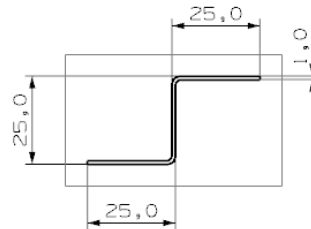


Şekil 3. 1. Deneyde kullanılan CNC servo abkant pres.



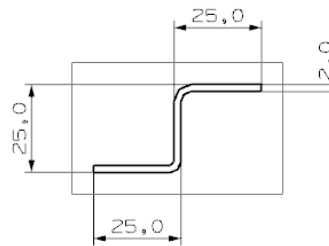
Şekil 3. 2. Deneyde kullanılan CNC servo abkant pres.

İlk deneyin numuneleri; sanayide yaygın olarak seçilen yöntemle tasarlandı. Bu yöntemde büküm iç radyusları; sac kalınlığına eşit olarak seçildi.



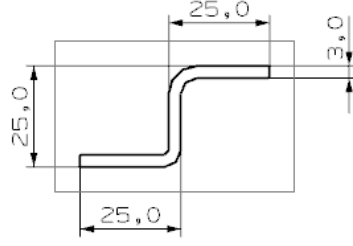
Açınım boyu 71,18 mm

Şekil 3. 3. 1 mm kalınlıkta R: 1 mm dkp sac.



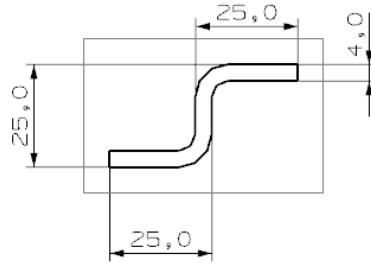
Açınım boyu 67,36 mm

Şekil 3. 4. 2 mm kalınlıktaki R: 2mm dkp sac.



Açınım boyu 63,964
mm

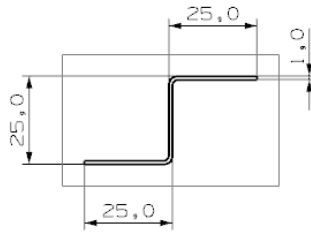
Şekil 3. 5. 3mm kalınlıktaki R : 3mm dkp sac.



Açınım boyu 59,71
mm

Şekil 3. 6. 4 mm kalınlıktaki R:4mm dkp sac.

İlk Deney Sonuçları ;



Şekil 3. 7. 1 mm kalınlık ve R :1 mm dkp sac numunesi.

1 mm dkp örneği için;

V = 8 mm genişliğinde kanal için büküm sonuçları

1. Büküm = 24,99 mm

2. Büküm = 24,94 mm

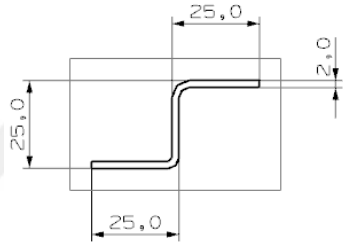
3. Büküm = 25,18 mm

V = 6 mm genişliğinde kanal için büküm sonuçları

1. Büküm = 24,98 mm

2. Büküm = 24,93 mm

3. Büküm = 24,82 mm' dir.



Şekil 3. 8. 2 mm kalınlık ve R : 2 mm dkp sac numunesi.

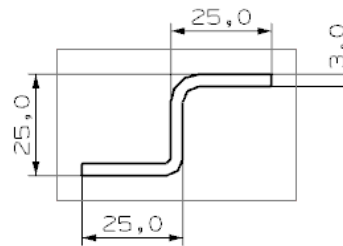
2 mm dkp örneği için ;

V = 16 mm genişliğinde kanal için büküm sonuçları

1. Büküm = 25,00 mm

2. Büküm = 25,00 mm

3. Büküm = 24,55 mm

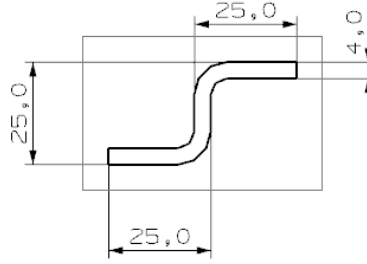


Şekil 3. 9. 3 mm kalınlık ve R : 3 mm dkp sac numunesi.

3 mm dkp örneği için ;

V = 16 mm genişliğinde kanal için büküm sonuçları;

1. Büküm = 25,05 mm
2. Büküm = 24,91 mm
3. Büküm = 23,83 mm



Şekil 3. 10. 4 mm kalınlık ve R :4 mm dkp sac numunesi.

4 mm dkp örneği için;

V = 16 mm genişliğinde kanal için büküm sonuçları;

1. Büküm = 25,04 mm
2. Büküm = 24,99 mm
3. Büküm = 22,03 mm

İlk Deney Sonuçlarının Yorumlanması;

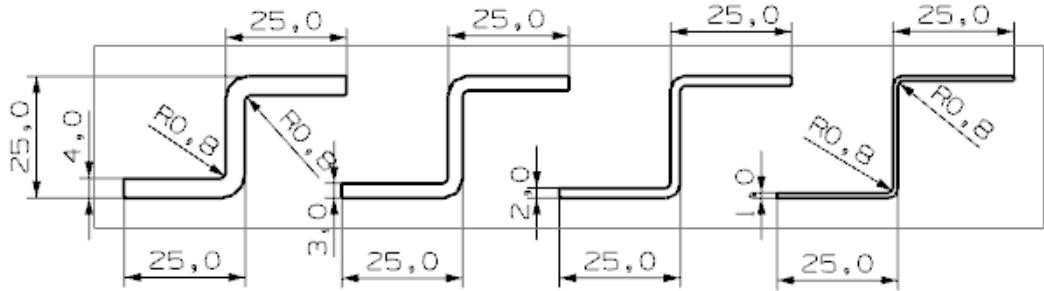
Deneyde bir ve ikinci büküm ölçüleri 25 mm ölçüsünde sabit tutuldu. Dolayısıyla 3. bükümler üzerinden değerlendirecek olursak; 1 mm numune için açınım boyunda herhangi bir değişiklik olmadığı görüldüğü. Sadece kullanılan alt kalıpların V genişlik ölçüsü fazla olan kalıpta parçanın daha çok sünme göstererek 3 büküm ölçüsünün 0,36 mm arttığı görüldü.

2 mm et kalınlığında olan numunenin bükme operasyonu sonucu ölçümlerini inceleyecek olursak; 3. büküm ölçüsünün istenen değerden 0,45 mm daha az olduğu

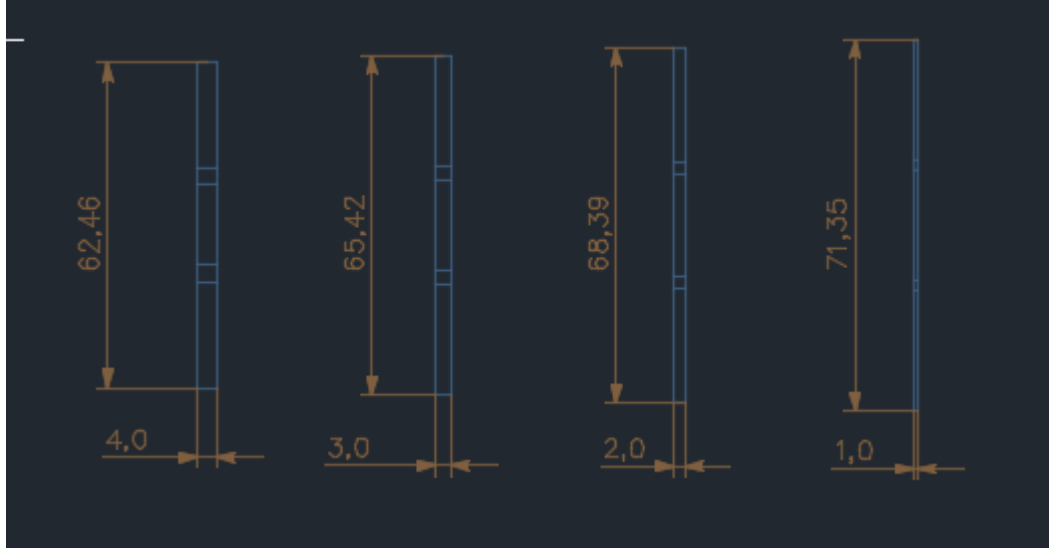
görüldü. 3 mm numunede de 3. büküm değerinin istenen değerden 1,17 mm dahaz az olduğu görüldü. Aynı şekilde 4 mm numune için 3. büküm değerinin 2,97 mm daha kısa olduğu görüldü.

Deney sonuçlarından anlaşılacağı gibi 1 mm kalınlıkta ki parçada açınım boyu herhangi bir sorun yaşatmazken kalınlık arttıkça istenen değerden o kadar uzak kaldı.

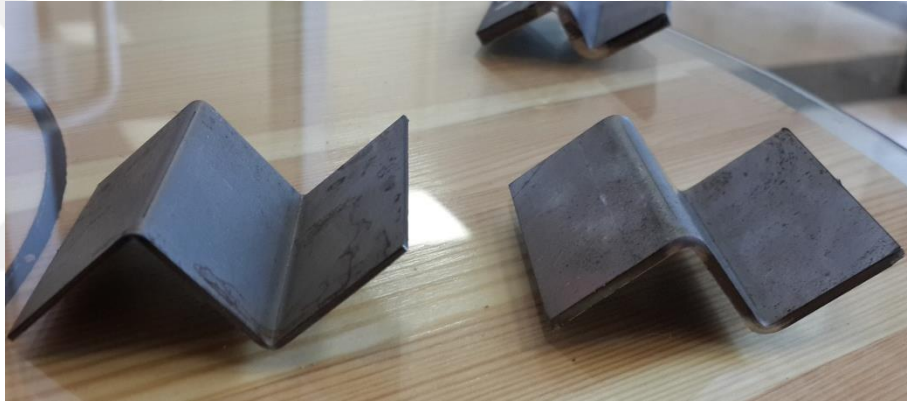
2. deney için parça tasarımları değışti ve tüm iç büküm radyuslarına deneylerimizde kullandığımız üst kalıbın uç radyusu olan 0,8 mm değer verildi. Şekil 3.11' de büküm iç radyusu 0,8 mm olan parça tasarımları gösterilmiştir. Şekil 3.12' de ise AUTOCAD programında parçaların açınım boyları ölçüendirilmiştir.



Şekil 3. 11. İç büküm radyusu 0,8 mm olan 1 mm , 2mm , 3mm ve 4 mm dkp numunelerinin büküm gösterimi.



Şekil 3. 12. Parça açınım ölçülerinin AUTOCAD programında gösterimi.



Şekil 3. 13. Bükülen parçalar.

1 mm numunenin açınım boyu hesaplaması ;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap ;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$R = 0,8 + 0,33 * 1 = 1,13$ mm

Bükme boyu $L_{yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$L_{yay} = \frac{90}{360^\circ} * 2 * \pi * 1,13 = 1,775$ mm

L toplam = 23,20 + 21,4 + 23,20 + (2 x 1,775) = 71,35 mm olarak bulunur.

2 mm numunenin açınım boyu hesaplaması ;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap ;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 0,8 + 0,33 * 2 = 1,46 \text{ mm}$$

Bükme boyu $L_{yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$$L_{yay} = \frac{90}{360^\circ} * 2 * \pi * 1,46 = 2,293 \text{ mm}$$

L toplam = 22,20 + 19,4 + 22,20 + (2 x 2,293) = 68,386 mm olarak bulunur.

3 mm numunenin açınım boyu hesaplaması ;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap ;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 0,8 + 0,33 * 3 = 1,79 \text{ mm}$$

Bükme boyu $L_{yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$$L_{yay} = \frac{90}{360^\circ} * 2 * \pi * 1,79 = 2,81 \text{ mm}$$

L toplam = 21,2 + 17,4 + 21,20 + (2 x 2,81) = 65,42 mm olarak bulunur.

4 mm et kalınlığında olan numunenin açınım boyu hesaplaması ;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap ;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 0,8 + 0,33 * 4 = 2,12 \text{ mm}$$

$$\text{Bükme boyu } L_{\text{yay}} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$$

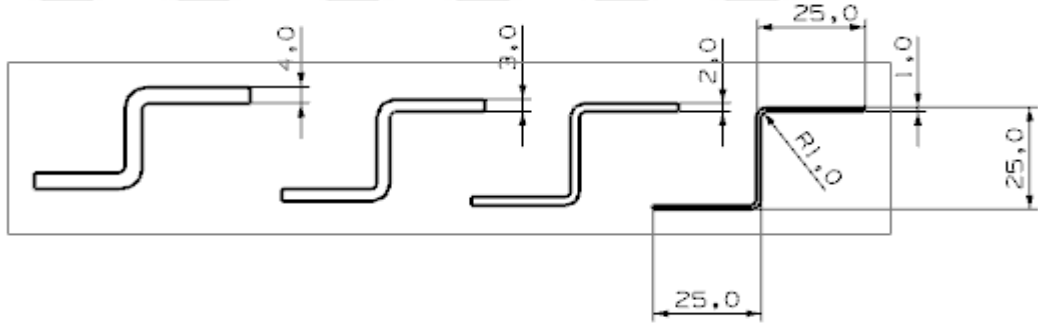
$$L_{\text{yay}} = \frac{90}{360^\circ} * 2 * \pi * 2,12 = 3,33 \text{ mm}$$

$$L_{\text{toplam}} = 20,2 + 15,4 + 20,20 + (2 * 3,33) = 62,46 \text{ mm olarak bulunur.}$$

2. Deney sonuçlarını incelersek;

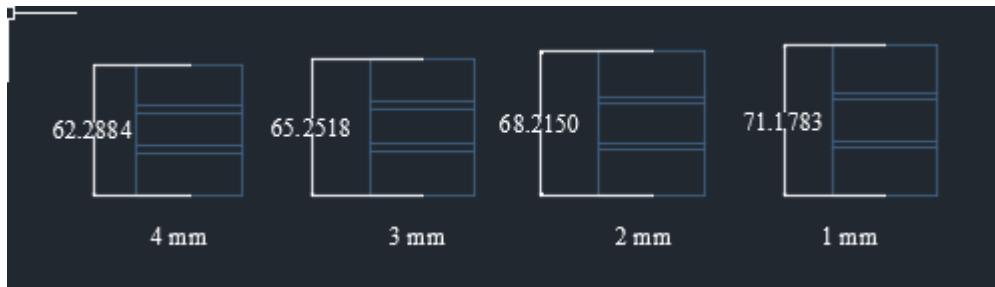
1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm kalınlıktaki numunelerin büküm prosesi sonucu; büküm ölçüleri $25 \pm 0,2$ tolerans değeri aralığında kaldı.

1 mm uç radyuslu bir üst bıçak için deneyi tekrarlayalım. Parça tasarımları Şekil 3.14' te gösterilmiştir.



Şekil 3. 14. 1mm radyus iç değeri ile tasarlanmış numuneler.

Parçaların açınım ölçüleri Şekil 3.15' te belirtilmiştir.



Şekil 3. 15. Parça açınım ölçüleri.

1 mm numunenin açınım boyunun hesaplanması;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 1 + 0,33 \times 1 = 1,33 \text{ mm}$$

Bükme boyu $L_{yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$$L_{yay} = \frac{90}{360^\circ} \times 2 \times \pi \times 1,33 = 2,089 \text{ mm}$$

$L_{\text{toplam}} = 23 + 23 + 21 + (2 \times 2,089) = 71,178$ mm olarak bulunur.

2 mm numunenin açınım boyunun hesaplanması;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 1 + 0,33 \times 2 = 1,66 \text{ mm}$$

Bükme boyu $L_{yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$$L_{yay} = \frac{90}{360^\circ} \times 2 \times \pi \times 1,66 = 2,6075 \text{ mm}$$

$L_{\text{toplam}} = 22 + 19 + 22 + (2 \times 2,6075) = 68,215$ mm olarak bulunur.

3mm numunenin açınım boyunun bulunması;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 1 + 0,33 \times 3 = 1,99 \text{ mm}$$

Bükme boyu $L_{yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$$L \text{ yay} = \frac{90}{360^\circ} \times 2 \times \pi \times 1,99 = 3,1258 \text{ mm}$$

L toplam = 21+17+21 + (2 x 3,1258) = 65,2516 mm olarak bulunur.

4 mm numunenin açınım boyunun bulunması;

Katsayı $y = 0,33 * T$ alınır ve bükme boyuna gerçek yarıçap;

$R = R1 + 0,33 * T$ (mm) olarak alınır.

$$R = 1 + 0,33 \times 4 = 2,32 \text{ mm}$$

Bükme boyu $L \text{ yay} = \frac{\alpha}{360^\circ} * 2 * \pi * (R1 + y * T)$

$$L \text{ yay} = \frac{90}{360^\circ} \times 2 \times \pi \times 2,32 = 3,6442 \text{ mm}$$

L toplam = 20+15+20 + (2 x 3,6442) = 62,2884 mm olarak bulunur.

3.deney sonuçlarının yorumlanması;

1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm numunelerinin büküm prosesi sonucu ölçüleri tolerans değerleri arasında kaldı. Sonuç olarak 1 mm uç radyuslu üst kalıba göre hesaplanan açınım boyu değerleri doğrudur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bükme işleminde sac açınım geometrisinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmayla uygulanan amprik formül ile kendimizin geliştirdiği denklem arasındaki farklar bulunmaya çalışılmıştır. Oluşturulan program sayesinde otomatik olarak açınım boyu hesaplanmakta ve fire oranı düşürülüp kar sağlanabilmektedir. Yapılan üç kısım deney ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

İlk kısım deney sonuçları için bulunan açınım ölçülerini ile sonraki açınım ölçülerini kıyaslarsak;

1 mm için ilk açınım boyu ölçüsü 71,18 mm idi, sonraki açınım ölçüsü 71,35 mm olduğu görüldü.

2 mm için ilk hesaplanan açınım boyu ölçüsü 67,36 mm' idi, sonraki ölçü 68,386 mm olduğu görüldü.

3 mm için ilk açınım değeri 63,964 mm 'di, sonraki açınım ölçüsü 65,42 mm olduğu görüldü.

4 mm için ilk açınım ölçüsü 59,71 mm 'di, sonradan hesaplanan açınım ölçüsü 62,46 mm olmuştur.

İkinci kısım deney sonuçlarını incelersek;

2. kısım deneyde hesaplanan açınım ölçüleri büküm prosesi bitiminde istenilen ölçüleri sağladı.

Üçüncü kısım deney sonuçlarını incelersek;

3. kısım deneyde 1 mm uç radiusuna göre hesaplanan açınım ölçüleri büküm prosesi sonunda doğru çıktı.

Büküm prosesi geçirecek bir sac metal parça genellikle tasarım aşamasında büküm iç radius değeri, sac kalınlığı kadar verilerek dizaynı yapılır veya büküm iç radiusunun tasarım aşamasındaki önemi yok sayılarak farklı değerler verilebilir.

Ancak uygulamaya geçince kullanılan üst kalıbın uç radyus değerinin ne kadar önemli olduğunu görüyoruz. Dolayısıyla tasarımlarımızı üst kalıbın uç radyus değerine göre yaptığımızda açınım boylarının istediğimiz ölçüleri sağladığını görmüş oluyoruz. Bu sonucu uygulamalı olarak göstermek için;

Birinci deneyde; büküm iç radyus değerini sac kalınlığı ile eşit olarak aldık.

İkinci deneyde; 0,8 mm uç radyuslü üst kalıp kullanarak tüm parçaların büküm iç radyus değerini 0,8 mm aldık.

Üçüncü deneyde ise; 1mm uç radyuslü üst kalıp kullanarak tüm parçaların büküm iç radyus değerini 1mm aldık.

Bu deneyler sonucunda yaptığımız ölçümlerde ;

Birinci deneyde, sac kalınlığı arttıkça açınım boyu hatası artmış, ikinci ve üçüncü deneylerde ise açınım boyunun doğru hesaplandığı görülmüştür.

Sonuç olarak açınım ölçülerinin kullanılan üst kalıbın uç radyus ölçüsü ihmal edilmeden hesaplanması gerektiğini görmüş olduk. Tasarladığımız malzemenin ölçü toleransları içinde, yaptığımız işin beklenen değerler arasında olmasını istiyorsak uç radyus değerini ihmal etmemeliyiz. Bu değeri ihmal etmemiz malzeme, enerji, zaman ve iş gücü gibi önemli kayıplara yol açacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde bükme kavis yarıçapının, sac malzemelerin cinsine ve kalınlığına göre değiştiği; genellikle bükme kavis yarıçapının (R1), sac malzeme kalınlığına eşit olarak alındığı görülmüştür. Ancak uygulamada her sac kalınlığına göre ayrı bükme kavis yarıçapına sahip üst kalıbın kullanılmadığı; genellikle sabit birkaç adet üst kalıpla, 0,5 mm' den 15 mm' ye kadar aynı üst kalıbın kullanıldığı anlaşılmıştır. Bu nedenle tasarımı yapılan parça ile uygulamada bükümü yapılan parça arasında ciddi ölçüm farklılıklarına neden olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan üst kalıbın uç radyus değeri ne ise bükülecek parçanın da iç büküm radyusunun aynı değer alınması gerekliliği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, endüstride kullanılması için ve verimliliği arttırmak için C++ yazılımı kullanılarak açınım boyunu doğru hesaplayan bir program yazılmıştır. Programa, sac kalınlığı, sac cinsi, parçada bulunan büküm sayısı, kullanılan kalıbın uç radyusu verileri girilerek; parçanın açınım boyu hesaplanıyor. Bu bulduğumuz formülasyonu basit ve kullanılabilir hale getirebilmek için C++ programıyla program yazılmıştır. Bu programda sac kalınlığı, malzeme, büküm sayısı ve üst kalıbın uç radyusu girilerek açınım boyu otomatik olarak hesaplanmaktadır. Hesaplama örnekleri örnekleri Şekil 5.1-4' te verilmiştir.

Açınım Boyu Hesaplama Programı

AÇINIM BOYU HESAPLAMA PROGRAMI

Sac Kalınlığı : 1 (mm)

Sac Cinsi : Çelik Alüminyum Paslanmaz

Büküm Sayısı : 2 (max. 9 adet)

Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8 (mm)

Büküm Arası Uzunluklarını Gir

Hesaplama Değerleri

Sac Kalınlığı : 1

Sac Cinsi Katsayısı : 0,33

Büküm Sayısı : 2

Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8

R Değeri : 1,13

Lyay Değeri : 1,77499984927823

Dıştan Dışa Büküm Arası Uzunluklar (mm)

1. Büküm : 25 2. Büküm : 25

3. Büküm : 25 4. Büküm :

5. Büküm : 6. Büküm :

7. Büküm : 8. Büküm :

9. Büküm : 10. Büküm :

Hesaplanan Açınım Boyu (mm)

71,35

Açınım Boyu Hesapla

Şekil 5. 1. 1 mm kalınlığında ki parçanın açınım boyunun hesaplanması.

Açınım Boyu Hesaplama Programı

AÇINIM BOYU HESAPLAMA PROGRAMI

Sac Kalınlığı : 2 (mm)

Sac Cinsi : Çelik Alüminyum Paslanmaz

Büküm Sayısı : 2 (max. 9 adet)

Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8 (mm)

Büküm Arası Uzunluklarını Gir

Hesaplama Değerleri

Sac Kalınlığı : 2

Sac Cinsi Katsayısı : 0,33

Büküm Sayısı : 2

Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8

R Değeri : 1,46

Lyay Değeri : 2,29336263712055

Dıştan Dışa Büküm Arası Uzunluklar (mm)

1. Büküm : 25 2. Büküm : 25

3. Büküm : 25 4. Büküm :

5. Büküm : 6. Büküm :

7. Büküm : 8. Büküm :

9. Büküm : 10. Büküm :

Açınım Boyu Hesapla

Hesaplanan Açınım Boyu (mm)

68,387

Şekil 5. 2. 2 mm kalınlığında ki parçanın açınım boyunun hesaplanması.

Açınım Boyu Hesaplama Programı

AÇINIM BOYU HESAPLAMA PROGRAMI

Sac Kalınlığı : 3 (mm)

Sac Cinsi : Çelik Alüminyum Paslanmaz

Büküm Sayısı : 2 (max. 9 adet)

Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8 (mm)

Büküm Arası Uzunluklarını Gir

Hesaplama Değerleri

Sac Kalınlığı : 3

Sac Cinsi Katsayısı : 0,33

Büküm Sayısı : 2

Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8

R Değeri : 1,79

Lyay Değeri : 2,81172542496286

Dıştan Dışa Büküm Arası Uzunluklar (mm)

1. Büküm : 25 2. Büküm : 25

3. Büküm : 25 4. Büküm :

5. Büküm : 6. Büküm :

7. Büküm : 8. Büküm :

9. Büküm : 10. Büküm :

Açınım Boyu Hesapla

Hesaplanan Açınım Boyu (mm)

65,423

Şekil 5. 3. 3 mm kalınlığında ki numunenin açınım boyunun hesaplanması.

Açınım Boyu Hesaplama Programı

AÇINIM BOYU HESAPLAMA PROGRAMI

Sac Kalınlığı : (mm)

Sac Cinsi : Çelik Alüminyum Paslanmaz

Büküm Sayısı : (max. 9 adet)

Üst Kalıp Uç Radyusu : (mm)

Hesaplama Değerleri

Sac Kalınlığı : 4
Sac Cinsi Katsayısı : 0,33
Büküm Sayısı : 2
Üst Kalıp Uç Radyusu : 0,8
R Değeri : 2,12
Lay Değeri : 3,33008821280518

Dıştan Dışa Büküm Arası Uzunluklar (mm)

1. Büküm : 2. Büküm :
3. Büküm : 4. Büküm :
5. Büküm : 6. Büküm :
7. Büküm : 8. Büküm :
9. Büküm : 10. Büküm :

Hesaplanan Açınım Boyu (mm)

62,46

Şekil 5. 4. 4 mm kalınlığında ki numunenin açınım boyunun hesaplanması.

Dikkat edilmesi gereken önemli bir konu da alt kalıbın doğru seçilmesi gerekliliğidir. Araştırmaların sonucu tezimde de yer verdiğim bükme diyagramı (Tablo 2.5) bükülecek olan sac metalin kalınlığına göre uygun V genişliğine sahip alt kalıp seçimini desteklemektedir. 1-2 mm kalınlığında olan bir parçayı V genişliği 45-60 mm olan bir alt kalıpta bükerek veya 8-10 mm kalınlığındaki bir parçayı V genişliği 35-45 mm olan bir alt kalıpta bükme; hem kullandığımız programda örneklerini verdiğimiz açınım boylarında farklılıkların oluşmasına hem de parçanın görselinin hoş durmamasına yol açar. Nispeten kalın olan parçaları V genişliği dar olan kalıplarla bükmeye çalışmak hem kullanılan kalıbın ömrünü kısaltır hem de presin gereğinden fazla kuvvet uygulamasına neden olur. Ayrıca kalın parçaların 0,8-1 mm uç radyuslu üst kalıplarla bükülmesi, bükümün keskin bir köşe oluşturup parçanın kırılmasına yol açabilmektedir.

Bu araştırmada bükümlü sac metal parçaların abkant büküm prosesi sonucu istenen ölçü spesifikasyonlarına ve görsel uygunluğuna sahip olabilmesi için; tasarım aşamasından son ürüne kadar dikkate alınması gereken tüm parametrelere, bu

parametrelerin nasıl yorumlanacağına ve üretimin verimliliğini arttıracak diğer unsurlara yer verilmiştir.



KAYNAKLAR

- Aslan ve Karaağaç (2014) V Bükmede Geri Esneme Davranışları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 2(3): 255-263.
- Aran A ve Demirkol M (1995) Plastik Şekil Verme ve Teknolojisi, İTÜ Makine Fakültesi İmal Usulleri Ders Notları.
- Cai ZY & Li MZ (2002) Multi-point forming of three-dimensional sheet metal and the control of the forming process, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 79(4), 289-296.
- Diegel O (2002) Bend Works–The fine-art of sheet metal bending, Complete Design Services.
- Eary DF ve EA Reed (1958) Techniques of pressworking sheet metal, Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Gantar G, Pepelnjak T, & Kuzman K (2002) Optimization of sheet metal forming processes by the use of numerical simulations, Journal of Materials Processing Technology, 130, 54-59.
- Garcia-Romeu M, Ciurana J and Ferrer I (2007) Springback determination of sheet metals in an air bending process based on an experimental work, Journal of Materials Processing Technology, 191(1-3): 174-177.
- GmbH S ve GmbH S (1998) Metal forming handbook, Springer Science & Business Media.
- Has Metal (2017) Genel Yapı Çelikleri, <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=71>, 28.
- Hino R, Yoshida F, & Toropov, VV (2006) Optimum blank design for sheet metal forming based on the interaction of high-and low-fidelity FE models, Archive of Applied Mechanics, 75(10-12), 679-691.
- Hu J, vd. (2002) Mechanics of sheet metal forming, Elsevier.
- Leonghuat (2018) Importance of Yield Strength & Plastic Deformation to Civil Engineers, <https://www.leonghuat.com/articles/civil%20engineering.htm>.

MEGEP (2013) Bükme Kalıpları, Ankara.

MEGEP (2011) Saclardan Profiller Bükme, Ankara.

Niebel BW, vd. (1989) Modern manufacturing process engineering, Mcgraw-Hill College.

Osakada K, Mori K, Altan T and Groche P (2011) Mechanical servo press technology for metal forming, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 60(2): 651-672.

Özdemir A (2010) Sac Metal Ürünlerde Geri Esneme Miktarının Deneysel ve Sonlu Elemanlarla Tespiti, Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Panthi S, vd. (2010) Finite Element Analysis of sheet metal bending process to predict the springback, 31(2): 657-662.

Pepelnjak T, Gantar G, & Kuzman K (2001) Numerical simulations in optimisation of product and forming process, Journal of Materials Processing Technology, 115(1), 122-126.

Wang J, Verma S, Alexander R and Gau JT (2008) Springback control of sheet metal air bending process, Journal of manufacturing processes, 10(1): 21-27.

Yurci ME, (1991) Bükme İşleminin İlkeleri, İstanbul.

Yurci ME, (1991) V Bükme Kalıpları, İstanbul.

Wang J, Goel A, Yang F, & Gau JT, (2009) Blank optimization for sheet metal forming using multi-step finite element simulations, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40(7-8), 709-720.

Zhu BH, Zhao YX, Yu ZQ & Yan H (2018) Study the Influence of Geometric Parameters on Springback in T-Section Aluminum Alloy Window Trim Strip Sheets Forming, In Materials Science Forum (Vol. 920, pp. 70-76). Trans Tech Publications.



EKLER

6. EKLER

EK A

Deneylerde kullanılan 1 mm DC01 kalite sacın malzeme sertifikası Şekil A.1’de verilmiştir.

Sığaç

TATMETAL

TEST SERTİFİKASI
MILL TEST CERTIFICATE
EN 10204

Müşteri / Customer: YENİ ÖZTÜRK KALIP PARÇA MAK.MET. İNŞ. GIDA HAY.SAN. VE LTD.ŞTİ (1203) Tarih/ Date: 28/05/2016

Bilgi No (Doc No)	Net Ağırlık (Weight) Kg	Ürün Tipi (Product Type)	Çelik Kalitesi (Steel Quality)	Ebat (Size) mm	Yağlı Yağsız (Oiled/ Unoleid)	Kaplama Ağırl. (Coat Weight) g/m ²	Sert. Tipi (Cert. Type)	Çekme Testi (Mechanical Test)			Kimyasal Bileşim, Pata Analizi % (Chemical Composition, Labe Analysis %)														
								Akma muk. (Proof Strength)	Çekme muk. (Tensile Strength)	Uzama (Elong) %	Kullanma (Annoting)	n90 Değeri (Value)	n90 Değeri (Value)	Sertlik (Hardness) HRB	C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	Nb	Cr	Cu	Ni
T06316843169	3.050	CRS	YS EN 10130,DC01	1.00x1000x2400	YAĞLI		2-2	200	305	40,0	Yeni Gözetil				0,036	0,194	0,008	0,002	0,001	0,020	0	0,015	0,013	0,008	17
T06316843170	3.050	CRS	YS EN 10130,DC01	1.00x1000x2400	YAĞLI		2-2	200	305	40,0	Yeni Gözetil				0,036	0,194	0,008	0,002	0,001	0,020	0	0,015	0,013	0,008	17

TATMETAL ÇELİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş. bu malzemelerin sipariş şartlarına uygun olarak test ve muayene edildiğini beyan eder.
TATMETAL ÇELİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş. confirms that this product conforms to the requirement of the order of the purchase agreement that was it tested and inspected.

Kalite Kontrol Mühendisi
Quality Control Engineer
Soner ELMAS

Not : Akma ve Çekme Mukavemetleri N/mm²
Note : Proof and Tensile Strengths N/mm²

Şekil A. 1. Deneylerde kullanılan 1 mm DC01 kalite sacın malzeme sertifikası.

EK D

Deneylerde kullanılan 4 mm DD11 kalite sacın malzeme sertifikası Şekil D.1’de verilmiştir.

ERDEĞİ DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARI T.A.Ş.				TEST SERTİFİKASI										KİMYASAL BİLEŞİM POTANSİYELİ %									
CİGARILAN BİREYİNİN NO : 3.500.000.000 TL				EN 10204 : 2004 TYPE 2.2										TARİH : 20.05.2016									
														SERTİFİKA NO : 0000040Y									
														SAYFANO : 1									
MÜŞTERİ ADI	: ÇINAR BOBİL PROFİL SAN.Tİ.C.A.Ş.																						
SİPARİŞ NO	: 0042557004																						
FABRİKASI	: 4.0 x 1200 x R																						
STANDART ve KALİTESİ	: EN 10111-2008 DD11 (ERDEĞİ DEMİR 4222)																						
CRDİN TİPİ ve AÇIKLAMASI	: RPK:AMT İLE YÜZEYİ TEMİZLENİŞ KONTROLÜ KESİLMİŞ BİLE																						

ÜRETİM BİLGİLERİ				MEKANİK ÖZELLİKLER										KİMYASAL BİLEŞİM POTANSİYELİ %														
FİTİHET NO	AĞIRLIK BİRİMİ	DÖKÜM NO	İŞLENİM YERİ	CRDİN TİPİ	MEK. YER.	AKSAMA N°/M2	CRDİN N°/M2	% ÜZ. AÇI	KAT LAMA	Ag	P	A.C	MERT	ENERJİ	YÜRÜTME	VTK.	C	MN	P	S	SE	AL	CU	CR	NI	MO	CEP	
										RE	DEĞ.	DEĞ.	DEĞ.	DEĞ.	DEĞ.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0506273421	11609	020425	20100005100	BB	228.5	338.3	43									0.038	0.233	0.001	0.011	0.000	0.001	0.037	0.019	0.018	0.027	0.003	0.007	

ERDEĞİ DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARI T.A.Ş. İÇİ MALZEMELERİN İNCELEME VE YERİNE KONTROLÜNE VE EN 10111-2008 DD11 (ERDEĞİ DEMİR 4222) KALİTESİNİ UYGUN OLANAK TEST EDİLMİŞ YULABİLİR DİREKLER İLE TAYIN ETMİŞTİR.

KAYNAK: AYDINLIK
METALURJİK LABORATUVARI
YÖNETİCİSİ

KAMBER AYDINLIK
SÖZLÜK ÇELİK
KALİTE METALURJİ MÜDÜRÜ

NOT: B 1 / 0mm 0 1 / 0mm 5 / 0mm 1 / 0mm
Bu malzemenin EN 10111-2008 ile ilgili diğer teknik şartnamelerden faydalanması ve buna ilişkin değişiklikler için ilgili teknik şartnamelere başvurulmalıdır.

Şekil D. 1. Deneylerde kullanılan 4 mm DD11 kalite sacın malzeme sertifikası.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cansu Bozkurt

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara/Altındağ

Lisans Üniversite : Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : cansubozkurt91@gmail.com

İletişim Adresi : Mutlu Mah. Kutlu Cad. Şahin Apt. No:11
Mamak / ANKARA

Yayın Listesi :

Ödüller :