

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇLI SİLİNDİRİK TANKLARIN TASARIMI

FATİH BABAOĞLU

HAZİRAN 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

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

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Makine Mühendisliği Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Doç. Dr. Hüsnü DİRİKOLU

Y. Doç. Dr. Hakan ARSLAN

ÖZET

YÜKSEK BASINÇLI SİLİNDİRİK TANKLARIN TASARIMI

BABAOĞLU, Fatih

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Veli ÇELİK

Haziran 2008, 100 sayfa

Bu çalışmada, yüksek basınçlı depolama sistemlerinde kullanılan tanklardan bahsedilmektedir. Yüksek basınçlı depolama sistemlerinde kullanılan tanklar standartta dört tipe ayrılmıştır. İncelenen tank tipi birinci tip olan tamamı çelikten dikişsiz üretim yöntemleri ile üretilen tanktır. Bu tankların üretim yöntemleri, üretim standartları, tasarım kriterleri, tasarım hesaplamaları, standart basınç testlerinin teorik ve bilgisayar ortamında analizi konuları bu tez çalışmasında ele alınmıştır. Bilgisayar modellemesinde SolidWorks® ve AnsysLS-DYNA® programlarından yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dikişsiz tank, yüksek basınçlı tank, basınç analizi, tank tasarımı, Derin çekme, Sıkıştırılmış doğalgaz tankı, Ansys LS-DYNA

ABSTRACT

DESIGN OF HIGH PRESSURE CYLINDRICAL TANKS

BABAOĞLU, Fatih

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. Veli ÇELİK

June 2008, 100 pages

In this study, the tanks which are used for high pressure storage systems are mentioned. The tanks which are used for high pressure storage systems were divided into four types in standard. The tank type which was analysed is the one which is the first one and totally produced seamless from steel. Production methods, production standards, designing criteria, designing calculation of these tanks, theoretical and computerized analyzing subject of standard pressure tests were held. For computer modeling, SolidWorks® and AnsysLS-DYNA® programs were used.

Key words: Seamless tank, high pressure tank, analyses of pressure, design of tank, Deep drawing, CNG tanks, Ansys LS-DYNA

Aileme...

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması esnasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, sabırla bu tezin her aşamasında yardım ve desteğini hiç eksik etmeyen Bölüm Başkanı, tez yöneticisi, hocam Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK Bey'e, bu çalışmadaki konularla ilgili çalışmalarının bulunması vesilesiyle edindiği engin tecrübelerini tezin her aşamasında esirgemediği saygı değer hocam Sayın Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU Bey'e, Makine Mühendisliği Bölümünde yapılan çalışmalarda odalarını paylaşmış her türlü maddi ve manevi desteği eksik etmeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ER Bey ve bunların yanında birçok konuda daha yardımda bulunan Sayın Dr. Barış KALAYCIOĞLU Bey'e, bölümdeki diğer bütün hocalarıma ve MKEK çalışmalarında yardımcı olan MSB personellerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca en içten destek, yardım ve ilgiyi eksik etmeyen her zaman yanımda olan eşime, farkında olmasa da maddi ve manevi destekte bulunan sevgili oğluma, hayatımın her anında ve her alanında gerek maddi gerekse manevi her türlü desteği vermekten kaçınmamış ömürlerini çocuklarına adanmış anneme ve babama ayrıca yardımlarından ötürü ailemin diğer üyelerine şükranlarımı sunarım.

SİMGELER DİZİNİ

a	Derin çekme kuvveti hesabında katsayı
D	İşlenmemiş sac çapı
d	Zimba çapı
E	Elastisite modülü
e	Sac Kalınlığı
ε	Gerinim
ε_e	Kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme
ε_w	Enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme
k	Malzeme katsayısı
m	Derin çekme kademelendirme katsayısı
n	Birim şekil değiştirme oranı parametresi
p	Pot çemberi basınç hesabında katsayı
P_p	Pot çemberi basıncı
$P_{20,30,45}$	Uygulanan iç basınçlar
$P_{çekme}$	Derin çekme kuvveti
R	İstampa (zimba) ucu yuvarlama yarıçapı
R	Dikey anizotropi parametresi
$r_{iç}$	Tank iç çapı

r	Matris (dişi kalıp) kenarı yuvarlama yarıçapı
σ	Gerilme
$\sigma_{\text{çekme}}$	Çekme mukavemeti
σ_{akma}	Akma mukavemeti
$\bar{\sigma}$	Efektif gerilme
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Asal gerilmeler
S	İşlenmiş sac yüzeyi
S_1	İşlenmemiş sac yüzeyi
$t_{20,30,45}$	Cidar kalınlığı (değişik basınç değerlerinde)
w	Çekme boşluğu

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Sıvama işleminin şematik gösterimi	19
2.2. Sıvama yöntemi ile dolum ağzı oluşturma işlemi	20
2.3. Silindirik bir kabın derin çekilme karakteristiği.....	22
2.4. Silindirik bir kabın derin çekilme aşamaları.	23
2.5. Derin çekme işleminin ikinci ve sonraki kademeleri.	26
2.6. Derin çekme işleminde çekme aralığı	27
2.7. Derin çekme işleminde çekme kenarı yuvarlatılması.	27
2.8. Derin çekme işleminde ıstampa kenarı yuvarlatılması.	29
2.9. İncelterek derin çekme işleminin kademeleri.....	33
2.10. Dikey anizotropi parametresi: $R = \epsilon_w / \epsilon_e$	34
2.11. Tasarımı yapılacak tankın geometrisi.....	43
2.12. Tankın çizim ekranından alınmış iç hacim değerleri.....	44
2.13. Cidar kalınlığı ve gerçek ölçüleri belirlenmiş kesit çizimi	50
2.14. Çizim ekranından alınmış tank katı modelinin hacim değeri	50
2.15. Sac levhanın üç boyutlu çizimi ölçülendirmesi ve hacim değeri	51
2.16. Derin çekme kademelerine göre çekme boylarının tespiti.....	53
2.17. Tank imalatında uygulanan üretim hattı planı	58
2.18. SolidWorks programında katı model oluşturma	61
2.19. ANSYS'e aktarılmış tank çizimi	62
2.20. Ansys'te analiz tipinin seçim ekranı.....	62
2.21. Tankın analiz yapılacak elemanlara ayrılmış hali (mesh).....	63
2.22. Tank analizi için iç basınç yüklemeleri yapılmış görüntüsü.	63
3.1. 200bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerilmeler.....	66

3.2.	200bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerilmeler.....	67
3.3.	200bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerilmeleri	68
3.4.	200bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerinimler.....	69
3.5.	200bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerinimler.....	70
3.6.	200bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerinimleri.	71
3.7.	300bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerilmeler.....	72
3.8.	300bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerilmeler.....	73
3.9.	300bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerilmeleri	74
3.10.	300bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerinimler.....	75
3.11.	300bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerinimler.....	76
3.12.	300bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerinimleri.	77
3.13.	450bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerilmeler.....	78
3.14.	450bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerilmeler.....	79
3.15.	450bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerilmeleri	80
3.16.	450bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerinimler.....	81
3.17.	450bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerinimler.....	82
3.18.	450bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerinimleri.	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. Ham halde 34CrMo4 çeliğinin çekme deneyi sonuçları.....	11
2.2. 290HB Sertlikteki 34CrMo4 çeliğinin çekme deneyi sonuçları	12
2.3. Malzeme cinslerine göre damgalama basınçları	21
2.4. Kademelendirme katsayısı m değerleri	25
2.5. Çeşitli metaller için derin çekmede kullanılan a değerleri.....	30
2.6. Çeşitli malzemeler için gerekli pot çemberi basıncı.....	31
2.7. Çeşitli sacların ortalama dikey anizotropi parametresi \bar{R}	36
2.8. 34CrMo4 malzemesinin çekme deneyi verileri.....	45

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
İÇİNDEKİLER	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kaynak Özetleri.....	2
2. MATERYAL VE YÖNTEM	5
2.1. Malzeme Özellikleri.....	5
2.1.1. Kimyasal ve Mekanik Özellikler.....	5
2.1.2. 34CrMo4 Çeliği Çekme Deneyi Verileri.....	10
2.2. Sac Şekillendirme Teknik Ve Usulleri	13
2.2.1. Kesme.....	14
2.2.2. Bükme ve Kıvrırma.....	16
2.2.3. Sıvama.....	18
2.2.4. Damgalama.....	20
2.2.5. Derin Çekme	21
2.3. Dikişsiz Tank Üretimi	38
2.3.1. Dikişsiz Tankların Kullanım Alanları	38
2.3.2. Dikişsiz Tankların Üretim Standardı	39
2.3.3. Teorik Hesaplar ve Tasarım Kriterleri	42
2.3.4. İmalat Aşamaları	57
2.3.5. Bilgisayar Ortamında Modelleme	60
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	65
3.1. Bilgisayar Ortamında Tasarım Analizi.....	65
3.1.1. Standart Basınç Testleri Analizi	66
3.1.2. Test Sonuçlarının Teorik Hesaplarla Karşılaştırılması	84
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	86
KAYNAKLAR	88

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok alanda kullanılmakta olan yakıt depoları barındırdıkları yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre şekillenmekte ve bu özelliklere göre yapılanmaktadır. Bu uygulamalardan biri olan gaz yakıtlar depolanabilmesi için sıvı yakıtlara göre daha yüksek basınçlara ve dolayısıyla sızdırmazlığa gerek duyarlar. Gaz depolamakta kullanılan yakıt depolarının da tamamı çelikten yapılan tiplerinin depoladıkları gazın özelliğine göre 10 bar ile 300 bar arasında değişen bir aralıkta basınca maruz kalması söz konusudur. Bu konuda TSE'nin yayınladığı *Gaz Tüpleri – Yüksek Basınçlı – Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Kullanılan Doğal Gazın Depolanması İçin* adlı TS EN ISO 11439 numaralı standart dikkate alınarak tasarım ve üretim yapılması gerekmektedir. Üretimi yapılacak tank için standartta belirtilen tasarım hesaplamaları yapılarak, bu hesaplara uygun imalatının yapılması gerekir. İmalat aşamasında tankın karşılaması gerekli olan basınç değeri dikkate alınarak cidar kalınlığı tespit edilmeli, fakat bu konuda tank ağırlığı da dikkate alınarak en uygun kalınlık tespiti yapılmalıdır. Üretimi yapılacak ürünün malzeme seçimi konusunda standartta belirtilen kapsamlı bir bilgi bulunmamaktadır. İstenen birkaç özelliğe dikkat edildikten sonra fiyat mukavemet ve ağırlık üçlüsünü dengeleyebilecek üretimi ve tedarik edilmesi kolay bir malzeme ile çalışması uygun olacaktır.

Tasarım aşamasında bilgisayar programlarından yararlanılması, sonuçların doğruluğu açısından önemlidir. Diğer taraftan bazı uygulamaları yapılamayan veya yapılması zaman alan ve maliyetli olan testler bilgisayar

ortamında gerçekleştirildiğinde çok ucuza ve çok kısa zamanda birçok deneme yapma imkanını sunmaktadır. Bu çalışmada da derin çekme yönteminin yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve deneme yapılmasının çok uzun süreçlere dayanması nedeniyle ANSYS analiz programından yararlanılarak derin çekme işlemi modellenmiştir. Burada yapılan modelleme uygulamadaki birçok denemeyi ortadan kaldıracak nitelikte bir ön çalışmadır.

1.1. Kaynak Özetleri

L. Çapan⁽¹⁾, *Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri* adlı kitabında bütün plastik şekil verme yöntemlerinden bahsetmiştir. Tez konusu olan derin çekme ve sıvama yöntemleri hakkında detaylı olarak bilgilendirme yapılmış olan bu kitapta, derin çekme yöntemindeki parametreler ve olumsuzluklardan bahsedilmiş, aynı şekilde sıvama yöntemi hakkında da detaylı bilgiler verilmiştir.

Günümüzde, çok ince fakat yüksek mukavemetli çelik sacların üretimde kullanılmaya başlanmasıyla, özellikle derin çekme işlemlerinde, mevcut alışılmış yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu tip sacların rijit kalıplarla şekillendirilmesinde karşılaşılan en büyük problemler homojen olmayan deformasyon ve buruşmadır. *Çok İnce Çelik Sacların Elastik Şekillendirilmesi* adlı çalışmasında Muammer GAVAS⁽²⁾, bu problemleri büyük ölçüde ortadan kaldıran elastik şekillendirme tekniğini incelemiştir.

R. Padmanabhan⁽³⁾ çalışmasında, levha halindeki metallerin şekillendirilmesindeki proses parametrelerinin uygunluğunun imalattaki

maliyetlere etkisinin çok önemli olduğunu vurgulamış, proses parametrelerinin uygun değerlerinin tespitinin ve bu değerlerin metal şekillendirmeye etkilerinin araştırılmasının gereklerinden bahsetmiştir.

Çelik sacların soğuk şekillendirilmesi esnasında oluşan problemlere bilgisayar destekli çözümler üretmek bir mühendislik çalışmasını gerektirmektedir. Kompleks geometriler içeren kalıp yüzeylerinde, ince çelik sac malzemesinin ne doğrultuda akacağı ve şekillendirme esnasında incelenen sacın yırtılma, buruşma ve benzeri şekil hatalarının; kalıp tasarımı aşamasında önceden görülüp önlem alınması, tasarım değişikliklerinin sonuçlarını kalıp imal edilmeden öngörülebilmesi gereklidir. *Derin Çekme İle Soğuk Şekillendirmenin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Non-Lineer Analizi* konulu tezinde O. Kırılı⁽⁴⁾, bu öngörü için yapılması gerekenleri incelenmiştir.

B. Kalaycıoğlu⁽⁵⁾ Roket yakıtının ekstrüzyon yöntemi ile üretiminin bilgisayar programı yardımıyla modellenmesi üzerinde durmuştur. Bilgisayar modellemesinde parametrelerin seçilmesi ve girdilerin oluşturulması üzerine bilgiler verilmiştir.

Tez çalışmasında uygulanan testler, basınç değerleri v.b. kriterler, tank imalatında uyulması gereken, Türk Standartları Enstitüsü'nün yayınladığı TS EN ISO 11439⁽⁶⁾ numaralı standart dikkate alınmıştır.

Metal şekillendirme yöntemlerindeki değişkenlerin optimizasyonu ile ilgili bilgilerin verildiği makalede, Heinrich Markstaedter ve Andreas Gehle⁽⁷⁾,

ANSYS LS-DYNA programından yararlanarak ince bir kabın pres kalıbında üretimini modellemiş ve değişkenlerin etkileri hakkında bilgiler vermişlerdir.

Ilgaz Cumalıoğlu⁽⁸⁾ çalışmasında, hidrojen depolama sistemleri üzerinde durarak bu sistemler arasındaki değişkenleri değerlendirmiş ve sıkıştırarak depolama sisteminde kullanılan tankın bilgisayar modellemesini yaparak çıkan sonuçları değerlendirmiştir.

Tank üretimi gerçekleştiren Avrupa'daki üretici firmaların internet sitelerinde (www.faber-italy.com⁽⁹⁾, www.solartanks.com⁽¹⁰⁾), satışa sunulan tankların kapasiteleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu sitelerden, firmalar açısından maliyeti uygun olan ve en yaygın kullanılan üretim yöntemi hakkında bilgi sağlanmıştır.

Takayuki Hama⁽¹¹⁾ v.d. yaptıkları çalışmada, eliptik kapların derin çekme analizi hakkında bilgiler vermiştir. Bu makalede sonlu elemanlar metodu (FEM, finite-element method), statik ve dinamik olarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Mühendislikte çok yaygın kullanılmakta olan çelik alaşımlar, içerisinde bulunan malzeme katkısı sayesinde birçok farklı özelliği aynı anda barındırmaktadır. Çalışma esnasında kullanılacak olan CrMo alaşımlı çeliklerle ilgili genel bilgiler ve deneysel olarak tespit edilen fiziksel özelliklerden aşağıda bahsedilecektir. Ayrıca üzerinde çalışılan yüksek basınca dayanıklı silindirik kapların üretim yöntemleri ve dikişsiz tank üretimi konuları da ele alınacaktır.

2.1. Malzeme Özellikleri

Kullanılan malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birlikte deneysel olarak elde edilen Gerilme(σ) – Gerinim (ϵ) diyagramları aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Kimyasal ve Mekanik Özellikler

Silindirik kapların derin çekme işlemi ile dikişsiz olarak üretilmesinde malzeme açısından en önemli özellik sünekliktir. Diğer taraftan üretim sonrasında istenilen mukavemet değerlerini karşılaması için malzemeye yapılacak ısıtma işlemleri sonrasında kazandırılacak akma mukavemetinin yüksek olması gerekmektedir. Malzeme derin çekme aşamalarında plastik şekillendirmeye maruz kalacağından yüksek değerde bir uzama miktarına sahip olmakla birlikte, üretim açısından uygulanacak yüklerin azalması için de düşük değerde bir akmaya sahip olmalıdır. Bu özellikler açısından uygunluk gösteren bir malzeme ile üretilen ürün olan yüksek basınca dayanıklı tank, standartta belirtilen testlere karşılık verebilecek özelliklere

gerekli ısı işlemlerle ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu testlerde yüksek akma değeri ve yüksek uzama değeri istenmektedir çünkü üretilecek olan tank uygulanan 300 bar test basıncı karşısında akmaya uğramamalı ayrıca 450 bar basınca karşılık kopmamalı ve sonrasında ani kırılma olmadan sızdırmaya başlamalıdır. Bu özellikleri sağlayabilecek nitelikte normal karbonlu çeliklerin olmadığı bilinmektedir bu nedenle alaşımlı çelikler bu tip üretimlerde kullanılmaktadır. Alaşımlı çeliklerin kısa bir tanımı ve kullanılacak malzemedeki bulunan alaşımların çeliğe kattığı özellikler aşağıda özetlenmiştir.

Alaşımlı Çelik: Karbonlu çeliklerden normal olarak sağlanamayan kendine has özellikleri kazanmak için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir. Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya birden fazlasının, çeliğin içindeki oranları (yüzdeleri) Mn%1,65, Si%0,60 dan fazla olan ve bunlara eklenen öteki elementlerden – **Al, B, Cr, Co, Mo, Ni, Ti, W, V, Zr** – birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler, alaşımlı çelikler sınıfına girer.

Alaşımlı çelik ingot ve kütüklerinin gerek yüzeyinde gerekse içinde meydana gelmesi muhtemel çatlamalara neden olmaması için, özel kuyu ocaklarında ağır ağır soğutulur. Ayrıca haddeleme ve dövme işlemlerinde önce son olarak hatalar giderilir. Bu nedenlerden ötürü alaşımlı çelik yapımı, karbonlu çeliklere kıyasla daha zordur.

Karbon: Çelikte başlıca sertleştirici etkisi olan elementtir. Karbon miktarındaki her artış, çeliğin sıcak haddeleme veya normalize edilmiş

halindeki sertlik ve çekme dayanımını artırır. Fakat esnekliğini, dövülme kaynak edilme ve kesilme özelliğini zayıflatır.

Mangan: Çeliğin dayanımını geliştirir, esnekliğini biraz azaltır. Dövme ve kaynak edilebilme özelliğini olumlu yönde etkiler. Manganın, sertlik ve dayanımı artıran özelliği, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere oranla daha fazladır. Mangan yüzeyden sertleştirme işleminde sertleştirme derinliğini artırır. Paslanmaya karşı dayanımını geliştirir.

Silisyum: Çelik dökümlerde fiziksel dayanımı ve özgül ağırlığı artırır. Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden, veya ocak astarı olan tuğlalardan da bir miktar silis, çeliğin bünyesine kendiliğinden girer. Silisyumlu çelikler deyimli; bileşiminde %0,40 dan fazla silisyum olan çelikler için kullanılır. Çelikte silisyumun bulunması esnekliği olumsuz yönde etkilerse de beher %1 artış için çekme dayanımını 10kg/mm, akma dayanımını da benzer oranda artırır. %14 arasında silisyum bulunan çelikler, kimyasal tepkimelere karşı dayanımlı olduklarından, bu durumdaki çelikler dövülemezler.

Fosfor: Genel olarak çelikte zararlı olarak bilinir. Yüksek nitelikteki çeliklerde fosfor %si en çok olarak 0,030 – 0,050 arasında tutulur.

Kükürt: Çeliği kırılgan yapar ve haddelenmesini güçleştirir. Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir. Normal olarak müsaade edilen miktar en çok %0,025 – 0,050 arasında sınırlandırılır.

Krom: Çeliğin dayanım özelliklerini artıran fakat buna karşılık, esnekliğini çok az bir dereceye kadar eksi yönde etkileyen bir alaşım elementidir. Krom, çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Kabuk oluşumunu önler. İçinde yüksek oranda krom bulunması; çeliğin paslanmaya karşı dayanımını artırır.

Kromlu paslanmaz çeliklerde krom oranı artıkça, kaynak edilebilme yeteneği azalır. Krom, dengesi çabuk bozulmayan karbürü meydana getirir. Çelikte her %1 oranındaki krom yüzdesi artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8-10kg/mm² lik bir artış görülür. Aynı oranda olmamakla beraber, akma dayanımının yükselmesine karşılık, çentik dayanımı düşer.

Nikel: Çeliğin dayanımını silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin yüzeyden iç kısımlara doğru inmesini sağlar.

Krom nikelli çelikler paslanmaz, kabuklaşmaya ve ısıya dayanımlıdır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını artırır. Nikel, ıslah ve sementasyon çeliklerinin dayanımını artırdığı gibi, istenen yapıdaki çelikler, paslanmaya ve kabuklaşmaya dayanımlı çelikler için, uygun bir alaşım elementidir.

Molibden: Çeliğin çekme dayanımını özellikle ısıya dayanımıyla kaynak edilme özelliğini artırır. Yüksek miktarda molibden, çeliklerin dövülmesini güçleştirir. Molibden, kromla birlikte daha çok kullanılır. Molibdenin etkisi volframa benzer.

Alaşımlı eliklerde molibden; krom nikkelle birlikte kullanıldığında, akma ve çekme dayanımını artırır. Molibden kuvvetli karbür meydana getirdiğinden, hava ve sıcak iş çeliklerinde, ostenitik pasa dayanımlı çeliklerde, sementasyon, makine yapım çelikleriyle ısıya dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır.

Vanadyum: Çok dūřuk miktarlarda kullanıldığında; çeliğın sıcağına karşı dayanımını, alaşımlı makine yapım çelikleri tane yapılarının ince olmasını ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Aynı zamanda elik kesici uçlarının, daha uzun zaman keskin kalmasını sağlar. Genellikle, alaşımlı makine yapım çeliklerinde bulunan vanadyum miktarı %0,03 – 0,25 arasında değişir. Karbür oluşumuna karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. eliğın ekme ve akma dayanımını artırır. Makine yapım sıcak iş çeliklerinde özellikle vanadyum krom, hava ve makine yapım çeliklerinde volframla birlikte kullanılır.

Volfram: eliğın dayanımını artıran bir alaşım elementidir. Takım eliklerinde, kesici kenarlar sertliğinin artmasını, kullanma ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu yönden hava çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Çelikte volframın bulunması belirli yüzdelere kadar kaynak edilebilme özelliğine geliştirici ekiler yapar. eliğe ilave edilerek beher volfram yüzdesi, akma ve çekme dayanımını 4 kg/mm² ye kadar artırır. Volframın karbür meydana getirmeye karşı kuvvetli bir eğilimi olup, yüksek

çalışma sıcaklığında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında tercih edilir.

2.1.2. 34CrMo4 Çeliği Çekme Deneyi Verileri

Tez çalışmasında kullanılacak malzemenin fiziksel özelliklerinin, tam olarak bilinmemesi yapılacak analizlerde bulunacak değerlerin doğruluğunu azaltacağından dolayı 34CrMo4 çeliği ile çekme ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Dövmeden gelen ham malzemedен hazırlanmış numuneler üzerinde *Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında* yapılan sertlik ölçümü deneyinden elde edilen değerler ile *M.K.E.K. Ağır Silah ve Çelik Fabrikası Laboratuvarında* yapılan çekme deneyi sonuçları Gerilme(σ) – Gerinim (ϵ) diyagramı aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Ham halde 34CrMo4 çeliğinin çekme deneyi sonuçları

M.K.E.K AGIR SİLAH ve ÇELİK FABRİKASI											
											06.02.2008
DIN EN 10 002-1 ÇEKME TESTİ											
Protokol											
Evsafi : 34CrMo4			Malzeme : DÖVME MALZEME			Test speed : 5mm/min					
Ebat :			Operatör : H.BİLAL KARGIN			Pre-load : 50N/mm ²					
Döküm No:			Siparis No:			Speed E-Modulus: 3mm/min					
Bloğ No : 3 ADET			Müşteri : FATİH BABAĞLU								
Sonuçlar											
Nr	Çap d0 mm	EModulu kN/mm ²	Akma muk. N/mm ²	Çekme muk. N/mm ²	Çekme kuv. kN	Uzama %	L0 mm	Kesit mm ²	K. D.	Çentik	Sertlik
1	10,00	183,72	422,6	742,6	58,3	14,97	50	78,54	%36	-	200,0HB
2	10,00	125,38	430,0	730,9	57,4	18,52	50	78,54	%48	-	200,0HB
3	10,00	192,80	428,9	740,5	58,2	16,70	50	78,54	%35	-	200,0HB
Grafikler											
İstatistik											
n = 3	Çap d0 mm	EModulu kN/mm ²	Akma muk. N/mm ²	Çekme muk. N/mm ²	Çekme kuv. kN	Uzama %	L0 mm	Kesit mm ²			
X	10,00	167,30	427,2	738,0	58,0	16,73	50	78,54			
s	0,00	36,58	4,0	6,3	0,5	1,78	0	0,000			
v	0,00	21,87	0,93	0,85	0,85	10,63	0,00	0,00			
min.	10,00	125,38	422,6	730,9	57,4	14,97	50	78,54			
max.	10,00	192,80	430,0	742,6	58,3	18,52	50	78,54			
R	0,00	67,41	7,4	11,7	0,9	3,56	0	0,000			

Üzerinde hiçbir ısıtım işlem uygulanmamış ham haldeki 34CrMo4 çeliğinin özellikleri yukarıda gösterilmektedir. Bu özellikler kullanılacak çeliğın derin çekme işlemlerinde kolaylık sağlayacak biçimde düşük akma mukavemetine ve yüksek uzama değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Fakat tasarım aşamasında bu değerler çok düşük kalmaktadır. Bu nedenle tasarım, malzemenin bütün imalat aşamaları bittikten sonraki sertlik

değerlerine göre yapılmalıdır. Bu sertlik değeri yapılan sertleştirme ve menevişleme İşlemi sonucunda 290HB olduğu ölçülmüş ve bu sertlikteki malzemenin çekme deneyi sonucundaki değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2. 290HB Sertlikteki 34CrMo4 çeliğinin çekme deneyi sonuçları

M.K.E.K AGIR SİLAH ve ÇELİK FABRİKASI											06.02.2009
DIN EN 10 002-1 ÇEKME TESTİ											
Protokol											
Evsafi	: 34CrMo4	Malzeme	: SERTLESTİRİLMİS	Test speed	: 5 mm/mln						
Ebat	:	Oparatör	: H.BİLAL KARGIN	Pre-load	: 50 N/mm ²						
Döküm No:		Siparis No:		Speed E-Modulus:	: 3 mm/min						
Blok No	: 1 ADET	Müsteri	: FATİH BABAĞLU								
Sonuçlar											
Nr	Çap d0 mm	EModulu kN/mm ²	Akma muk. N/mm ²	Çekme muk. N/mm ²	Çekme kuv. kN	Uzama %	L0 mm	Kesit mm ²	K. D.	Çentik	Sertlik
1	12,00	257,03	756,3	915,5	103,5	16,56	60	113,1	%60	8.5Kgm/cm ²	290 HB
Grafikler											
İstatistik											
n = 1	Çap d0 mm	EModulu kN/mm ²	Akma muk. N/mm ²	Çekme muk. N/mm ²	Çekme kuv. kN	Uzama %	L0 mm	Kesit mm ²			
X	12,00	257,03	756,3	915,5	103,5	16,56	60	113,1			
s	-	-	-	-	-	-	-	-			
v	-	-	-	-	-	-	-	-			
min.	12,00	257,03	756,3	915,5	103,5	16,56	60	113,1			
max.	12,00	257,03	756,3	915,5	103,5	16,56	60	113,1			
R	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,000			

Tez çalışmasında, gerek teorik hesaplamalarda gerekse bilgisayar destekli analizlerde kullanılacak veriler yukarıdaki tablolardan alınarak

yapılacaktır. Bu şekilde deneysel verilere dayanan deęerlerle yapılacak hesaplamaların daha gerçekçi olacaęı dūřunūlmūřtur.

2.2.Sac Şekillendirme Teknik Ve Usulleri

Şekil değişimi, bir malzemenin kuvvet etkisi altında başlangıçtaki biçimini değiştirmesi demektir. Şekil değişimi elastik veya plastik Şekilde olabilir. Elastik Şekil değişimi, kalıcı olmayan Şekil değişimi; plastik Şekil değişimi, kalıcı Şekil değişimi demektir.

Bir malzemeye kuvvet etki ettiği zaman; bu kuvvetin etkisi ile malzeme yapısına bağlı olarak ya kalıcı bir Őekil değişiminden sonra kırılır veya önemli bir kalıcı Őekil değişimi olmadan kırılır. Bu iki davranıştan birincisini gōsteren malzeme sūnek ikinci davranışı gōsteren malzeme ise gevrek olarak adlandırılır. İmalatta malzemeler üzerine yūkllemeler yapılarak değişik Őekiller elde edilmektedir. Bu imalat yōntemlerini sıralayacak olursak;

- DōVME
- HADDELEME
- EKSTRŪZYON
- ÇUBUK VE TEL ÇEKME, BORU İMALİ
- PLASTİK SA İŞLEME USULLERİ

olmak ūzere beř ana bařlıkta toplanabilir.

Tez çalıřmasına konu olan silindirik tankların ūretim standartları sadece dikiřsiz(kaynaksız) imalata izin vermesi nedeniyle būtūn iřlemler

plastik şekillendirme ile yapılmaktadır. Tasarımı yapılacak tankın imalat yöntemlerini kapsayan **plastik sac işleme usulleri** hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmektedir. Diğer başlıkların detayına girilmeyecektir.

Seri imalatta yassı saclara çeşitli şekilleri verebilmek, 20. asrın gerçek teknolojik ilerlemelerinden birisidir. Elle şekillendirmeden, süratli ve seri imalata geçiş, yaşam standardını yükseltmede en büyük etkidir. Boru, kutu, kap, karoseri, tank, kazan ve gemi teknesi gibi mamuller, saclara plastik şekil verilerek elde edilir. Sacları bükme, kıvrım, sıvama, damgalama ve çekerek kap şekline getirmek gibi işlemlerin hepsi birer plastik şekil verme usulüdür.

Sac malzemenin cinsine ve kalınlığına göre, sıcak veya soğuk olarak işlenirler. Tavlamayla malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti artar. Fakat belirli bir sınırdan sonra yüzey alanı - hacim oranı büyüdüğünden, çabuk soğumadan dolayı sıcak işlenemezler. Saclara plastik şekil verme ile beraber, çok defa kesme de tatbik edilir. Bazı hallerde kesme ayrı bir işlem halinde, bazen de plastik şekil verme esnasında yapılır. Sacların kesilmesi prensip olarak plastik şekil vermeden tamamıyla ayrı bir usul olmasına rağmen, tatbikattaki yakınlıkları sebebiyle bu kısımda ele alınacaktır.

2.2.1. Kesme

Kesme ya da diğer bir deyimle makaslama, hareket eden iki kesme ağız tarafından metalin ayrılmasıdır. Bir zımba ve buna uyan matris arasına konan bir sacın zımba ve matris arasında zorlanarak kesilmesine, "zımbalama" adı verilir. Kesmede bıçaklar birbirine doru hareket etmeye

başlayınca, sacın her iki yüzünde de tatbik edilen kuvvet dolayısıyla bir plastik Şekil değişimi başlar ve kopma mukavemeti değerine erişilince kopma meydana gelir.

Makaslamada kesme ağızları arasındaki aralık önemli bir değişkendir. Uygun aralıkta kesme ağızlarında meydana gelen çatlamalar, metal kalınlığınca uzayıp tam ortada birleşerek, düzgün bir kesme ağzı meydana gelir. Fazla aralıkta kesme ağzı düzgün olmaz ve fazla kısım plastik Şekil değimine uğradığı için de daha büyük kuvvete ihtiyaç olur. Sert ve gevrek malzemeler az plastik Şekil değişimine uğrayabileceklerinde, aralık dar olmalıdır. Sac kalınlığı (e) olmak üzere, ıstampa ile matris arasındaki aralık malzeme cinsine göre aşağıdaki değerlerde olabilir;

<u>Malzeme cinsi</u>	<u>Aralık</u>
Az karbonlu çelik	(1/40).e
Yüksek karbonlu çelik	(1/30).e
Pirinç	(1/40).e
Alüminyum	(1/20).e

Kesme sisteminde hareketli ağız ıstampa, sabit ağız matris üzerindedir. Yukarıda da belirtildiği gibi, matris ve ıstampa arasındaki aralık sac kalınlığı ve sac malzemesinin fonksiyonudur.

Sacların kesilmesinde kullanılan makaslar düz bıçaklı ve rulo bıçaklı olmak üzere iki grupta toplanabilir. Düz bıçaklı makaslara giyotin makaslar da denir. Bu makaslarda alt bıçak tablaya tespit edilmiştir ve sabittir. Üst bıçak el

veya ayak ile mekanik olarak tahrik edilir. Rulolu makaslarda alt ve üst bıçak daire şeklindedir. Her iki bıçakta da eğim olduğundan, kesme kuvveti küçüktür. Bu tip makaslarda parçalar bir eğri boyunca kesilir.

Istampalar (zımbalar) açık ve kapalı tipte olabilirler. Açık zımbaların kullanılabilmesi için pres kafasının hareketi düzgün ve hassas olmalıdır. Kılavuzlu veya kapalı zımbalarda, ıstampa kesme kalıbı içerisinde kılavuzlanmıştır. Bu sebepten zımbanın hareketi presin hassasiyetine bağlı değildir. Kesme daha hassastır, fakat bu tür zımbaların imali daha pahalıdır. Şu halde büyük toleranslı parçaların kesilmesi açık, hassas parçaların kesilmesi ise kapalı(kılavuzlu) zımbalar kullanılmalıdır.

2.2.2. Bükme ve Kıvrırma

Bir sac parçasının bir kısmının bulunduğu düzlemlerle verilmiş bir açı yapan başka bir düzleme gelmesini sağlamak için yapılan işleme "bükme" denir. Bükmede düzlemler arasında bir açı oluşturulabileceği gibi, belirli çaplarda eğri şeklinde bükme de yapılabilir. Kıvrırma ise, sonsuz sayıda bükme için kapalı veya açık eğri meydana getirmeleri olarak tarif edilebilir.

Bükmede kullanılan tertibatlar özel ve genel olarak iki grupta toplanır. Özel bükme tertibatları belirli bir iş parçasının formunu elde etmek için yapılmıştır ve yalnız o iş için kullanılabilir. Bunların maliyetleri oldukça yüksektir, fakat hassas ve süratli olarak çalışırlar. Ancak çok sayıda parça imalatı için elverişli ve ekonomik olurlar. Genel bükme tertibatları ise, birbirlerine çok yakın şekilde bükme için kullanılır. Bu tertibatla süratli

çalışmak çoğunlukla mümkün değildir. Bunlar genellikle büyük parçaları veya az sayıda yapılan küçük parçaların bükülmesinde kullanılmaktadır.

Bükme işlemi bir bükme makinesi (caka veya abkant pres) veya herhangi bir prese takılan bükme zımbalarıyla yapılır. Preslere takılan bükme zımbaları ve kalıpları, özel bükme tertibatları sınıfına girer. Cakalar bir tabla ve ona düşey durumda hareket eden ve tablaya sacı tespit eden bir üst çene ile, bükme eksenini etrafında hareket eden bir alt çeneden ibarettir. Çenelerin ağızları değiştirilerek, çeşitli yarıçaplarda bükme yapılabilir. Alt çene el ile veya mekanik olarak hareket eder. Cakalar daha çok ince sacların bükülmesinde kullanılır. Abkant presler ise, üst tabakası ince ve uzun olan preslerdir. Bu şekilde üst tabakaya uzun zımbalar bağlanarak, büyük boyutlu sacların bükülmesi sağlanabilir. Bu presler sadece bükme işlemi için geliştirilmişlerdir. Yine bunlarda da zımba altlıkları ve zımbalar (abkant bıçakları) değiştirilerek, değişik açılarda bükme yapılabilir.

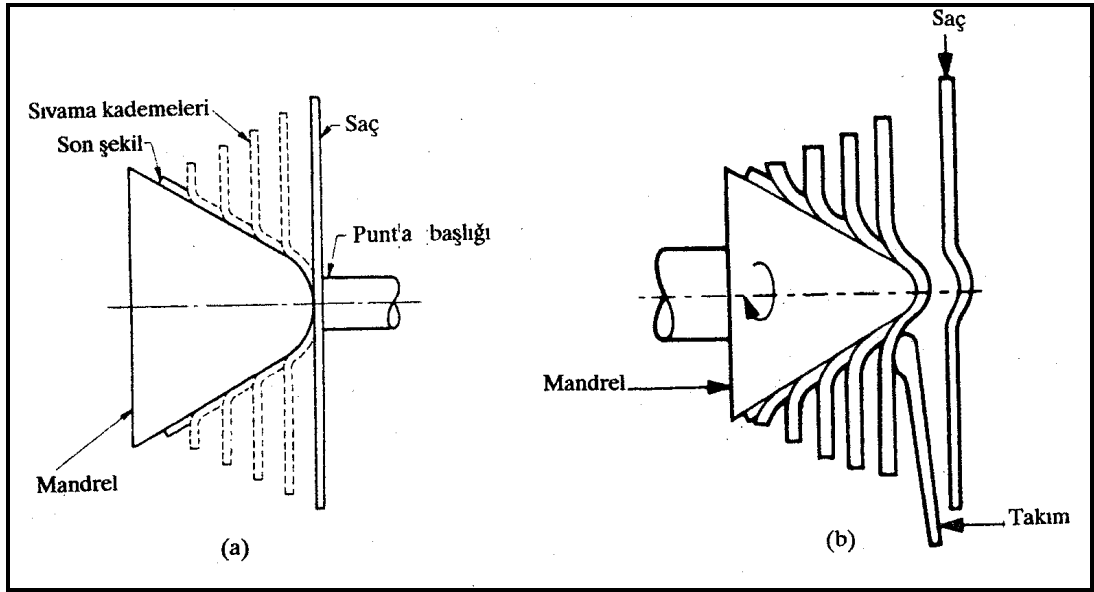
Kıvrma işlemi için özel kıvrma tezgâhlarında veya kıvrma zımbaları ile yapılır. Bu tezgâhlarda sac altta iki ve üstte bir olmak üzere üç merdanelen müteşekkil bir haddeden geçirilerek kıvrılır. Arzu edilen kıvrma yarıçapı, merdanelerin birbirlerine nazaran konumları değiştirilerek elde edilir. Kıvrma zımbaları, seri işlerde ve ufak parçaların kıvrılmasında kullanılır. Bu takımlarda bir parça ancak belirli bir şekilde kıvrılabilir.

Genel kıvrma işlerinde kullanılan merdaneli tezgâhlar mevcuttur. Bunlarla, sacların ince boru şeklinde veya çeşitli profillerde kıvrmak mümkündür.

2.2.3. Sıvama

Kenarları içeriye doğru dönük, dönel şekilli kaplar sıvama ile imal edilirler. Düz sac rondelâ veya önceden preste bir ön şekil verilmiş iş parçası sıvama tezgâhlarının miline takılmış olan kalıbın altına dayanır ve bir baskı ile desteklenir. İş parçasının ortası delik olduğu takdirde, rondelâ biçiminde olan bu parça bir vida ile kalıba tespit edilir. Tezgâh çalışmaya başladıktan sonra, sıvama kalemiyle rondelânın ortasından çevresine doğru bastırılarak parçanın kalıp şeklini alması sağlanır. Sıvama kalemlerinin uç kısımları küreseldir ve iyice parlatılmıştır. Çalışma esnasında kalemin uç kısmına sabunlu su veya yağ sürülür. Kalem parçaya bastırırken, bir destek üzerine bağlanmış baskı ruloları kullanılır. Sıvama tezgâhları çok basit bir tornayı andırırlar. Herhangi bir torna tezgâhı da bu iş için kullanılabilir.

Sıvama kalıpları genellikle sert ağaçtan yapılır. Çok sayıda yapılması gereken parçaların kalıpları ise, demirden yapılır. Kalıplar tezgâh miline vidalanarak takılırlar. Kenarı içeri dönük kaplar imal edildikten sonra kalıbın içerisinden çıkarılabilmesi için, bu tip parçaların kalıpları parçalı yapılır ve iş parçasının içerisinden kalıp parçalar halinde çıkarılır.



(a) Düzlemsel sac

(b) ön şekillendirilmiş sac

Şekil 2.1. Sıvama işleminin şematik gösterimi

Az sayıda imal edilecek sacdan mamul kap şeklindeki parçalar da sıvama ile imal edilirler. Çünkü sayılarının azlığı, preste şekillendirilmeleri için gerekli kalıbın maliyetini karşılayamaz.

Sıvama işlemi sadece içine kalıp konulan sac malzemelerin kalıp üzerine sıvanması yöntemi ile uygulanmamaktadır. Farklı olarak içi boş silindirik kapların uç kapama işlemlerinde de sıvama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde ucu kapatılacak malzeme işlem sırasında ısıtılmakta bu sayede çok daha kalın cidarlı malzemelerin de içe dönük olarak işlenmesi sağlanmaktadır. Aşağıda silindirik bir tankın dolum ağız yapımında sıvama yöntemi uygulanırken çekilmiş bir fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 2.2. Sıvama yöntemi ile dolum ağızı oluşturma işlemi

2.2.4. Damgalama

Sac parçasının iki parçalı bir kalıp içerisinde yığılarak, yükseltilerek ve akarak şekil değiştirmesinde “damgalama” adı verilir. Bu işlem, kalpta soğuk dövmenin bir tatbikatıdır. Bu usul madeni para, madalyon ve süs eşyası imalinde tatbik edilir.

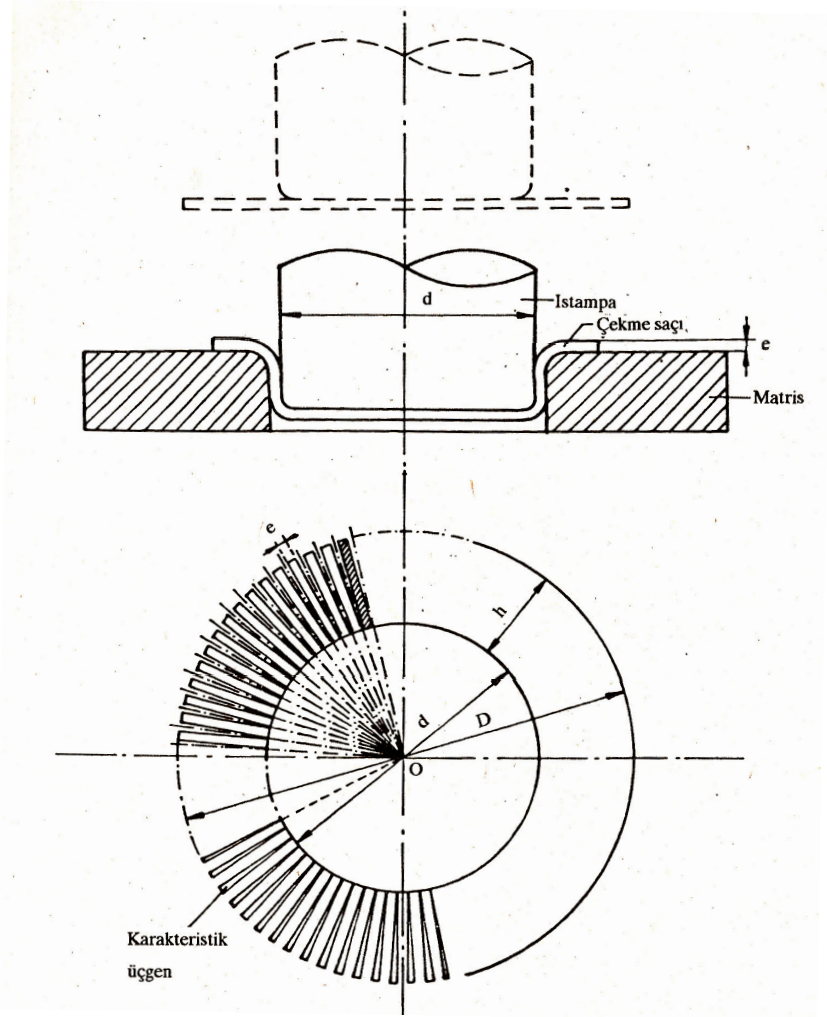
Dolu ve boş damgalama olmak üzere iki türü mevcuttur. Dolu damgalamada malzemenin kalınlığı değişir. Boş damgalamada ise, bir yüzün girintisi diğer yüzün çıkıntısına tekabül eder ve malzemenin kalınlığı değişmez. Derin damgalamalar birkaç kademedede yapılır ve kademeler arasında parçanın tekrar kristalleşme sıcaklığına kadar tavlanması gerekir. Damgalamada uygulanacak basınçlar malzeme cinsine göre değişir. Aşağıda bazı malzemeler için bu değerler görülmektedir.

Çizelge 2.3. Malzeme cinslerine göre damgalama basınçları

Yumuşak çelik	100 – 120 kg/mm ²
Altın para	120 – 150 kg/mm ²
Gümüş para	150 – 180 kg/mm ²
Nikel	160 – 180 kg/mm ²
Alpaka(yemek takımları)	160 – 200 kg/mm ²
Paslanmaz çelik	250 – 300 kg/mm ²
Pirinç(ince saclar – 0,7mm)	10 kg/mm ²
Pirinç(kalın saclar – 2mm)	80 – 90 kg/mm ²

2.2.5. Derin Çekme

Sac levhalardan kap şeklinde cisimler elde etmek için kullanılan en önemli usullerden birisi derin çekmedir. İmal edilecek olan parçanın işlenmemiş haline uygun bir sac parçası çekme matrisi üzerine konur. Pot çemberi adı verilen bir bastırıcı sac levhayı tutar ve bir ıstampa sac parçasını matris deliğinden geçirerek, iş parçasının elde edilmesini sağlar.

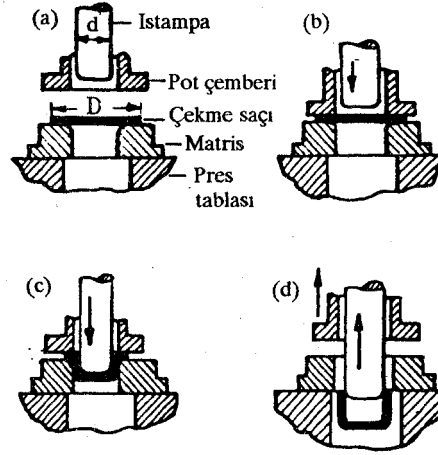


Şekil 2.3. Silindirik bir kabın derin çekilme karakteristiği.

Çekme sacının kalınlığı e olsun. Şekil 2.3. da gösterildiği gibi, d çapındaki daire üzerinde, aralarındaki daire yayı uzunluğu e olan noktalar olarak O daire merkezine birleştirilsin. Böylece d çapındaki daire üzerinde aralıkları e olan yarıçaplar elde edilir. Bu yarıçapları D çapındaki daireye kadar uzatılsın ve d ile D çapındaki bu iki dairenin sınırladıkları halka üzerinde kenar uzunlukları e ve h olan dikdörtgenler çizilsin. Bu dikdörtgenleri birbirinden ayıran üçgenlere karakteristik üçgen denir. D

apındaki çekme sacından d çapında bir kap elde edilmesi için kenar uzunlukları e ve ha olan dikdörtgenleri d çapındaki daire etrafında $\pi/2$ kadar kıvrımak yeterlidir. Böylece karakteristik üçgenlere ait malzemenin gereksiz olduğu görölmektedir.

Derin ekmede karakteristik üçgenleri meydana getiren fazla malzeme katlanmalara neden olabilir. Bu katlanmalara engel olmak için yukarıda bahsedilen pot çemberi kullanılır(Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Silindirik bir kabın derin çekilme aşamaları.

Bu şekilde derin çekme işleminin dört ayrı kademesi görölmektedir; (a) D çapındaki çekme sacı matris üzerine yerleştirilmiş durumda; (b) Pot emberi ve istampanın aşağı hareketi. Pot emberi istampadan önce çekme sacına değerek onu matris üzerine bastırır; (c) İstampa ekme sacını matris deliğine iter; (d) Derin ekme tamamlandıktan sonra istampa ve pot çemberi

yukarı çıkar. Elde edilen kap pres tablasının deliğinden aşağı düşer yada matris kalıbı kapalı ise başka yöntemlerle çıkarılır.

Pot çemberi çekme sacı malzemesini radyal doğrultuda akmaya zorlayarak katlanmalara engel olur. Pratikte $D/d > 21/20$ olduğu takdirde pot çemberi kullanılır. $D/d < 21/20$ olduğunda ise karakteristik üçgenleri meydana getiren malzeme miktarı az olduğundan işlem pot çemberi kullanmadan ve katlanmalar meydana gelmeden yapılabilir.

Yukarıda kısaca açıklanmış olan silindirik kapların derin çekilmesi işlemiyle ilgili genel kurallar aşağıda verilmiştir.

Çekme sacı çapının hesaplanması: Derin çekme sırasında sac kalınlığının değişmediği kabul edilirse, derin çekilerek elde edilen kabın yüzeyi (S) ile çekme sacının yüzeyi (S_1) eşit olmalıdır. Dolayısıyla çekme sacının çapı D ile gösterilirse;

$$S_1 = \frac{\pi D^2}{4} = S$$

den

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} S}$$

bulunur.

Derin çekme ile elde edilecek kap elemanlara ayrılarak bu elemanların yüzeylerinin toplamı ΣS ile gösterilirse, çekme sacı çapının;

$$D = \sqrt{\Sigma \frac{4}{\pi} S}$$

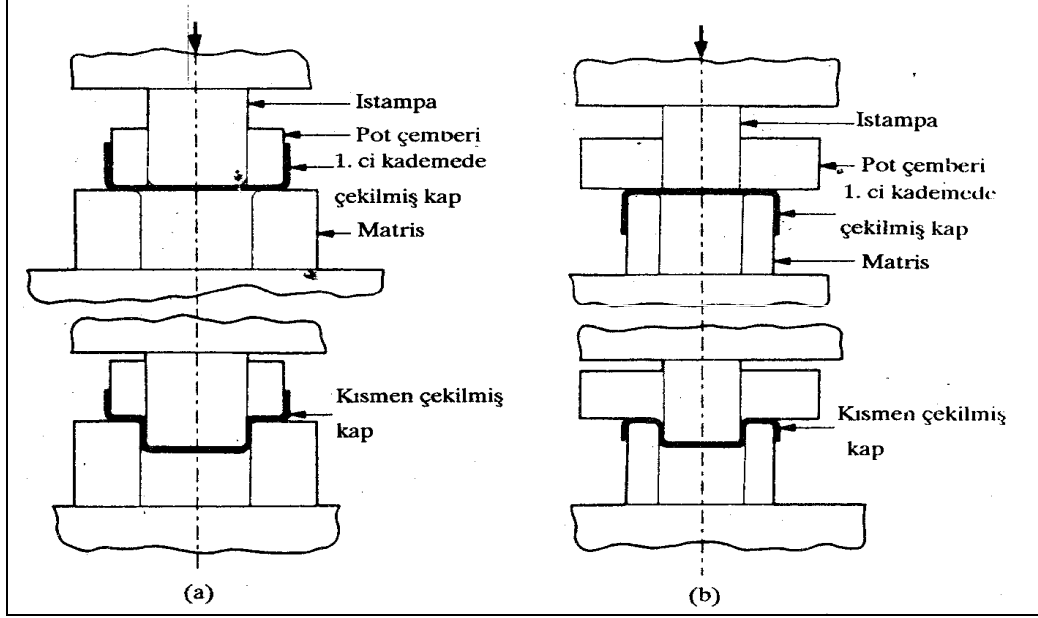
şeklinde hesaplanması en uygun yoldur.

Çekme kademelerinin tespiti: Derin çekme sırasında sac pekleşir. Pekleşme ise derin çekmede kap yüksekliğini sınırlayan faktördür. Diğer bir deyimle, derin kaplar bir işlemde çekilemezler. Sünek metaller derin çekmeye en uygun olanlardır. İlk kademede elde edilecek kabın iç çapı d_1 , çekme sacı çapı D ise $d_1 = m_1 D$ ikinci ve daha sonraki kademeler için kap çapı $d_n = m_n d_{n-1}$ olarak hesaplanır. Kademelendirme sayısı olarak adlandırılan m değerleri Çizelge 2.4. de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kademelendirme katsayısı m değerleri

Malzeme	Pot çemberli çekme		Pot çembersiz çekme
	m_1	m_n	$m_1 = m_n$
Çelik sac (kalınlık < 2 mm)	0,56	0,80	0,90...0,93
Çelik sac (kalınlık > 2 mm)	0,56	0,83	"
Pirinç, bakır, gümüş (kalınlık < 2 mm)	0,50	0,75	"
Pirinç, bakır, gümüş (kalınlık > 2 mm)	0,52	0,75	"
Çinko	0,75	0,91	"
Alüminyum (kalınlık < 2 mm)	0,55	0,80	"
Alüminyum (kalınlık > 2 mm)	0,55	0,83	"
Paslanmaz çelik	0,60	0,80	"

Şekil 2.5. ise silindirik bir kabın ikinci ve/veya daha sonraki bir kademede derin çekilmesiyle ilgili iki örneği göstermektedir.



(a) Normal derin çekme

(b) Ters çekme

Şekil 2.5. Derin çekme işleminin ikinci ve sonraki kademeleri.

İstampa ile matris arasındaki boşluk (çekme aralığı): Çekme aralığı için (Şekil 2.6.) aşağıdaki ampirik denklemlerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Çelik için

$$w = e + 0,07 \sqrt{10e}$$

Alüminyum için

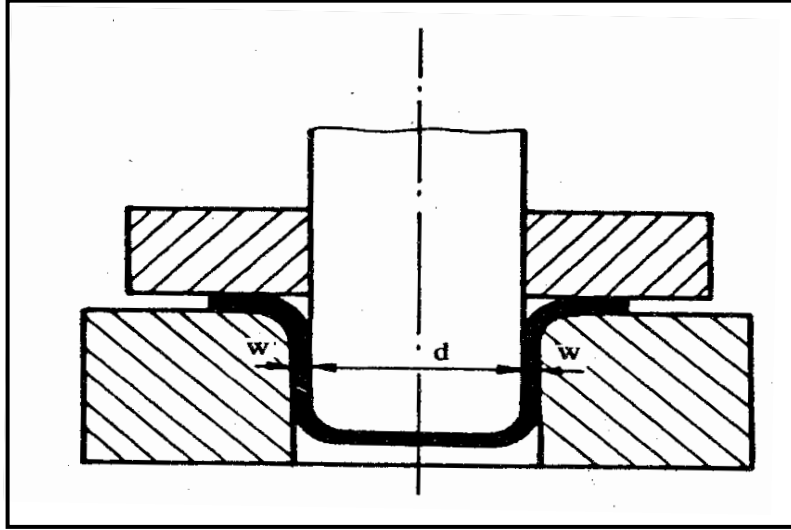
$$w = e + 0,02 \sqrt{10e}$$

Isıya dayanıklı alaşımlar için

$$w = e + 0,20 \sqrt{10e}$$

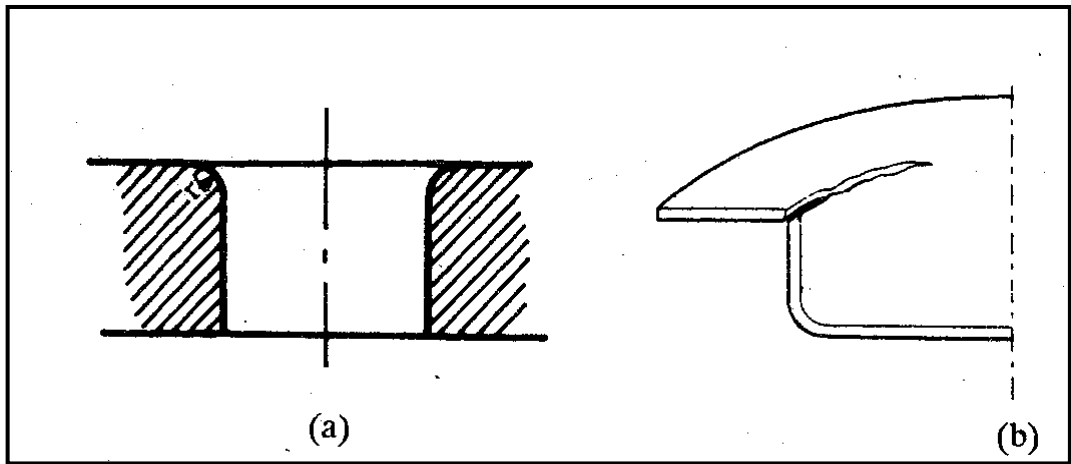
Diğer demir dışı malzemeler için

$$w = e + 0,20 \sqrt{10e}$$



Şekil 2.6. Derin çekme işleminde çekme aralığı

Matris kenarının (çekme kenarı) yuvarlatılması: Bir derin çekme takımından iyi sonuç alınmasında çekme kenarı yuvarlatmasının (Şekil 2.7.) büyük etkisi vardır.



(a) Çekme kenarının yuvarlatılması

(b) Çekme kenarının yuvarlatılması gereğinden az olduğunda malzemenin yırtılması.

Şekil 2.7. Derin çekme işleminde çekme kenarı yuvarlatılması.

Çelik için, birinci kademede

$$r = 0,8\sqrt{(D-d)e}$$

alınmalıdır (D=çekme sacı çapı; d= ıstampa çapı; e=sac kalınlığı).

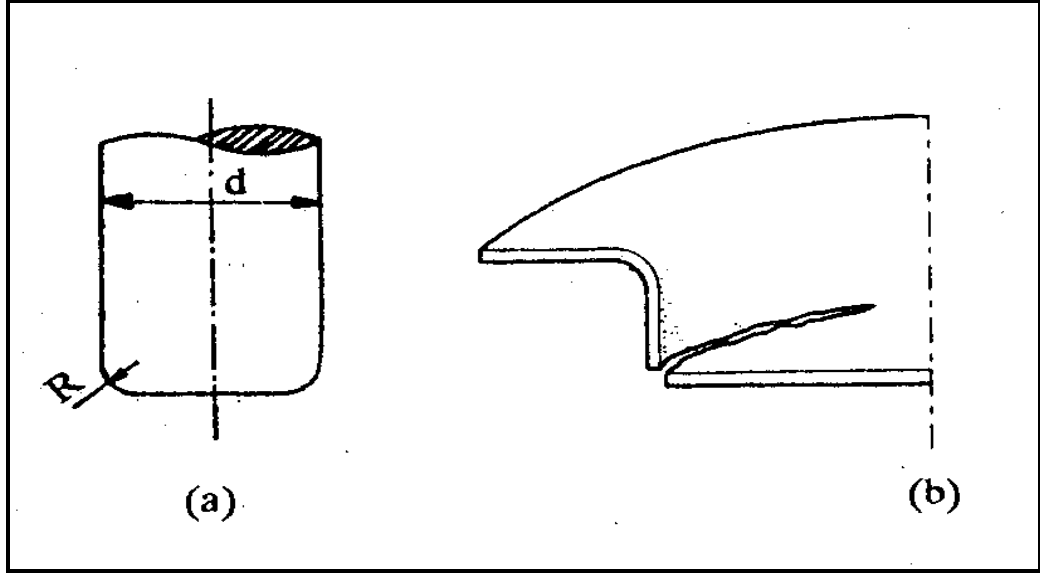
Alüminyum ve alaşımlarının mekanik özellikleri daha düşük olduğundan r değeri çeliğe kıyasla %10 kadar büyük alınır.

$$r = 0,9\sqrt{(D-d)e}$$

İkinci ve daha sonraki kademelerde ise çekme kenarı yuvarlatma yarıçapı

$$r_n = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} \text{ alınır.}$$

Istampa kenarının (çekme kenarı) yuvarlatılması: Sacın ıstampa tarafından delinmemesi için ıstampa kenarı uygun şekilde yuvarlatılmalıdır.



(a) Istamp kenarının yuvarlatılması

(b) Istamp kenarının yuvarlatılması gereğinden az olduğunda malzemenin yırtılması.

Şekil 2.8. Derin çekme işleminde ıstamp kenarı yuvarlatılması.

Sac kalınlığına bağılı olarak

$$5e < R < 10e$$

Istamp çapına bağılı olarak da

$$R = (0,1 \dots 0,3)d$$

alınabilir.

Çekme Kuvveti: Derin çekme sırasında ıstampanın (zımbanın) uyguladığı maksimum kuvvet, birinci kademe için aşağıdaki basitleştirilmiş denklemle hesaplanır.

$$P_d = \pi * d * e * \sigma_{\text{çekme}} * a$$

Bu ifadede, d zımba çapı, e sac kalınlığı, $\sigma_{\text{çekme}}$ malzemenin derin çekme işlemindeki sertliğine(200HB) göre çekme dayanımını, **a** ise malzemenin d/D oranına göre belirlenmiş Çizelge 2.5. de verilen değerleri göstermektedir.

Çizelge 2.5. Çeşitli metaller için derin çekmede kullanılan a değerleri.

d/D	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,675	0,70	0,725	0,75	0,775	0,8
a	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40

Tablodan alınan a değerleri ile hesaplanacak olan basınç değeri sonraki kademelerde 5/4 oranında düşürülerek uygulanır.

Pot çemberi basıncı: Çeşitli malzemeler için gerekli pot çemberi basıncı Çizelge 2.6. de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Çeşitli malzemeler için gerekli pot çemberi basıncı

Malzeme	p (kgf/mm ²)
Alüminyum	0,10...0,12
Çinko	0,12...0,15
Düralümin	0,15...0,16
Paslanmaz çelik	0,20
Pirinç	0,20
Çelik	0,25
Kalaylı sac	0,30

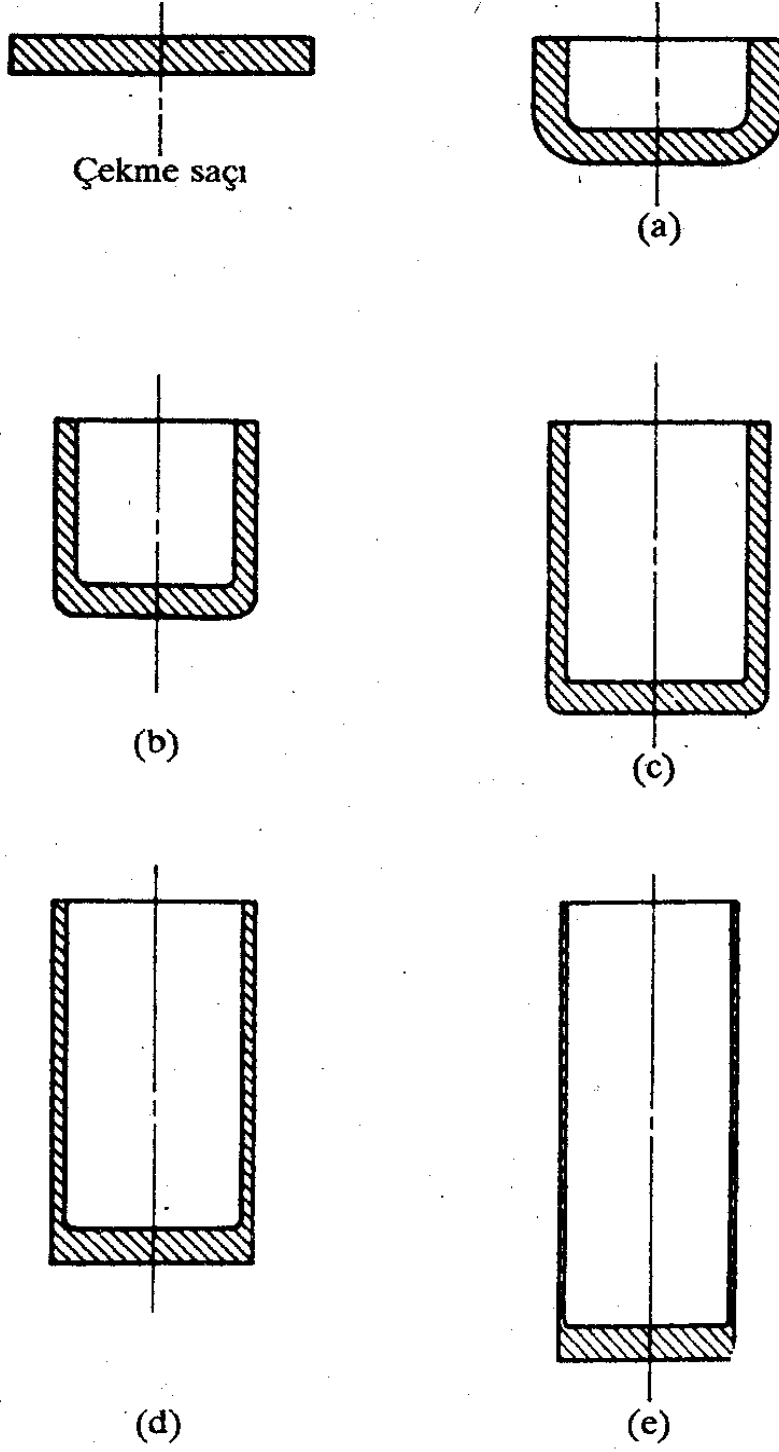
Pot çemberi kuvveti ise, pot çemberi basıncının sacla pot çemberi arasındaki temas alanı ile çarpımıdır. Dolayısıyla birinci kademe için pot çemberi kuvveti

$$P_p = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p$$

denklemleriyle hesaplanır. Burada D çekme sacının, d ise ıstampanın çapıdır.

Pot emberi kuvvetinin yetersiz olması halinde katlanmalara engel olunamaz ve derin çekme yapılan malzemenin uç kısımlarında buruşmalar olur. Diğer taraftan pot çemberi basıncının buyk olması da malzeme akışını engelleyeceğinden yırtılmalara neden olur.

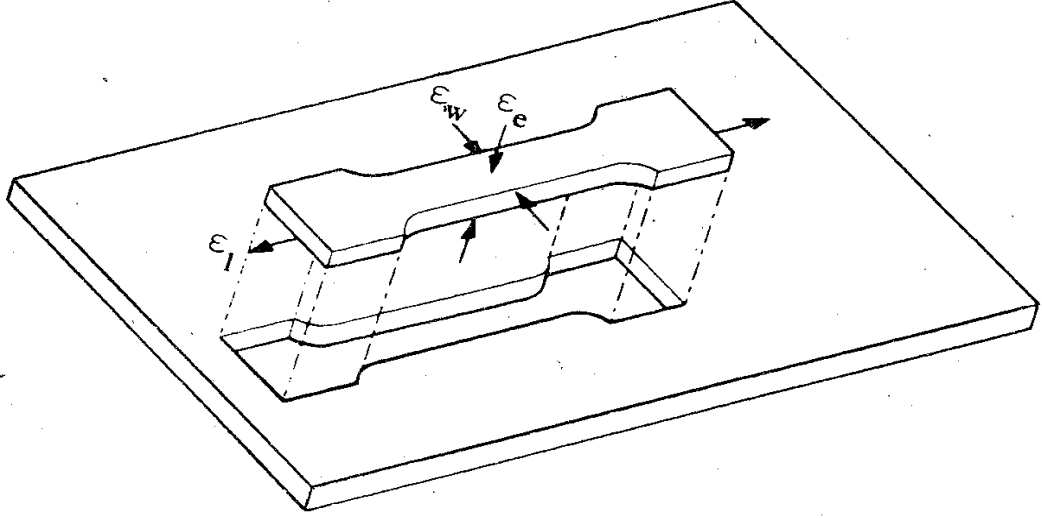
İncelterek ekme: Taban kalınlığı cidar kalınlığından buyk olan parçalar, örneğin top mermisi kovanları, incelterek çekme işlemiyle üretilir. İncelterek ekmede, çekme sacı kalınlığı iş parçasının taban kalınlığına eşit alınır. Çekmede bu kalınlık değişmez. Cidar kalınlığı ise, çeşitli çekme kademelerinde inceltirilerek istenen değere indirilir. İncelterek ekme çoğu kez pot embersiz yapılır. Bunun için kademelendirme sayısı $m = d_{n+1}/d_n \geq 0,90$ olmalıdır. Pirinç, alüminyum gibi sünek malzemeler için cidar kalınlığının birinci kademede %25, diğer kademelerde %30 azaltılması tavsiye edilir. Pekleşme nedeniyle iş parçası kademeler arasında ısıl işleme tabi tutulması gerekebilir. şekil 2.9. te incelterek derin çekme aşamalarının şematik gösterimi vermektedir.



Şekil 2.9. İncelterek derin çekme işleminin kademeleri.

Anizotropi: Belirli bir ıstampa çapı (d) için yırtılmadan çekilebilecek en buyk çekme sacı apı D_{max} ise, tarif olarak derin çekme oranı sınırı = D_{max}/d . Bu oranın sacın mekanik özellikleriyle ilişkisi pek çok araştırmada incelenmiştir.

Çekme deneyince enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme ϵ_w , kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme de ϵ_e ile gösterilirse;



şekil 2.10. Dikey anizotropi parametresi: $R = \epsilon_w / \epsilon_e$

$R = \epsilon_w / \epsilon_e$ dikey anizotropi parametresi olarak anılır. Çekme deneyinden önce ve sonra deney parçasının eni w_0 ve w , kalınlığı ise e_0 ve e ile gösterilirse, $\epsilon_w = \ln(w/w_0)$, $\epsilon_e = \ln(e/e_0)$ olduğundan

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_e} = \frac{\ln(w/w_0)}{\ln(e/e_0)} \text{ olur.}$$

Pozitif bir sayı olan dikey anizotropi parametresinin fiziksel anlamı, $R > 1$ olduğu takdirde, malzemenin sac düzlemindeki şekil değişimine kıyasla incelmeye karşı daha dayanıklı olduğu şeklindedir. Aksi halde $R < 1$ dir. İzotrop bir malzemede ise $R = 1$ dir.

Anizotropi parametresinin deneysel olarak saptanmasında, küçük olmaları nedeniyle e değerlerinin ölçülmesinde hata yapılabileceği için, R nin yukarıdaki ifadesi hacim sabitliğinden $e/e_0 = w_0 l_0 / w l$ alınarak

$$R = \frac{\ln(w/w_0)}{\ln(w_0 l_0 / w l)}$$

Şeklinde değiştirilir (burada l_0 ve l deney parçasının çekme deneyinden önceki ve sonraki boyudur). Böylece çekme deneyi parçasının kalınlığı yerine eni ve uzunluğu ölçülerek R nin daha sağlıklı olarak saptanması sağlanmış olur.

Bir plaka sacdan farklı doğrultularda alınan çekme deneyi örnekleriyle yapılan deneylerde değişik R değerleri bulunabilir. Böyle bir sacda düzlemsel anizotropi olduğu söylenir. Düzlemsel anizotrop bir sacda dikey anizotropi parametresi için bir ortalama değer tarif edilir. Ortalama dikey anizotropi parametresi

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad \text{denklemlerle hesaplanır.}$$

Özetle

- $R = 1$ ise malzeme izotropdur.
- $R \neq 1$ ise ve aynı zamanda bir plaka sacdan farklı doğrultularda alınan çekme deneyi örnekleriyle yapılan deneylerde elde edilen R değerleri farklılık göstermiyorsa malzemede dikey anizotropi ve düzlemsel izotropi bulunduğu söylenir.
- $R \neq 1$ ise ve aynı zamanda sac düzleminde doğrultuya bağlı olarak değişiyorsa malzemede dikey ve düzlemsel anizotropi vardır.

Çizelge 2.7. Çeşitli sacların ortalama dikey anizotropi parametresi \bar{R}

Malzeme	\bar{R}
Çinko	0,2
Sıcak haddelenmiş çelik	0,8 ... 1,0
Soğuk haddelenmiş kaynar çelik	1,0 ... 1,35
Soğuk haddelenmiş Al ile söndürülmüş çelik	1,35 ... 1,8
Alüminyum	0,6 ... 0,8
Bakır ve pirinç	0,8 ... 1,0
Titanyum	4 ... 6

Kulak oluşumu: Düzlemsel anizotropi derin çekilmiş kaplarda kulak oluşumuna yok açar. Kulak sayısı 2, 4 veya 6 dır (daha çok 4). Kulaklar, derin çekme işleminden sonra, kabın çevresi boyunca kesilir. Dolayısıyla

gerek malzeme kaybına yol açması, gerek ek bir kesme işlemiyle maliyeti yükseltmesi nedeniyle kulak oluşumu olabildiğince önlenmelidir.

Kulak oluşumuna yol açan düzlemsel anizotropi ampirik bir parametre ile ifade edilir ve

$$\Delta R = \frac{R_0 - 2R_{45} + R_{90}}{2} \quad \text{denklemlle hesaplanır.}$$

Düzlemsel anizotropi parametresi ΔR , sacın haddeleme doğrultusuna göre, kulakların konumunun belirlenmesini sağlar. ΔR büyüdükçe kulak yüksekliği de artar. $\Delta R = 0$ için kulak oluşumu görülmez.

Yağlama: Derin çekmede yağlama ıstampa kuvvetini küçültmesi, derin çekme oranı sınırını yükseltmesi, takım aşınmasını azaltarak ömrünü uzatması ve üretim kusurlarını önlemesi bakımından önem taşır. Yalnızca çekme sacının matrisle temas eden yüzeyi yağlanmalıdır. Yağlayıcı olarak genel uygulamalarda mineral yağlar, sabun çözeltileri, emülsiyonlar, zor koşullarda ise kaplamalar, mum ve katı yağlayıcılar kullanılır.

Derin çekme takımları ve presleri: Derin çekmede kalıp malzemesi olarak en çok takım çelikleri (örnek olarak W1, O1, A2, D2 gibi) ve alaşımlı dökme demirler kullanılır. Matrislerde sert metallerden de faydalanılmaktadır.

Derin çekmede daha çok çift tesirli hidrolik presler kullanılır. Böylece iş parçası sabit ıstampa hızında derin çekilebildiği gibi pot çemberi ve ıstampanın birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmesi de sağlanmaktadır. Bu arada derin çekmenin mekanik preslerde de yapıldığı belirtilmelidir. ıstampa hızları 0,1...0,3 m/s arasında alınırsa da yüksek dayanımlı metaller için düşük hızların seçilmesi uygun olur.

2.3. Dikişsiz Tank Üretimi

Yüksek basınç depolamak için kullanılan tankların üretiminde kaynakla birleştirme yapılması, tankların uzun yıllar sızdırmadan kullanılmasını engellemektedir. Yüksek basınç yüklemeleri tankların cidarlarında doldurma ve boşaltma esnasında çok yüksek miktarlarda gerinimler oluşturmaktadır. Bu gerinimler kaynak yapılan bölgede malzemenin içyapısında oluşan hataların da etkisi ile çatlaklar oluşturabilmektedir. Ayrıca kaynaklar yüksek gerilme değerlerine karşılık verememektedir. Bu nedenlerden dolayı yüksek basınç tanklarının dikişsiz üretilmesi gerekmektedir. İlgili standartlarda yüksek basınca dayanıklı tankların paslanmaz çelikten üretimi veya kaynaklı birleştirme yöntemi ile üretimi kapsam dışı bırakılmıştır.

2.3.1. Dikişsiz Tankların Kullanım Alanları

Bazı sıvılaştırılmış gazların veya sıkıştırılarak depolanan gazların depolama sistemlerinde basınç değerleri yaklaşık 30 bar ve üzerinde ise bu tip uygulamalarda yüksek basınç kavramı ortaya çıkmaktadır. Yüksek basınç uygulanacak tanklar ise kaynaklı (dikişli) olmamalıdır. Bu tanklar yüksek basınca dayanıklı dikişsiz tanklar olmalıdır.

Yüksek basınç gerektiren uygulamalara örnek olarak karbondioksit tüpleri, hidrojen tüpleri, oksijen tüpleri, yangın söndürme tüpleri ve yaygın olarak doğalgaz depolamada kullanılmaktadır.

Doğalgaz, enerji yoğunluğunu artırmak amacıyla sıkıştırılarak(CNG 21°C'de 200-250 bar basınçta sıkıştırılmış gaz), sıvılaştırılarak(LNG - 160°C'de düşük sıcaklıkta sıvı) veya emdirilerek depolanmaktadır(ANG absorbe edilmiş, 21°C'de 35 bar basınçta sıkıştırılmış gaz). En çok uygulanan yöntem, sıkıştırmadır.

2.3.2. Dikişsiz Tankların Üretim Standardı

Dikişsiz tankların üretiminde TS EN ISO 11439 numaralı *Gaz Tüpleri – Yüksek Basınçlı – Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Kullanılan Doğal Gazın Depolanması İçin* isimli TSE standardı uygulanmaktadır. Bu standardın kapsamı tüplerin yerleştirileceği otomobiller için yakıt olarak kullanılan yüksek basınçlı sıkıştırılmış doğalgazın sadece araçta depolanması için öngörülen, seri olarak üretilen yeniden doldurulabilen hafif gaz tüpleri için en düşük özellikleri kapsar. Kullanım şartları, taşıt çarpışmaları vb. sebeplerden kaynaklanabilecek dış yükleri kapsamaz.

Belirli kullanım şartları için uygun olan herhangi bir üretim metodu veya tasarım kullanılarak üretilen, her hangi bir çelikten, alüminyumdan ya da metal olmayan malzemedan yapılmış tüpler standart kapsamına alınmıştır fakat ilgili standartta paslanmaz çelikten yapılmış veya kaynaklı yapılmış olan tüpler kapsam dışında bırakılmıştır.

Tüplerin üretiminde temel olarak dört tip uygulanmaktadır. Standardın içeriğinde de bu dört tip yer almaktadır. Bunlar;

CNG – 1 Metal

CNG – 2 Reçine emdirilmiş sürekli elyaf ile güçlendirilmiş metal astarlı tip (çember sarımlı)

CNG – 3 Reçine emdirilmiş sürekli elyaf ile güçlendirilmiş metal astar sarımlı tip (tamamen sarımlı)

CNG – 4 Metal olmayan astarlı reçine emdirilmiş sürekli elyaf kaplı tip (tamamen kompozit)

Şeklinde sınıflandırılmışlardır.

Tez konusu yüksek basınç tankları, bu sınıflandırmanın içerisinde sayılan **CNG – 1** tipidir. Ayrıca standart içeriğinde diğer bazı standartlara da atıf yapılarak ISO 9809-1, ISO 9809-2, ISO 9809-3, ve ISO 7866 standartlarına uygun olarak tasarılan tüpler, ilave olarak ilgili standardın içeriğinde belirtilen ek özellikleri sağlamaları şartıyla aynı kapsamda kullanılabilir.

• **Standart içerisinde CNG – 1 tipi tüpler için istenen özellikler**

- Çelik tüpler için; içeriğinde bulunan elementlerin miktarı ve kimyasal analizleri ile belirli mukavemet değerine göre malzeme içerisinde bulunabilecek elementlerin azami değerleri.

- Alüminyum tüpler için; içeriğinde bulunan kurşun ve bizmut miktarı yüzdelik olarak aşmaması gereken azami değeri.
- Tasarım özelliklerinden; deney basıncı, patlama basıncı, gerilme analizi, en büyük hasar boyutu, açılışlar (doldurma ağzı), yangından koruma, ilaveler (bağlantı tipi, boyun halkası) konuları hakkında detay bilgileri.
- Yapılış ve işçilik işlemlerinden; uç kapatma, ısıl işlem, boyun vida dişleri, dış çevre koruması, ilk örnek denemeleri, tasarımın değiştirilmesi hakkında detay bilgileri.
- Parti deneylerinde; genel özellikler, deney programı, konularında bilgiler.
- Her bir tüp üzerindeki deneyler.
- Parti kabul belgesi
- Deney şartlarını yerine getirmede başarısızlık,

ana başlıkları altında CNG – 1 tipi tüpler için gereken özellikler ve deneyler açıklanmıştır. Ayrıca standardın eklerinde ilgili testlerin kapsamı ve ne şekilde uygulanacağı da belirtilmiştir.

Bu başlıkların altındaki detaylar standardın açıkça yazılması anlamı taşıyacağından tez çalışmasında değinilmemiştir, fakat tasarım aşamasında uyulan bütün kriterler standartta belirtilen kriterler olacaktır. Standardın izin verdiği değerler veya uygulanması gereken deneylerden tez çalışması içeriğinde bulunanlar, konusu geçtiğinde açıklanarak bilgilendirme yapılmıştır.

2.3.3. Teorik Hesaplar ve Tasarım Kriterleri

Tez çalışmasında üzerinde durulan asıl konu yüksek basınca dayanıklı tankların dikişsiz imalatı için gereken ölçülerin tespitidir. Şöyle ki tankın tasarımı ve bu tasarımda belirlenen asgari ölçülerin imalat sonrasında yapılması gereken testleri karşılayıp karşılamayacağını teorik hesaplamalarla ve bilgisayar yardımıyla analiz programlarında hesaplayarak çıkan sonuçları karşılaştırarak doğru cidar kalınlığını tespit etmektir.

Teorik hesaplamalarda öncelikle hangi tasarım kriterlerini göz önünde bulundurmak gerektiğini maddeler halinde belirtirsek;

- Gerilme analizi;

Tüp içindeki gerilmeler, çalışma basıncı olan 200bar için, deney basıncı ve patlama basıncı için hesaplanmalıdır. Hesaplamalarda en düşük et kalınlığını belirleyecek gerilme dağılımları tespit edilerek bulunan et kalınlığı doğrulanmalıdır.

- Deney basıncı;

Çalışma basıncının 1,5 katı olacak şekilde belirlenen 300bar'a karşılık gelen en düşük deney basıncıdır.

- Patlama basıncı;

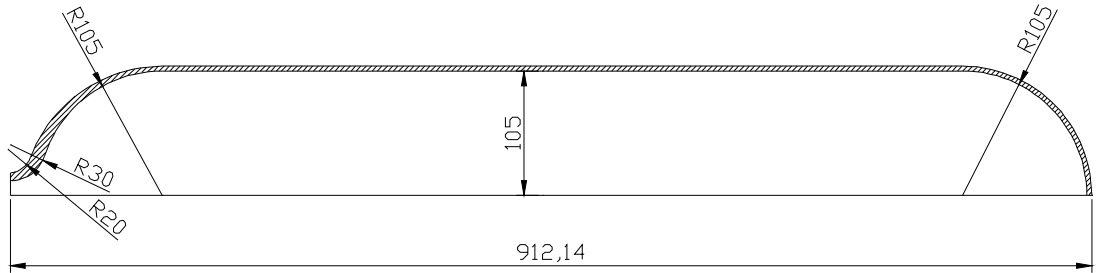
Deney basıncının 1.5 katı olacak şekilde belirlenen 450bar dan düşük olmayacak bir patlama basıncı kabul edilmiştir.

Tüpler imalat aşamasında hem metal işleme masraflarını düşürme açısından hem de malzemenin uygulanan işlemlere karşılık yırtılmadan son şekline gelmesi açısından işlem kademeleri arasında tavlama işlemine tabi tutulmaktadır. Malzeme ilk işleme alındığında özellik olarak yumuşak ve

sünek olmasına karşılık uç kapama işleminden sonra kullanım sırasında dayanıklılık göstereceği ve standartta belirtilen testlere karşılık verebileceği sertliğe ısıtma işlemi ile getirilmelidir. Isıtma işlemi yapılırken kısmi olarak uygulanmamasına ve tüm malzemenin eşit şekilde ısıtma işlemine tabi tutulmasına dikkat edilmelidir.

- Tasarım aşamasında yapılan hesaplamalar

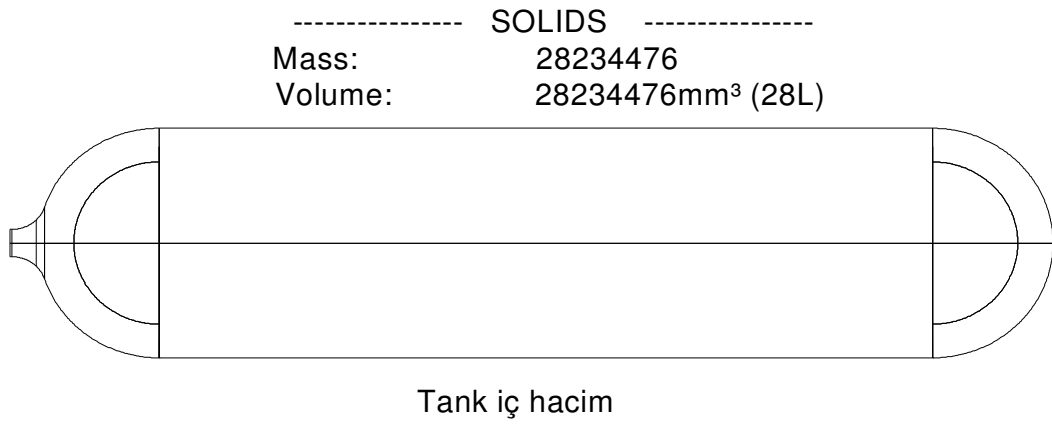
Tasarım aşamasında öncelikle tasarımı yapılacak tankın litresi belirlenmelidir. Litresi belirlenen tank için kullanılacak yere göre geometri tasarımı yapılmalıdır. Kullanım açısından dış ölçülere ve depolanacak maddenin hacmine göre kararlaştırılan tank bu tez çalışması için 28litredir.



Şekil 2.11. Tasarımı yapılacak tankın geometrisi

Yukarıda verilen geometriden yola çıkılarak yaklaşık bir iç çap tayin edilmelidir (geometrisi belirli tankın kullanım alanına göre dış ölçüleri ortaya çıkacağından yaklaşık bir cidar kalınlığı verilerek iç çap elde edilebilir, bu noktada 5-10mm aralığında kaba bir tolerans ile cidar kalınlığı tayin edilebilir. Sonrasında da iç çap derin çekme işlemindeki zımba çapını oluşturacağı göz önünde bulundurularak kusursuz olarak belirlenir). İç çap tayin edildikten

sonra tekrar kontrol etmek amacıyla çizim programında tam geometri çizilerek iç hacim hesaplanır(Şekil 2.12.). Eksik veya fazla gelen hacim; geometride değişiklik yapılmadan kullanım alanının izin verdiği ölçüde uzunluk değerinde yapılacak uzatma ve kısaltma ile giderilir. Yukarıda verilen çizimden anlaşıldığı gibi bu tez çalışmasında iç çap olarak 210mm hesaplamalarda kullanılacaktır.



Şekil 2.12. Tankın çizim ekranından alınmış iç hacim değerleri

İç hacmine göre belirlenen, geometrisi oluşmuş tank için belirlenen iç çap (210mm) değerine göre teorik hesaplamalar yapılarak cidar kalınlığı tespit edilir.

Kullanılacak malzemenin plastik şekillendirme sırasındaki ve son mamul haldeki mekanik özellikleri aşağıda Çizelge 2.8. de verilmiştir. Bütün tasarım hesaplarında ve bilgisayar ortamındaki analizlerde bu tablodaki verilerden yararlanılacaktır.

Çizelge 2.8. 34CrMo4 malzemesinin çekme deneyi verileri

	Sertlik	Akma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Elastisite modülü	$n=\epsilon_u$ (grafikten okunan)	k (grafikten hesaplanan)
Isıl işlemsiz 34CrMo4 özellikleri	200HB	427,2N/mm ²	738N/mm ²	192,8kN/mm ²	0,11582	1026,89
Son sertleştirme yapılmış 34CrMo4 özellikleri	290HB	756,3N/mm ²	915,5N/mm ²	257,3kN/mm ²	0,07331	650

• **Standartta belirtilen basınç değerleri için cidar kalınlığı hesapları.**

Kesit geometrisi oluşturulan tank için iç çap kullanılarak cidar kalınlığı hesaplamaları yapılır. Hesaplamalar yapılırken standartta belirtildiği gibi çalışma basıncına göre test basıncına göre ve patlatma basıncına göre cidar kalınlıkları ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Hesaplamalarda kullanılacak simgeler ve açıklamaları;

$P_{20}=20$ Mpa (200bar basınca karşılık gelen iç basınç değeri)

$P_{30}=30$ Mpa (300bar basınca karşılık gelen iç basınç değeri)

$P_{45}=45$ Mpa (450bar basınca karşılık gelen iç basınç değeri)

$\sigma_{akma}=756,3$ Mpa (Çekme deneyinden alınan akma mukavemet değeri)

$\sigma_{çekme}=915,5$ Mpa (Çekme deneyinden alınan akma mukavemet değeri)

$\bar{\sigma} = n * \sigma_{akma, çekme}$ (Efektif olarak gerilme değeri)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 = ?$ (Eksenlerdeki asal gerilmeler)

$r_{iç}=105$ mm (Tasarımda belirlenen tank çapına karşılık gelen iç çap değeri)

$t_{20}=?$ (200bar basınca karşılık hesaplanacak cidar kalınlığı değeri)

$t_{30}=?$ (300bar basınca karşılık hesaplanacak cidar kalınlığı değeri)

$t_{450}=?$ (450bar basınca karşılık hesaplanacak cidar kalınlığı değeri)

Hesaplamlarda kullanılacak formüller;

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \text{ (Efektif gerilme)}$$

$$\sigma_1 = \frac{P_{20,30,45} * r_{iç}}{t_{20,30,45}} \text{ (Tank cidarına teğetsel yönde etki eden asal gerilme)}$$

$$\sigma_2 = \frac{P_{20,30,45} * r_{iç}}{2 * t_{20,30,45}} \text{ (Tank cidarına aksenal yönde etki eden asal gerilme)}$$

- 200bar basınç değeri için cidar kalınlığı hesabı

Asal gerilme formüllerinden;

$$\sigma_1 = \frac{P_{20} * r_{iç}}{t_{20}} \text{ ve } \sigma_2 = \frac{P_{20} * r_{iç}}{2 * t_{20}} \text{ ise } \sigma_1 = 2\sigma_2 \text{ olur.}$$

σ_3 değeri cidar kalınlığının ince cidarlı veya kalın cidarlı olmasına göre değerlendirilmektedir.

$r_{iç} / t_{20,30,45} > 10$ bağıntısı sağlanmayan bir cidar kalınlığı bulunursa işlemler kalın cidarlı olarak tekrarlanmalıdır. Hesaplamlar ince cidarlı olarak başlatılacağından $\sigma_3 = 0$ olarak alınacaktır.

Efektif gerilme denkleminde yukarıdaki bağıntılardan elde edilen asal gerilme karşılıklarını koyacak olursak;

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(2\sigma_2 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - 0)^2 + (0 - 2\sigma_2)^2 \right]^{1/2}$$

denklemini ortaya çıkacaktır. Bu denklem çözümlenirse;

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{6} * \sigma_2 \Rightarrow \bar{\sigma} = 1,732\sigma_2 \text{ sonucu ortaya çıkacaktır.}$$

Bu denklemde efektif gerilme değerini güvenlik faktörünü hesaba katmadan σ_{akma} değerine eşitleyerek asal gerilmeleri hesaplayabiliriz.

$$756,3 = 1,732\sigma_2 \Rightarrow \sigma_2 = 436,66Mpa$$

Bulunan bu asal gerilmeden de 200bar için cidar kalınlığını aşağıdaki bağıntıdan elde edebiliriz;

$$\sigma_2 = \frac{P_{20} * r_{iç}}{2 * t_{20}} \Rightarrow 436,66Mpa = \frac{20Mpa * 105mm}{2 * t_{20}} \text{ ve}$$

$$t_{20} = \frac{20Mpa * 105mm}{2 * 436,66Mpa} \text{ denklemini hesaplanırsa } t_{20} = \mathbf{2,4mm} \text{ olarak bulunur.}$$

- **300bar basınç değeri için cidar kalınlığı hesabı**

200bar için yapılan hesaplama adımları aşağıdaki bağıntıya kadar değişiklik göstermeyecektir.

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{6} * \sigma_2 \Rightarrow \bar{\sigma} = 1,732\sigma_2$$

$$756,3 = 1,732\sigma_2 \Rightarrow \sigma_2 = 436,66Mpa$$

Bulunan bu asal gerilmeden de 200bar için yapılan işlemler 300bar için tekrarlanırsa;

$$\sigma_2 = \frac{P_{30} * r_{iç}}{2 * t_{30}} \Rightarrow 436,66Mpa = \frac{30Mpa * 105mm}{2 * t_{30}} \text{ sonucu çıkar ve}$$

$$t_{30} = \frac{30Mpa * 105mm}{2 * 436,66Mpa} \text{ denklemini hesaplanırsa } t_{30} = \mathbf{3,61mm} \text{ olarak bulunur.}$$

- **450 bar patlatma basıncı için cidar kalınlığı hesabı**

Bu basınç değeri standartta belirtilen asgari patlatma basıncı değeridir. İç basınca maruz tank bu basınca kadar deforme olmamalıdır. Tank cidarlarının deforme olmaya başlaması için efektif gerilme değerinin malzemenin çekme değerinden yüksek olması gerekmektedir. Bu şartlara göre yukarıda 200 bar ve 300 bar için yapılan işlemler aşağıdaki bağıntıya kadar aynen tekrarlanır;

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{6} * \sigma_2 \Rightarrow \bar{\sigma} = 1,732\sigma_2 \text{ ve}$$

$$915,5 = 1,732\sigma_2 \Rightarrow \sigma_2 = 528,58Mpa \text{ sonucu çıkar.}$$

Bulunan bu asal gerilmeden de 450 bar için cidar kalınlığını aşağıdaki bağıntıdan elde edebiliriz;

$$\sigma_2 = \frac{P_{45} * r_{iç}}{2 * t_{45}} \Rightarrow 528,58Mpa = \frac{45Mpa * 105mm}{2 * t_{45}} \text{ ve}$$

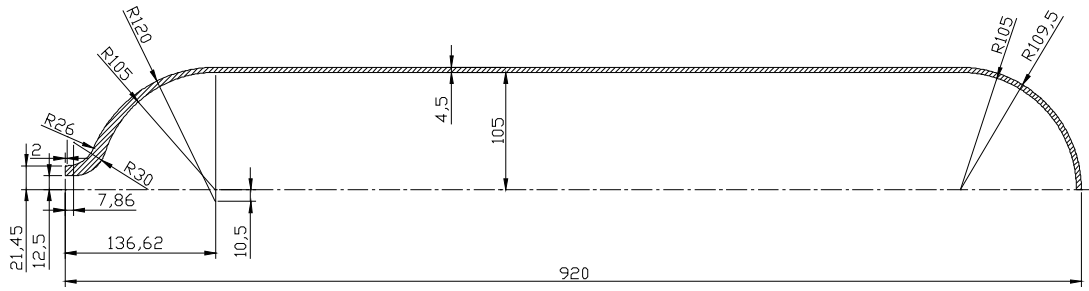
$$t_{45} = \frac{45Mpa * 105mm}{2 * 528,58Mpa}$$

denklemini hesaplanırsa **$t_{45}=4,47mm$** olarak bulunur.

Hesaplanan cidar kalınlıkları kıyaslandığında tasarımın standartlara uygun olması için cidar kalınlığının en az **4,47mm** olması gerekmektedir. Bu hesaplamalar yapılırken, standartta istenilen değerlerin karşılanması güvenlik faktörünün %50 olarak kabul edilmesiyle oluşturulan basınç değerlerinin karşılanması anlamına geleceğinden ayrıca bir güvenlik faktörü devreye girmemiştir.

Sonuç olarak **4,5mm** cidar kalınlığı üretimi tamamlanmış tank için standartta istenilen şartı sağlayacaktır.

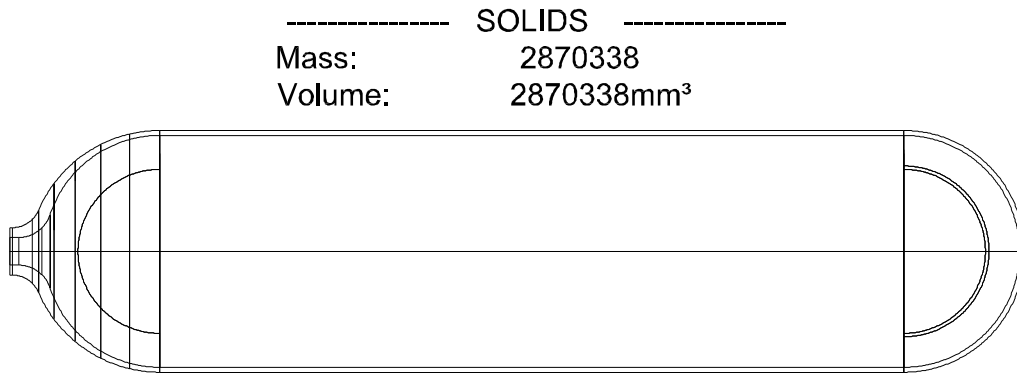
Cidar kalınlığı tespit edilen tankın üretim hattına girecek olan levha boyutunu hesaplamak gerekir. Bunun için çizim programında cidar kalınlığı belli olmayan (kaba toleranslı) geometri üzerinde düzeltmeler yapılarak bulunan cidar kalınlığına göre gerçek ölçülerde çizim oluşturulur.



Tank cidarı ve geometrik çizim ölçüleri

Şekil 2.13. Cidar kalınlığı ve gerçek ölçüleri belirlenmiş kesit çizimi

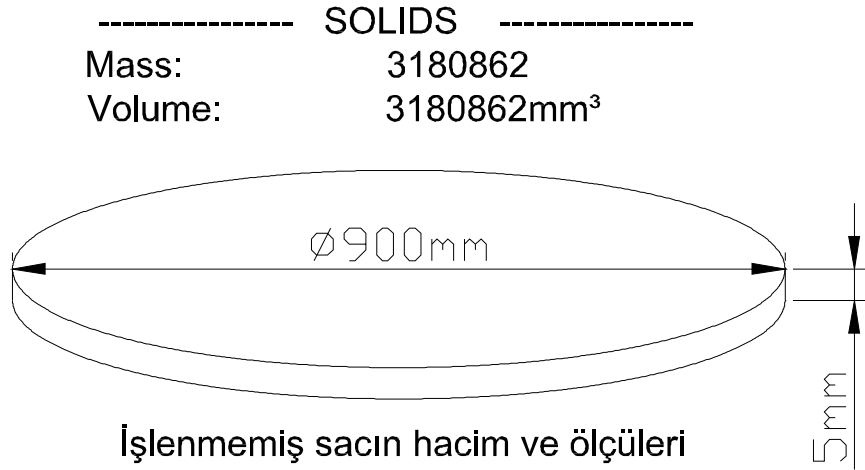
Bu çizim neticesinde tankın gerçek ölçülerde katı modeli oluşturulabilir.



Tank dış hacim

Şekil 2.14. Çizim ekranından alınmış tank katı modelinin hacim değeri

Oluşturulan katı model üzerinden hacim ölçümü yapılarak malzemenin plastik şekillendirmede hacim değişikliğine uğramayacağı ilkesine göre şekillenmemiş sac levhanın hacmine ulaşılabilir. Sac levha hacmi hesaplanırken üretim sırasında %10'luk bir fire ve aynı şekilde %10'luk bir cidar incelme toleransı verilmelidir. Derin çekme işleminde cidar incelmesi olmadığı kabul edilir fakat üretim sırasında oluşacak kalıp bozulmaları ve malzemenin içyapı özelliklerindeki düzensizlik bu toleransı vermeyi gerektirir. 4,5mm cidar kalınlığı için yaklaşık %10'luk tolerans ile 5mm sac kalınlığı uygun olacaktır.



Şekil 2.15. Sac levhanın üç boyutlu çizimi ölçülendirmesi ve hacim değeri

5mm kalınlığında 900mm çapında sac levha, hacim olarak üretimi yapılacak tankın malzeme hacminin yaklaşık %10 fazlasına karşılık gelmektedir.

- **Derin Çekme Hesaplamaları**

Derin çekme işleminde önceki konularda kapsamlı şekilde değinildiği üzere bir kademelendirme sayısı bulunmaktadır. Derin çekme kademelendirmesi için işlenmemiş sac çapı başlangıç değeri olarak alınır. Yapılacak olan derin çekme işlemi pot çemberi yardımı ile yapılacaktır. Sac kalınlığı 2mm den büyük çelik malzemeler için Çizelge 2.4.'te verilen **m** değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda çıkan derin çekme kademeleri aşağıdaki verilmiştir.

$d_1 = m_1 * D \Rightarrow d_1 = 0,56 * 900$ işleminden $d_1 = 504mm$ bulunur düzeltme yapılırsa $d_1 = 510mm$ olarak belirlenir.

Aynı şekilde diğer çekme kademeleri de sırasıyla takip edilirse;

$d_2 = m_2 * d_1 \Rightarrow d_2 = 0,83 * 510$ işleminden $d_2 = 423,3mm$ bulunur. Düzeltme ile

$d_2 = 425mm$

$d_3 = m_3 * d_2 \Rightarrow d_3 = 0,83 * 425$ işleminden $d_3 = 352,75mm$ bulunur. Düzeltme ile

$d_3 = 355mm$

$d_4 = m_4 * d_3 \Rightarrow d_4 = 0,83 * 355$ işleminden $d_4 = 294,65mm$ bulunur. Düzeltme ile

$d_4 = 295mm$

$d_5 = m_5 * d_4 \Rightarrow d_5 = 0,83 * 295$ işleminden $d_5 = 244,85mm$ bulunur. Düzeltme ile

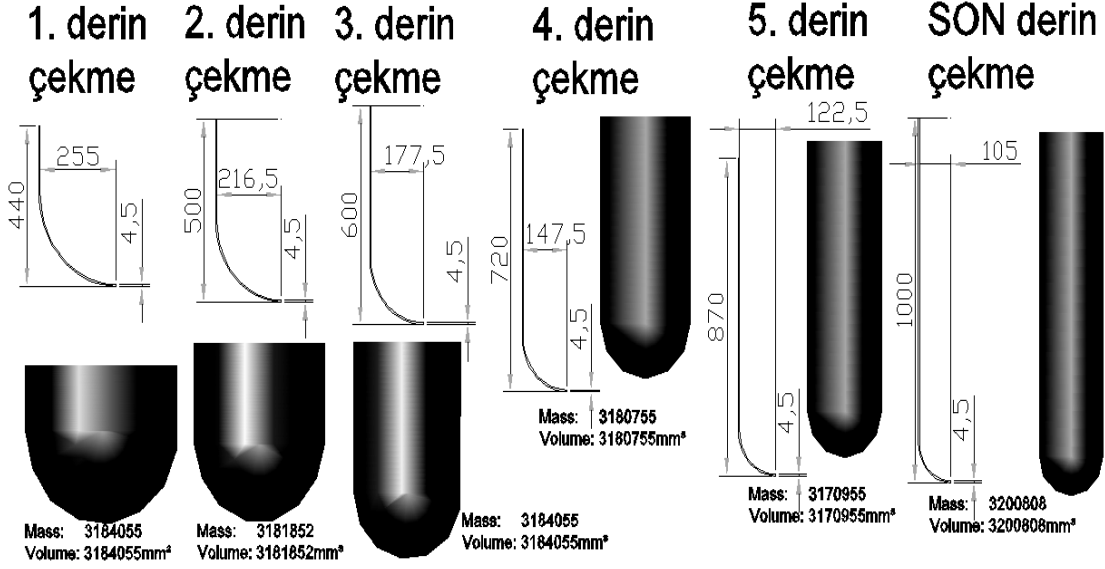
$d_4 = 245mm$

$d_{son} = m_{son} * d_5 \Rightarrow d_{son} = 0,83 * 245$ işleminden $d_{son} = 203,35mm$ bulunur. Son derin

çekme işleminde zımba çapı tankın iç çapı olacağından;

$d_{son} = 210mm$ alınarak derin çekme işlemi için zımba çapları belirlenmiş olur.

Derin çekme kademeleri yukarıdaki şekilde belirlenmesinin ardından bu kademeler için çekme boyu hesabı yapılır. Çekme kademelerinin sonunda oluşan ürün boyları çizim programında oluşturulacak katı modellerin hacimlerinin ilk hacme eşitlenmesi ile tespit edilir.



Şekil 2.16. Derin çekme kademelerine göre çekme boylarının tespiti

Katı modellerden hacim eşitlemesi ile belirlenen çekme boyları sırasıyla şu şekildedir.

1. Derin çekme = 440mm
2. Derin çekme = 500mm
3. Derin çekme = 600mm
4. Derin çekme = 720mm
5. Derin çekme = 870mm
- Son derin çekme = 1000mm

Yukarıda çekme işlemlerinde boy tespiti yapılırken sac kalınlığı 5mm olmasına karşılık derin çekme boyunun en fazla miktarının tespiti için bütün kademelerde 4,5mm cidar kalınlığına göre çekme boyları tespit edilmiştir. Boy tespitlerinin belirlenmesinden sonra derin çekme işlemindeki çekme boşluğu, kullanılacak kalıbın ve zımbanın köşe yuvarlama yarıçaplarının tespit işlemine geçilmelidir. Zımba tasarımı tamamıyla yuvarlak olduğundan dolayı herhangi bir işlem yapmaya gerek yoktur. Diğer taraftan çekme boşluğu ve kalıbın köşe yuvarlama yarıçapları aşağıda hesaplanmıştır.

Çelik için çekme boşluğu formülü ile hesaplandığına göre bu formül çekme çapı veya derin çekme kademesine bağlı değildir. Sonuç olarak hesaplanacak çekme boşluğu bütün çekme kademelerinde uygulanacaktır. Formülde verilen e değeri sac kalınlığıdır.

$$w = 5 + 0,07\sqrt{10 * 5} \text{ ise } w = 5,27mm \text{ olarak bulunur.}$$

Çekme kalıbı köşe yuvarlama yarıçapı hesabı;

$$r = 0,8\sqrt{(D - d)e} \text{ formülü ile}$$

1. derin çekme için yuvarlama çapı hesaplanırsa;

$$r = 0,8\sqrt{(900 - 510)5} \Rightarrow r = 35,3mm \text{ olarak tespit edilir.}$$

Burada en az 36mm yarıçap değeri alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

$$r_n = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} \text{ formülünden}$$

diğer derin çekme kademelerindeki yuvarlama çapları hesaplanırsa;

$$r_2 = \frac{d_1 - d_2}{2} \Rightarrow r_2 = \frac{510 - 425}{2} \Rightarrow r_2 = 42,5mm$$

$$r_3 = \frac{d_2 - d_3}{2} \Rightarrow r_3 = \frac{425 - 355}{2} \Rightarrow r_3 = 35mm$$

$$r_4 = \frac{d_3 - d_4}{2} \Rightarrow r_4 = \frac{355 - 295}{2} \Rightarrow r_4 = 30mm$$

$$r_5 = \frac{d_4 - d_5}{2} \Rightarrow r_5 = \frac{295 - 245}{2} \Rightarrow r_5 = 25mm$$

$$r_{son} = \frac{d_5 - d_{son}}{2} \Rightarrow r_{son} = \frac{245 - 210}{2} \Rightarrow r_{son} = 17,5mm$$

Yuvarlama yarıçapları bütün kademeler için bu şekildedir.

Derin çekme işleminde hesaplanması gereken bir diğer kriter ise pot çemberi basıncı ve pres basıncıdır. Basınç hesapları yapılırken çeşitli malzemeler için verilmiş birim başına düşmesi gereken basınç değerlerinden toplam basınç bulunmaktadır. Aşağıda pot çemberi kuvveti ve pres kuvveti hesaplamaları görülmektedir.

$$P_p = \frac{\pi}{4}(D^2 - d_{pot}^2)p \text{ denkleminde}$$

d_{pot} pot çemberinden zımbanın geçeceği delik çapını göstermektedir, bu çap zımba çapına yuvarlama yarı çapları eklenerek bulunur (kısaca formülde pot çemberinin malzeme üzerine baskı yaptığı alanın tespiti yapılmaktadır). Denklemdaki p değerini ise önceki konularda verilen tablodan alarak N/mm^2 birimine dönüştürerek ($1kgf/mm^2 = 0,1N/mm^2$) işleme devam edersek;

$$P_p = \frac{\pi}{4} [(900mm)^2 - (582mm)^2] * 2,5N/mm^2 \text{ formülünden}$$

$$P_p = 925348N \text{ bulunur.}$$

Benzer şekilde pres (çekme) kuvvetini de şu şekilde hesaplarız;

$$P_{çekme} = \pi * d * e * \sigma * a \text{ formüldeki}$$

gerekli sayıları tablodan ve malzeme özelliklerinden alırsak;

$$P_{çekme} = \pi * 510 * 5 * 738 * 1 \text{ formülünden}$$

$P_{çekme} = 5912163N$ bulunur. Sonraki kademeler 5/4 oranında küçültülerek yazılacak olursa;

$$P_{2çekme} = 4729730N$$

$$P_{3çekme} = 3783784N$$

$$P_{4çekme} = 3027027N$$

$$P_{5çekme} = 2421621N$$

$$P_{sonçekme} = 1937297N \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

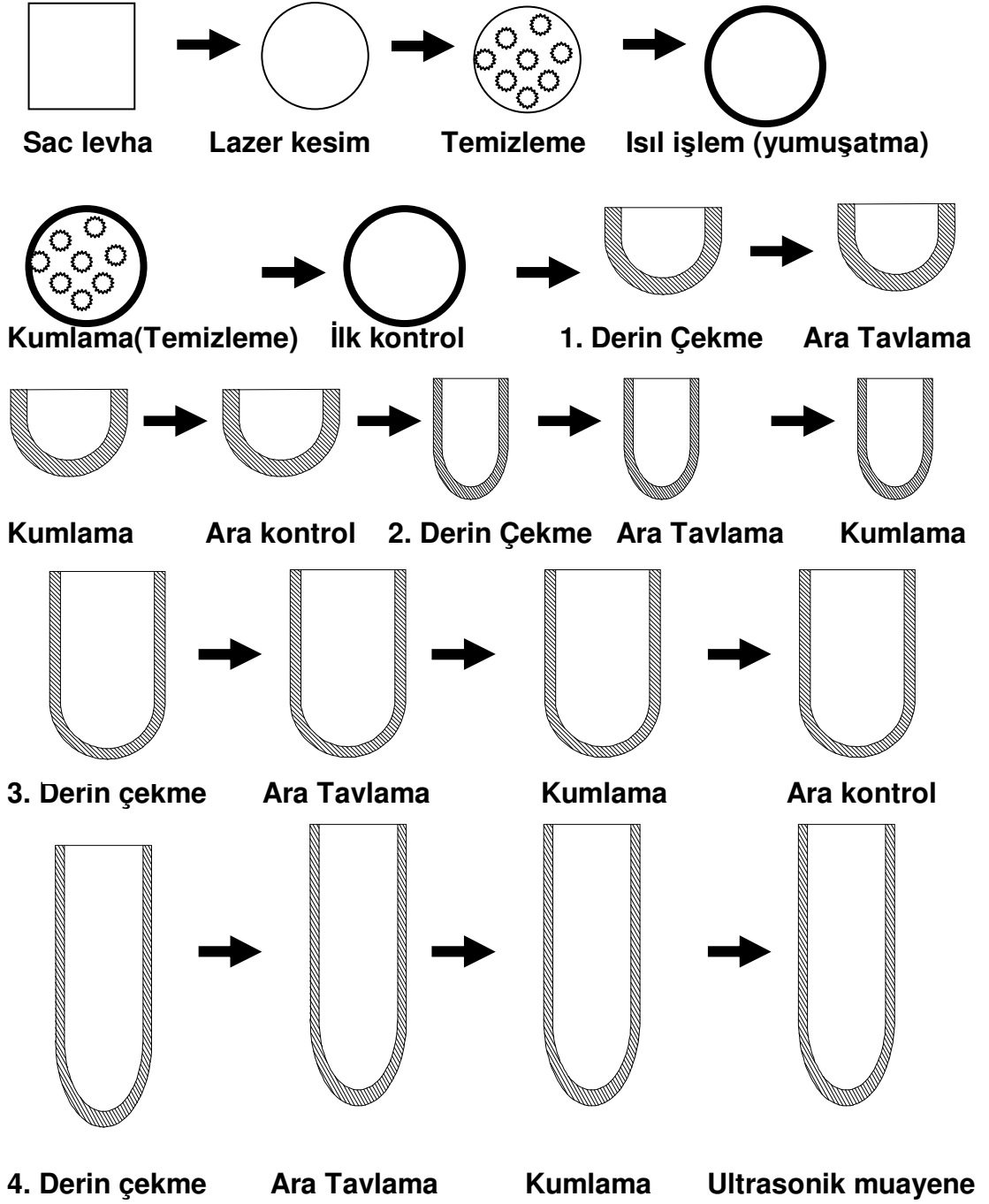
Sonuç olarak yukarıdaki hesaplamalarda bulunan değerler tasarım kriterlerini oluşturmaktadır. Bu kriterler tank üretimi için gerekli tasarımlarda kullanılacaktır. Kalıp tasarımları için bulunan değerler bütün çekme kademeleri için hesaplanmış olsa dahi ilk kademe dışında diğer bütün kademelerde yapılan derin çekme işlemi analiz bakımından aynı işlemlerin tekrarı sayılacağından sadece ilk ve son kademedeki derin çekme modellenerek analizi yapılacaktır. Analiz yapılırken ilk derin çekmede sac kalınlığı 5mm olarak alınarak işlemler yapılacak olmasına karşılık sacın derin çekmede inceldiği varsayılarak son derin çekmede 4,5mm olarak işleme alınacaktır.

2.3.4. İmalat Aşamaları

Tasarımı yapılan tankın pratikte imalatı yapılırken hangi işlemlerden geçtiğini kısaca açıklamak tez çalışmasına katkıda bulunacağı düşünülmüştür.

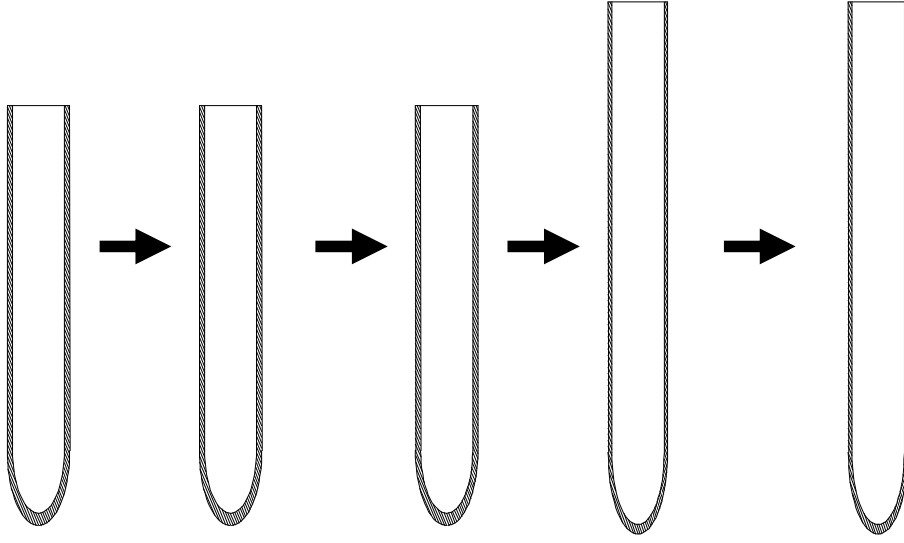
Dikişsiz imalat yönteminin en önemli unsuru önceki konularda detaylı olarak anlatıldığı üzere plastik şekillendirmedir. Plastik şekillendirmede işlemler tek seferde yapılamıyorsa malzemenin fiziksel olarak ikinci veya üçüncü işlemi karşılayabilmesi için i gerilmelerinin alınması önemlidir. Her kademedede malzeme fiziksel olarak ilk özelliklerine getirilemese dahi çok yakın özelliklere getirilmelidir. Bu işlem kademelerin sağlıklı bir şekilde işleyişini sağlayacaktır. Genel olarak kademeler arasında malzemeyi ilk özelliklerine getirmek için **ara tavlama** işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemin ardından malzeme üzerinde oluşan artıklar kumlama işlemi ile temizlendikten sonra malzeme bir sonraki kademe için hazır hale gelmiş olur.

Yukarıda bahsedilen aşamaların üretim hattı içerisinde nasıl bir yol izleyerek uygulandığı basitçe sıralanarak aşağıdaki şekilde verilmiştir.

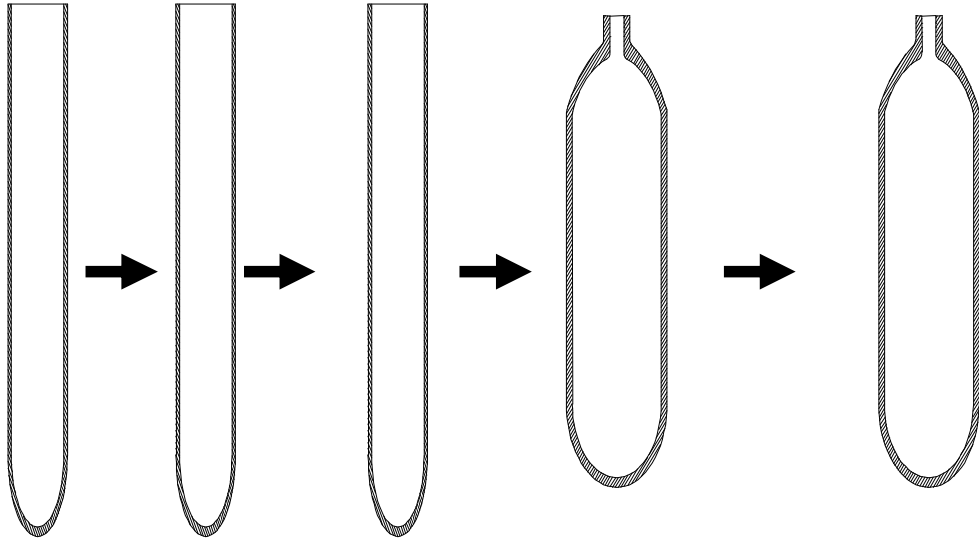


Şekil 2.17. Tank imalatında uygulanan üretim hattı planı

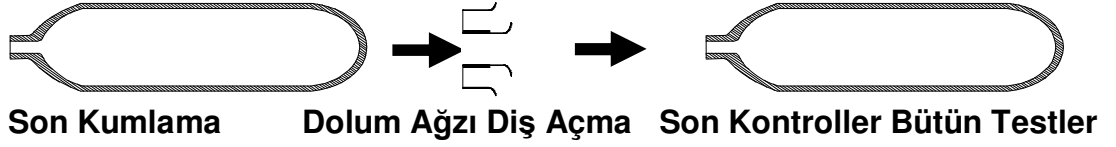
Şekil 2.17. (devam)



5. Derin çekme Ara Tavlama Kuşlama Son Derin Çekme Ara Tavlama



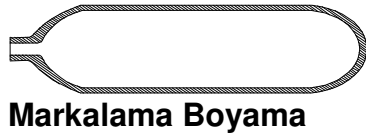
Kuşlama /Son Kontrol /Boy Kesme /Sıvama(Dolum Ağzı) / Son Tavlama



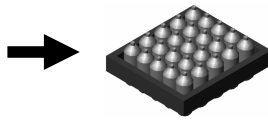
Son Kuşlama

Dolum Ağzı Diş Açma

Son Kontroller Bütün Testler



Markalama Boyama



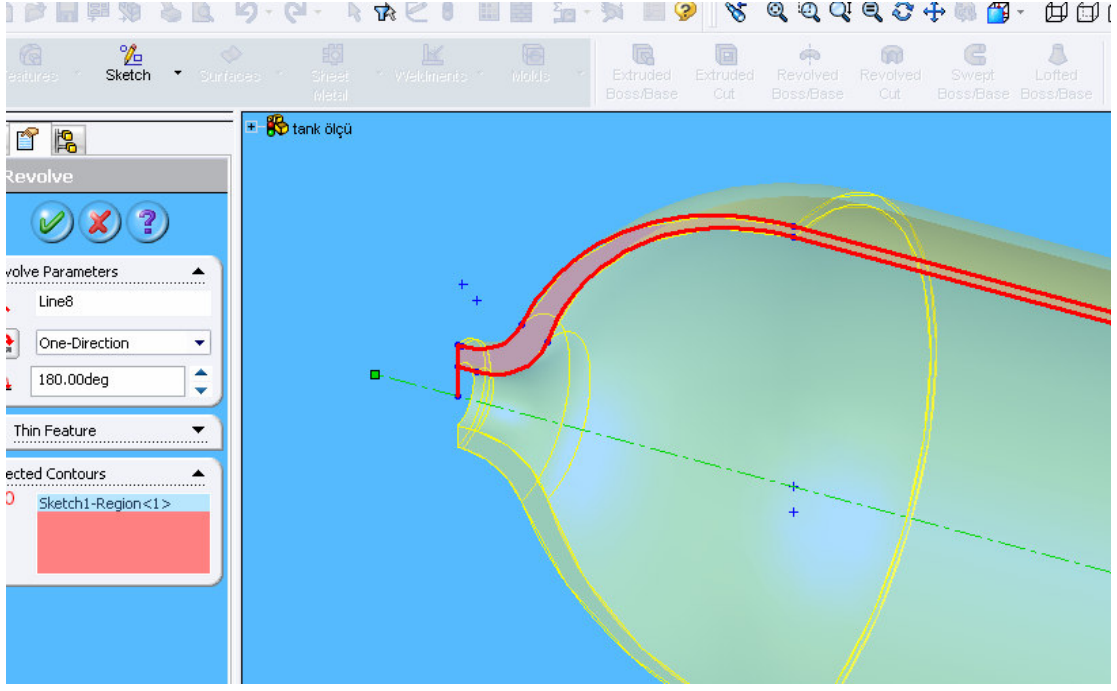
ÜRETİM SONU STOKLAMA.

2.3.5. Bilgisayar Ortamında Modelleme

Tez konusu olan tankın bilgisayar ortamında yapılan çizim ve analizlerinde çeşitli programlardan yararlanılmıştır. Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü bünyesinde araştırma amacıyla bulunan, SolidWorks, ANSYS-LSDYNA, AutoCad gibi programlar bu tez çalışmasındaki çizimlerde ve analizlerde kullanılmıştır.

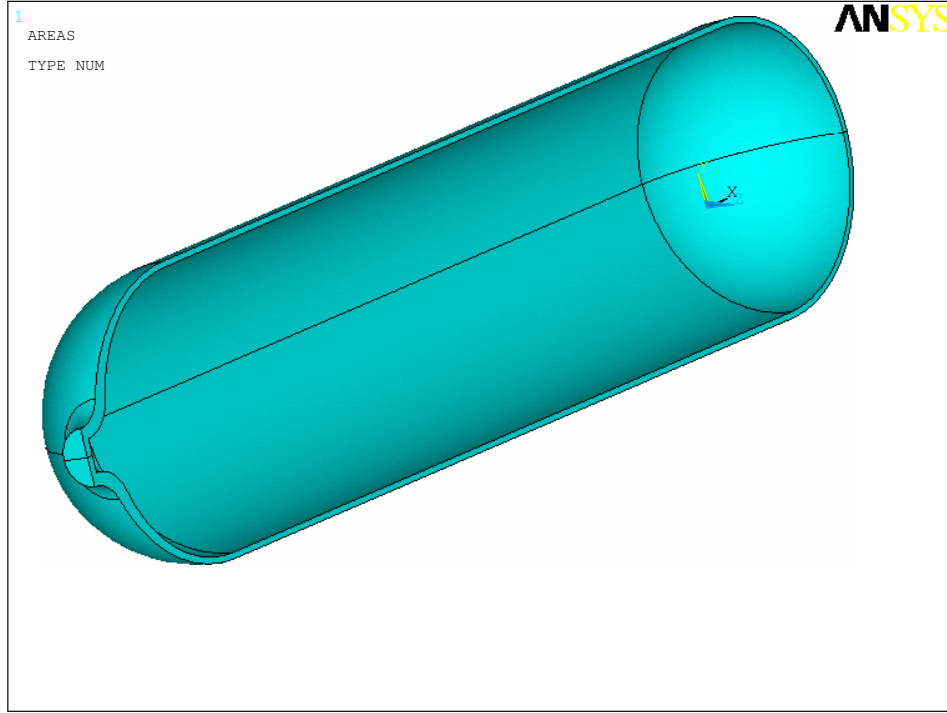
Bilgisayar ortamındaki analizler aşamasında kullanılacak olan çizimler SolidWorks programında oluşturulmuş olup Ansys programına aktarılmıştır. Diğer hacim hesapları v.s. ile ilgili çizimlerde AutoCad programından yararlanılmıştır. Basınç testleri ve analiz sonuçları için AnsysLSDYNA programı kullanılmıştır. Tez kapsamında bu programlarda uygulanan yöntemler ve takip edilen işlem adımları detaylandırılmayacak sadece Ansys programındaki bazı kritik seçimlerden ve ayarlardan bahsedilecektir.

Tasarım ve analiz aşamalarında bazı ekran görüntüleri aşağıda verilmiştir.

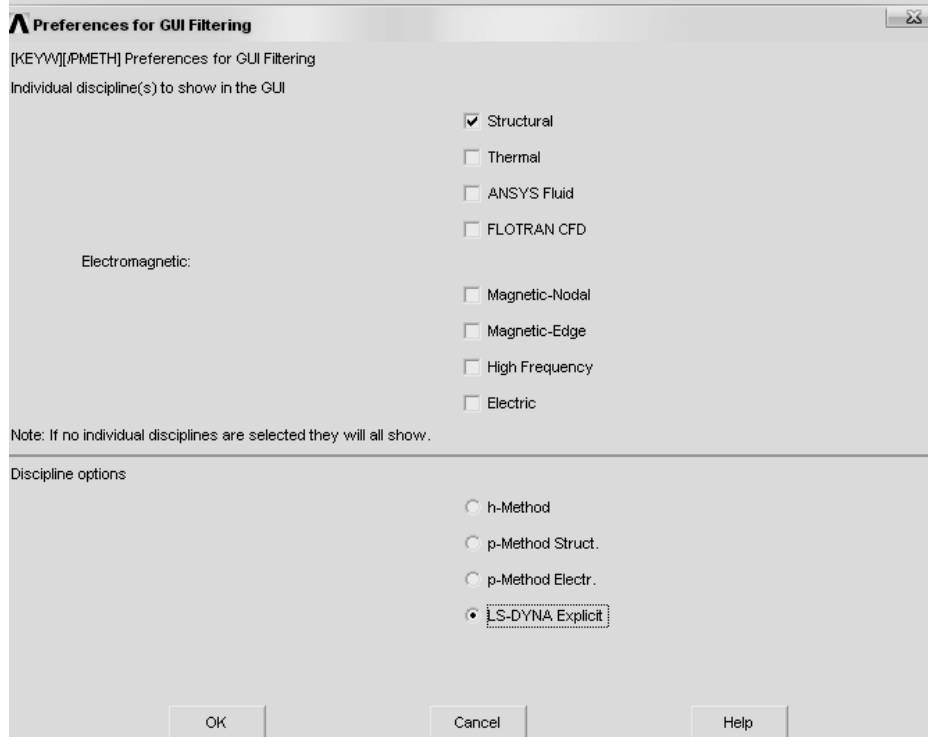


Şekil 2.18. SolidWorks programında katı model oluşturma

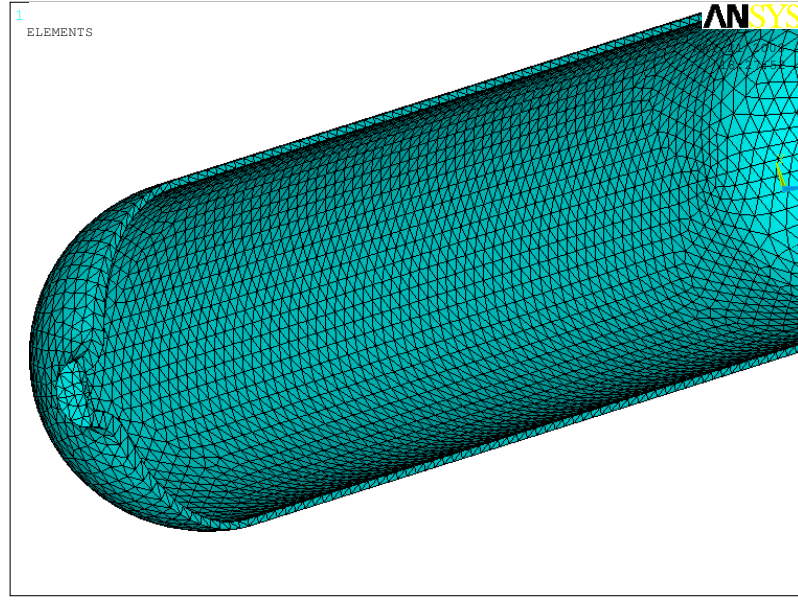
Tank çizimleri oluşturulup analiz programına aktarılacak şekilde kaydedilir. ANSYS programında import komutu kullanılarak çizimi yapılan model ANSYS programına aktarılır.



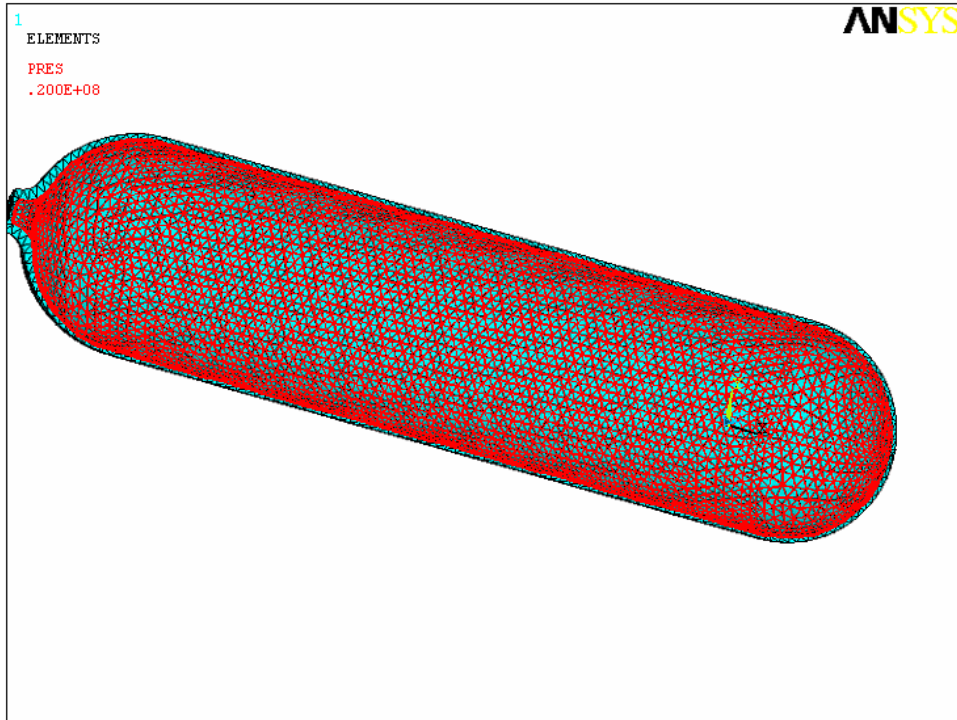
Şekil 2.19. ANSYS'e aktarılmış tank çizimi



Şekil 2.20. Ansys'te analiz tipinin seçim ekranı



Şekil 2.21. Tankın analiz yapılacak elemanlara ayrılmış hali (mesh)



Şekil 2.22. Tank analizi için, tankın iç basınç yüklemeleri yapılmış görüntüsü.

Yukarıda bilgisayar ortamında tank ve kalıplar için yapılan modellemelerden genel anlamda ekran görüntüleri verilmiştir, yapılan analizlerle ilgili sonuçlar ve değerlendirmeler ileriki konularda verilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez alıŐması kapsamında asıl üzerinde durulan konu bilgisayar ortamında yapılacak analizlerdir. Tank tasarımında yapılan teorik hesaplar sürekli olarak tekrarlanabilecek pratik işlemler değildir, bu noktada bilgisayar ortamında yapılacak olan modelleme ve analizler teorik hesaplamalara çok az hata payı ile benzerlik göstermesi benzer uygulamalarda pratiklik kazanılması açısından önem taŐımaktadır.

Bu çalışmada üzerinde durulan hesaplamalar standartta belirtilen i basınç testlerine karşılık gelen hesaplamalardır. Analiz programında bu testlerin yapılması çok karmaŐık olmamasına karşılık malzemenin plastik Şekillendirilmesi iŐlemlerinin bilgisayar ortamında modellenmesinin doğruluğunu destekleyeceği düŐünmesi çok daha karmaŐık olan derin çekme işleminin bilgisayar ortamında analiz edilmesine olanak tanıyacaktır. Bu kapsamda anlatılan aşağıda ekran görüntüleri ile desteklenerek aktarılmıştır.

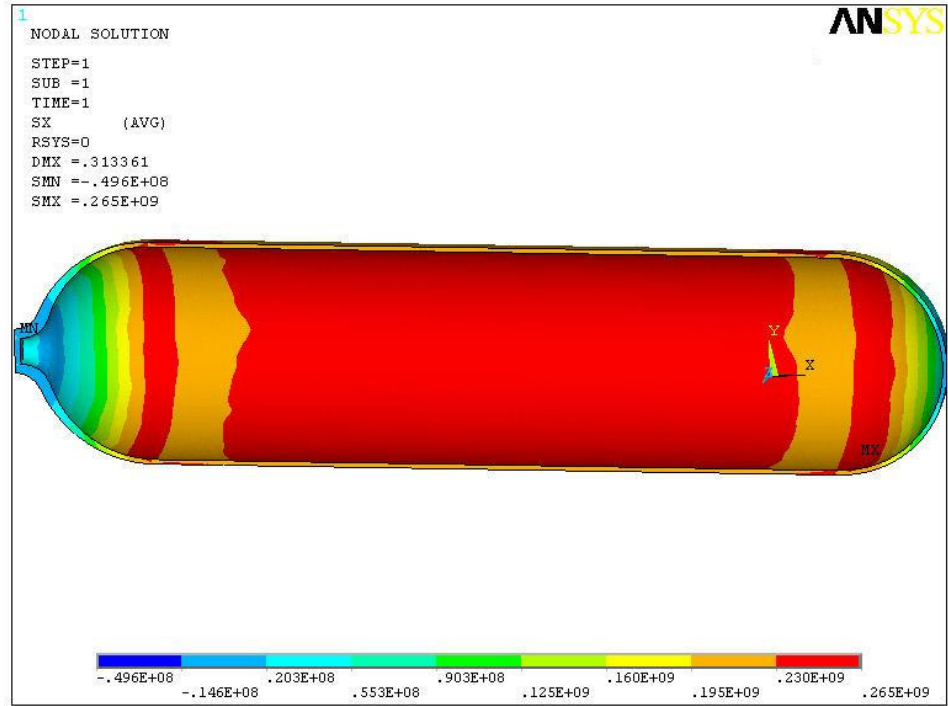
3.1.Bilgisayar Ortamında Tasarım Analizi

Tasarım aşamasında yapılan hesaplamalarla bulunan cidar kalınlıkları standartta belirtilen belirli basınç değerlerine karşılık verebilecek lde tespit edilmiştir. Aynı Şekilde bu hesaplamalara göre bulunan cidar kalınlığında bilgisayar ortamında tank modellenmiŐ ve bu tanka bilgisayar ortamında standart basınç testleri uygulanmıŐtır. Test sonucunda tankta oluşan gerilim ve gerinimler ekrandan alınan görüntülerle verilmiştir. Bu ekran

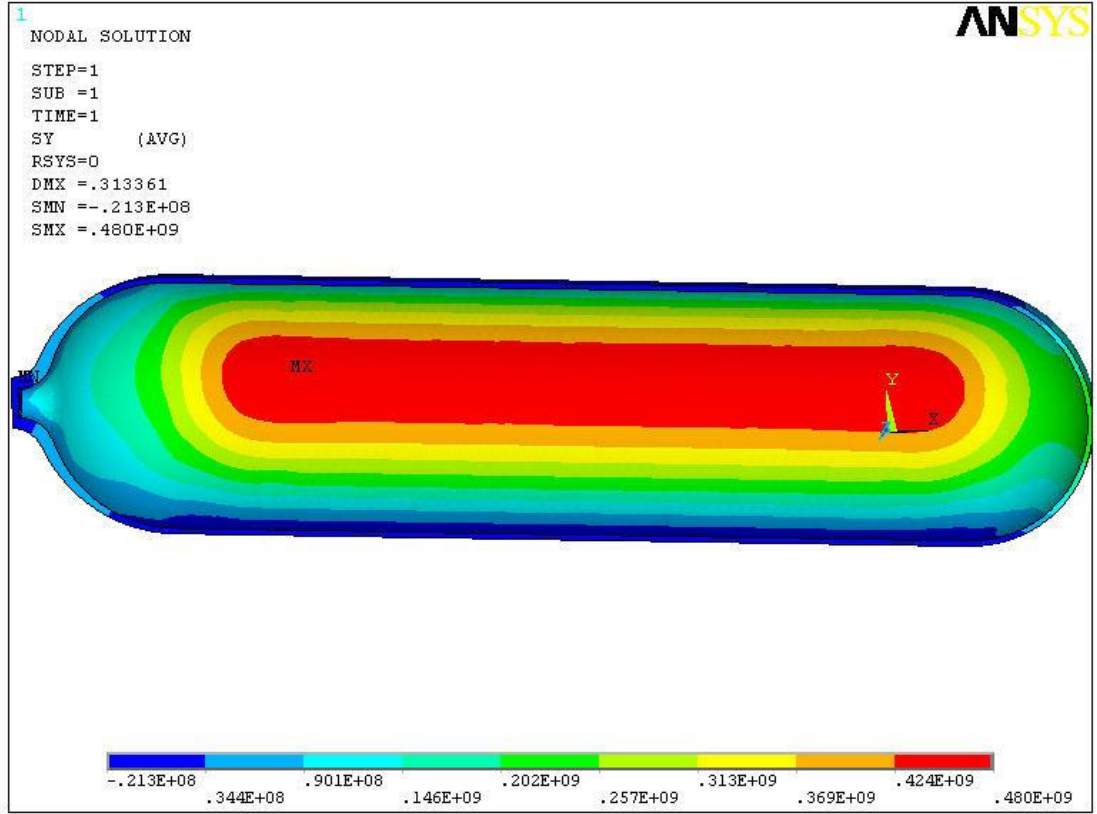
görüntülerinden görülen değerler teorik olarak yapılan hesaplamalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.1.1. Standart Basınç Testleri Analizi

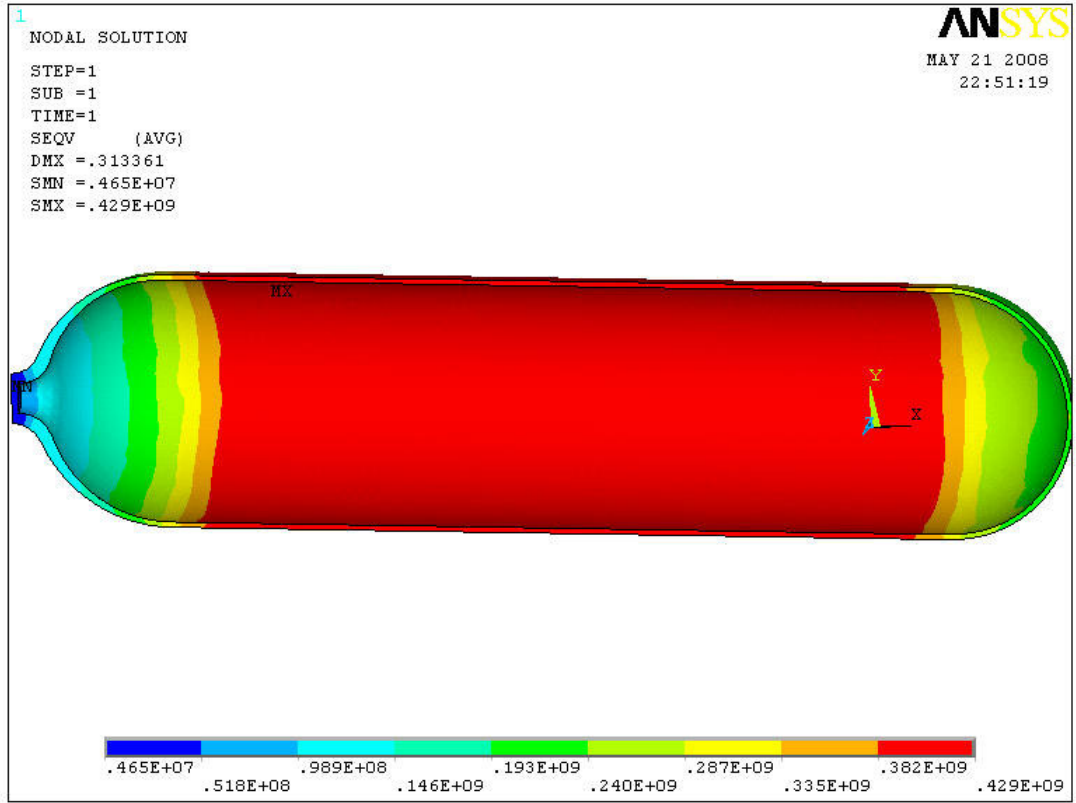
Yukarıda bahsedilen standart basınç testlerinin bilgisayar ortamında yapılarak test sonuçlarının ekran görüntüleri aşağıda verilmiştir.



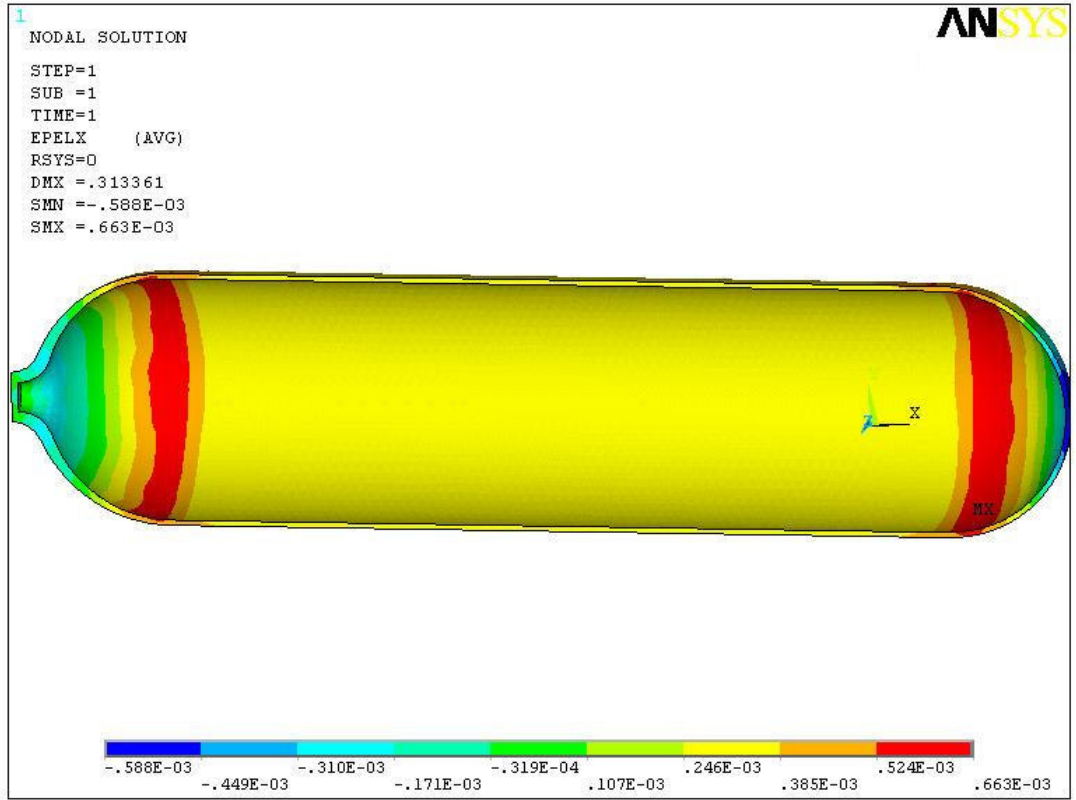
Şekil 3.1. 200 bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerilmeler



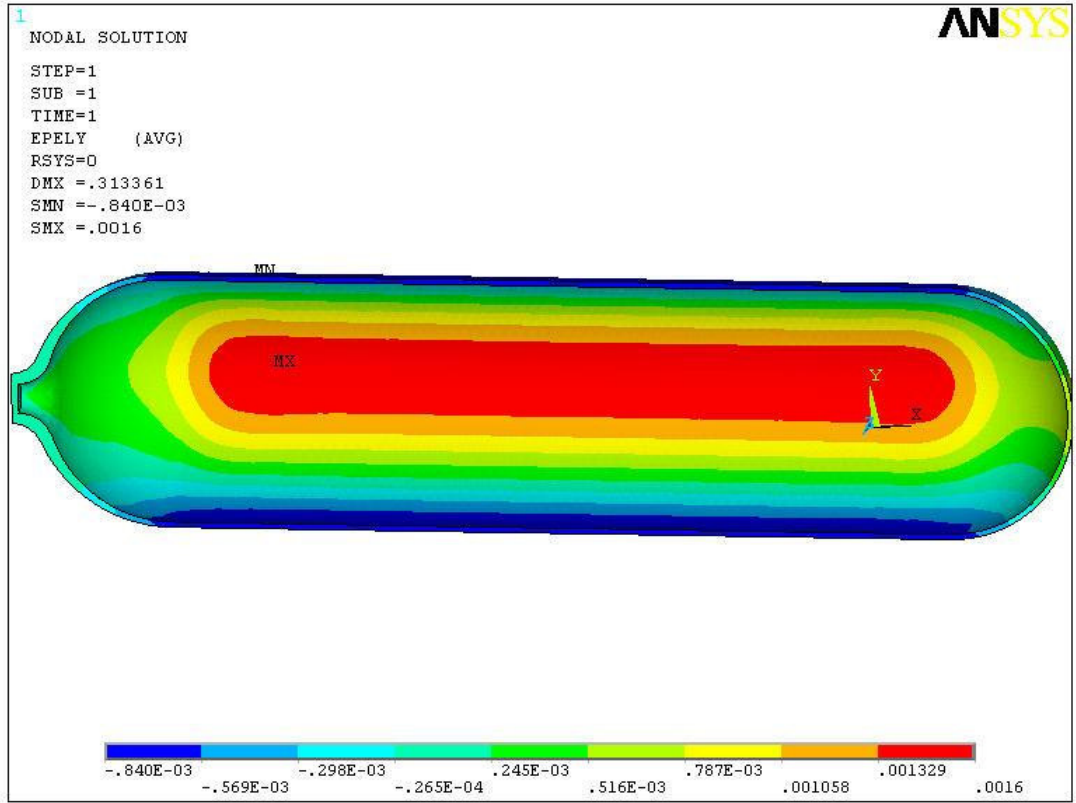
Şekil 3.2. 200 bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerilmeler



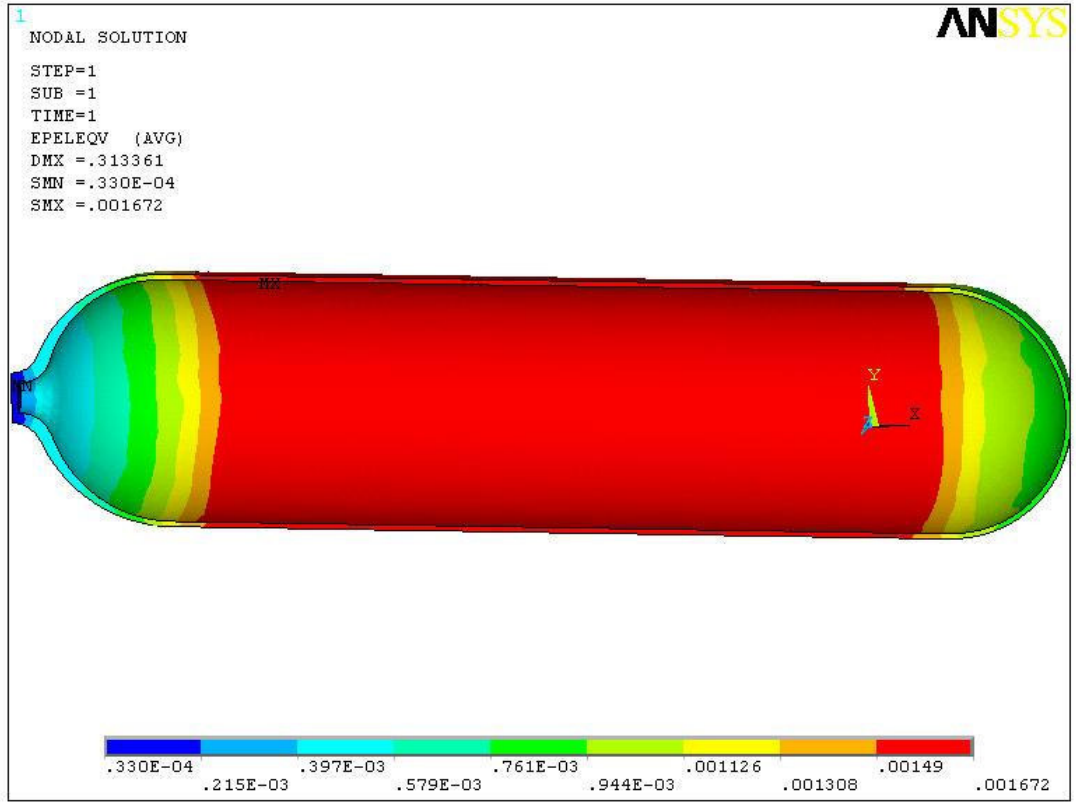
Şekil 3.3. 200 bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerilmeleri



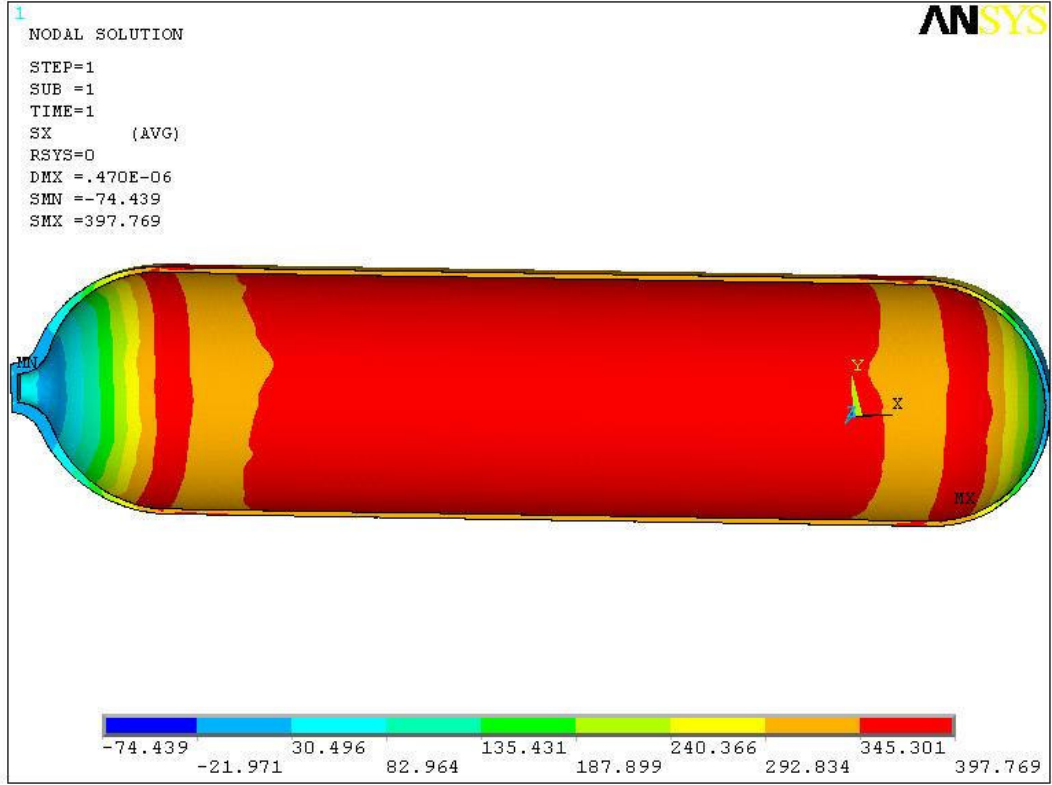
Şekil 3.4. 200 bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerinimler.



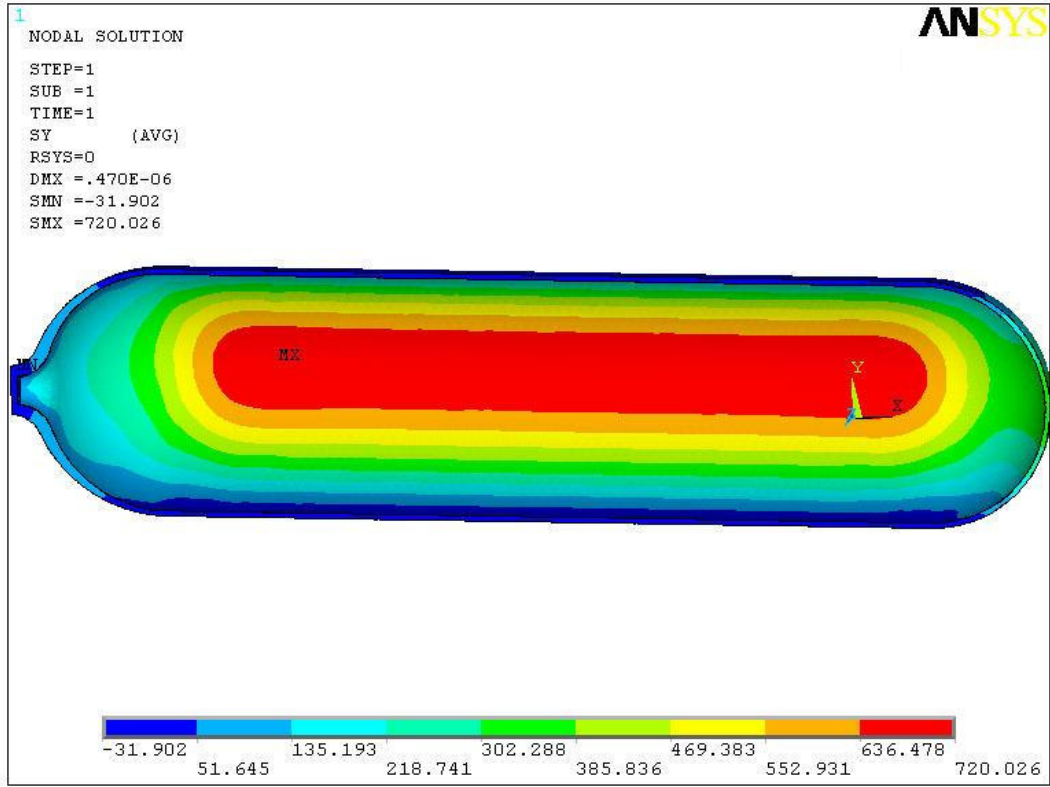
Şekil 3.5. 200 bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerinimler.



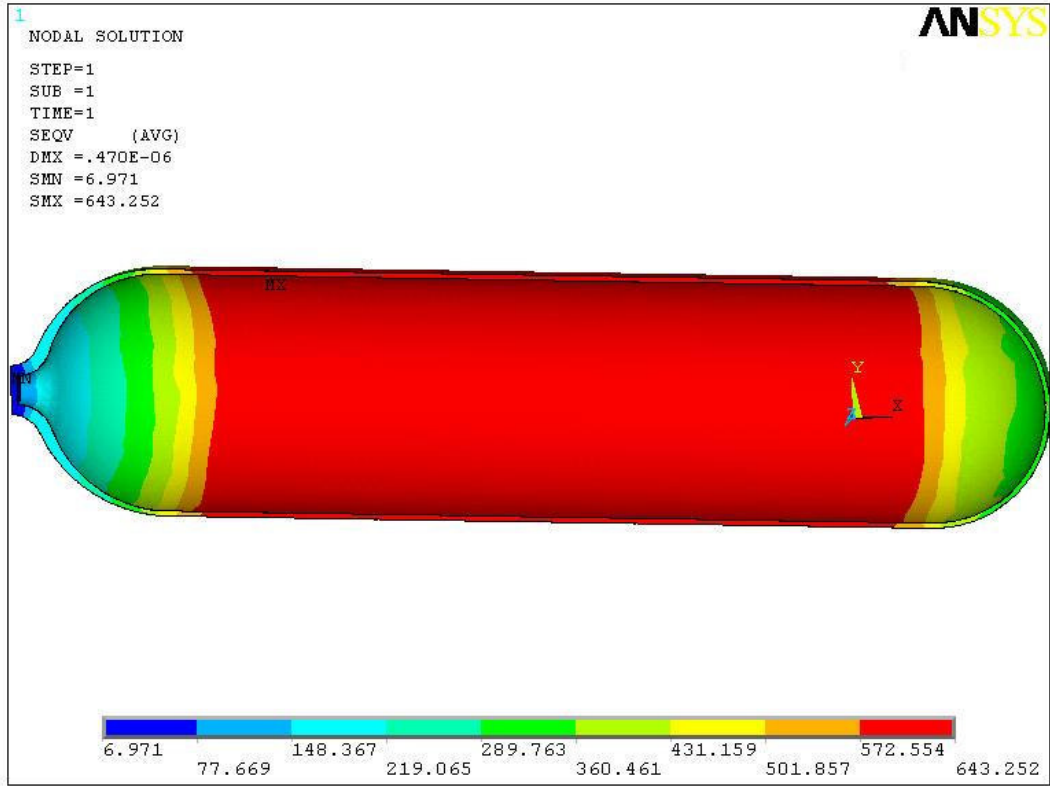
Şekil 3.6. 200 bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerinimleri.



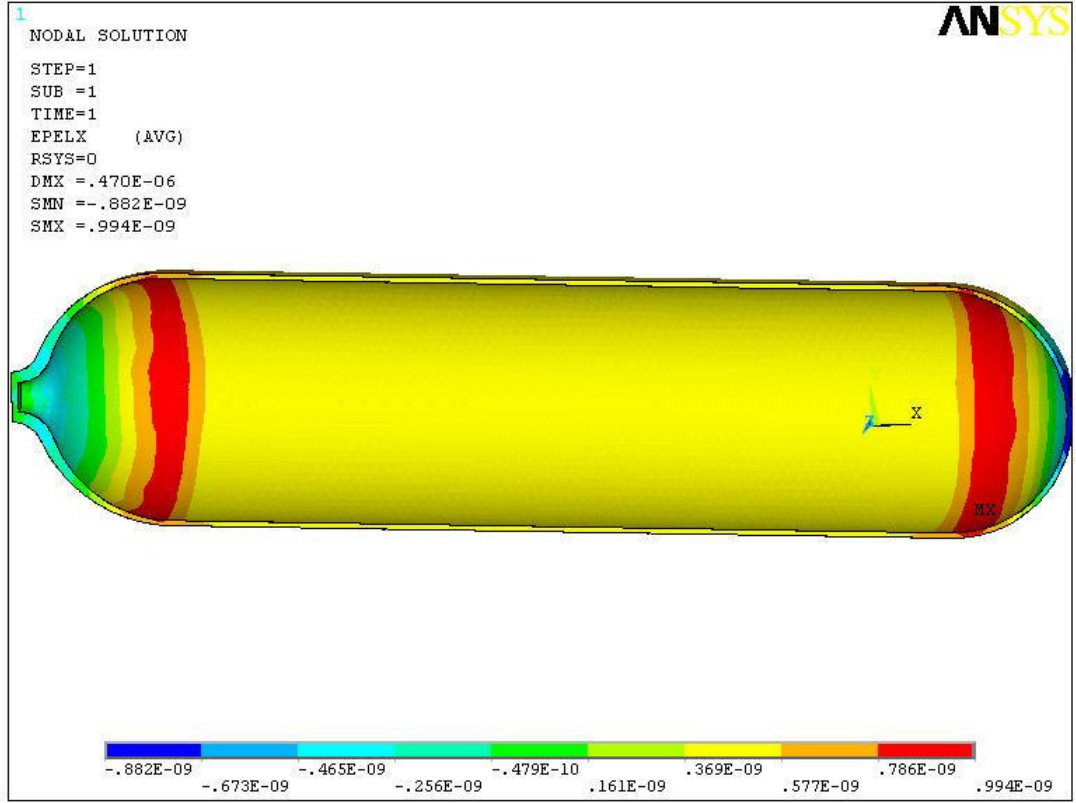
Şekil 3.7. 300 bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerilmeler



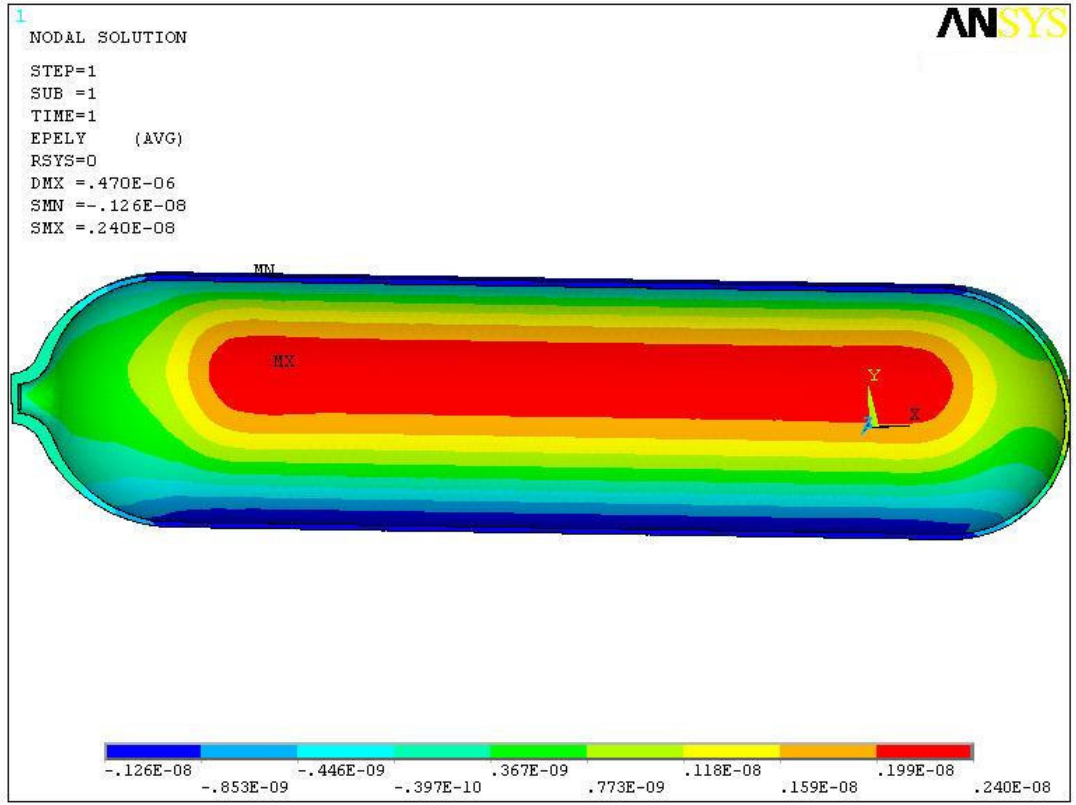
Şekil 3.8. 300 bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerilmeler



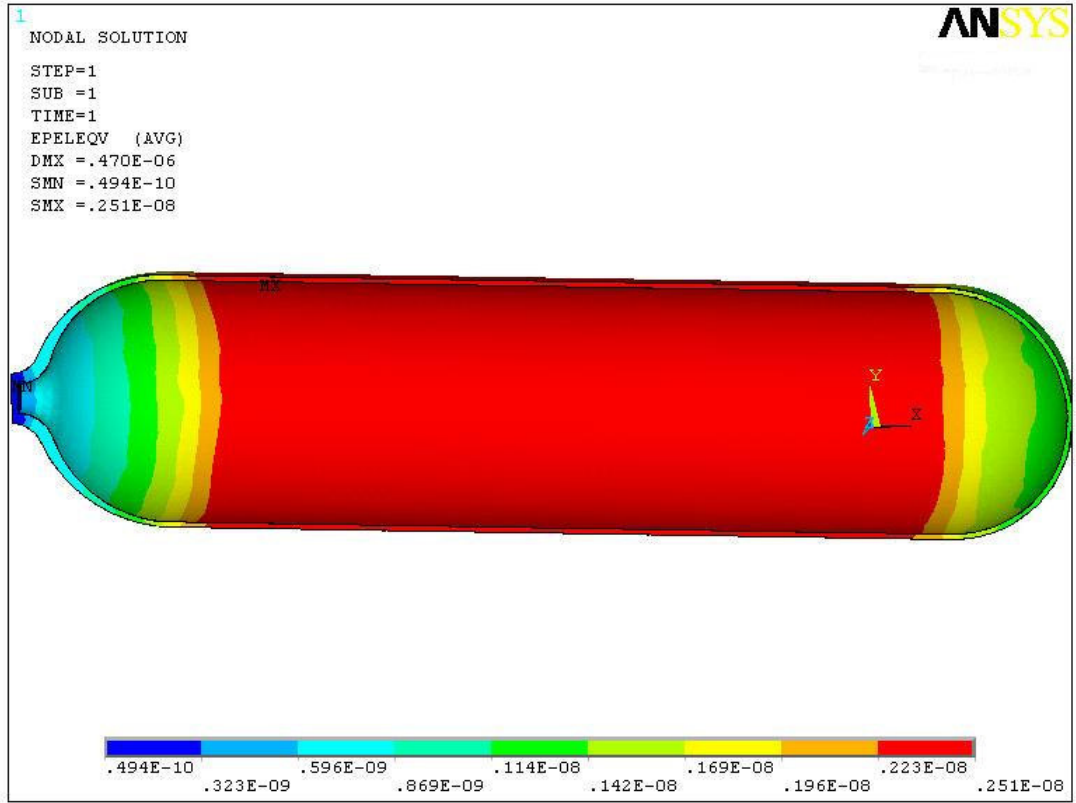
Şekil 3.9. 300 bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerilmeleri



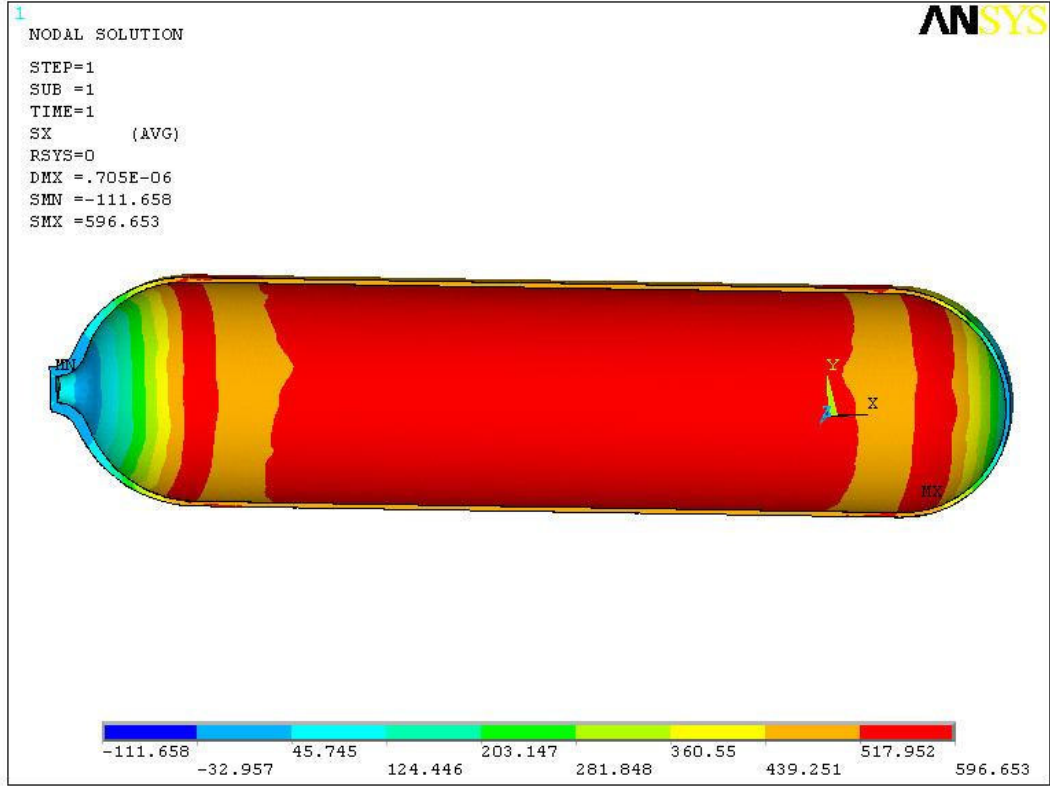
Şekil 3.10. 300 bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerinimler.



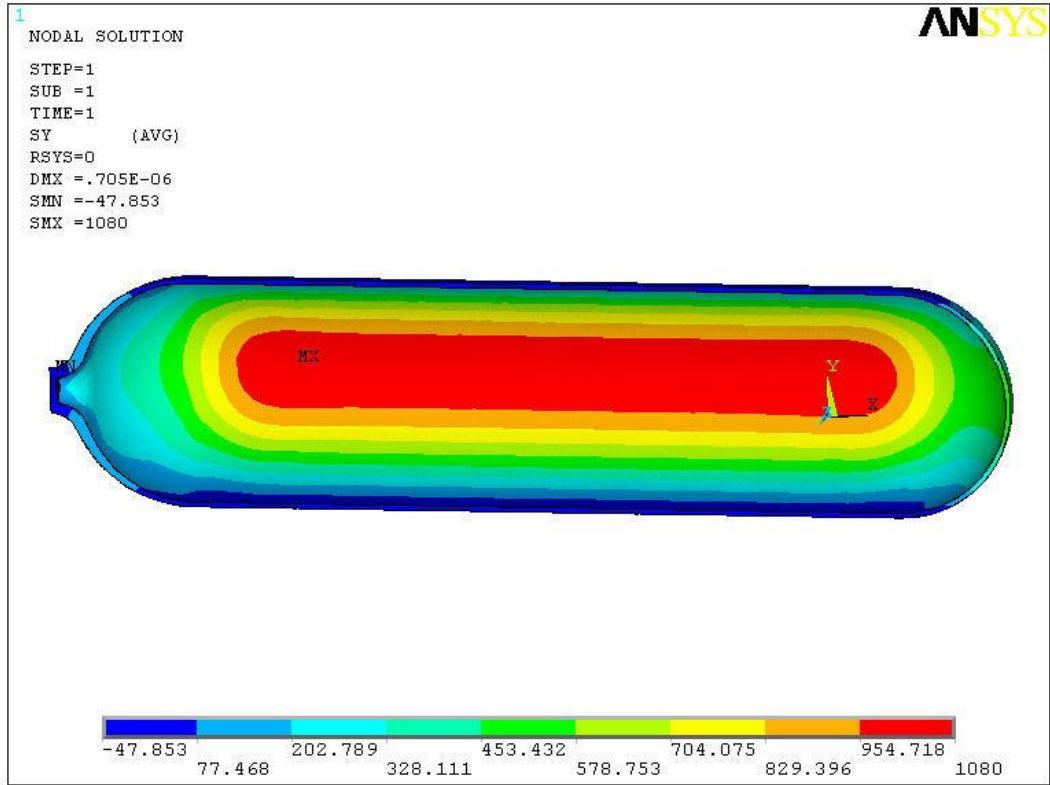
Şekil 3.11. 300 bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerinimler.



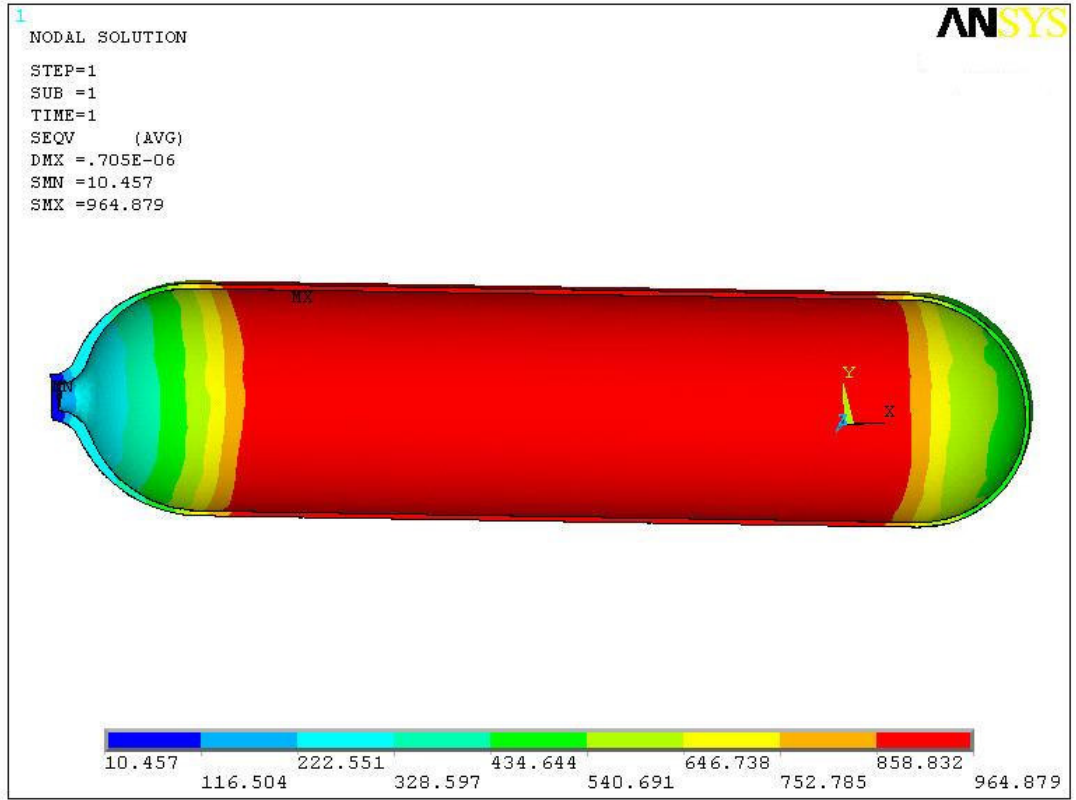
Şekil 3.12. 300 bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerinimleri.



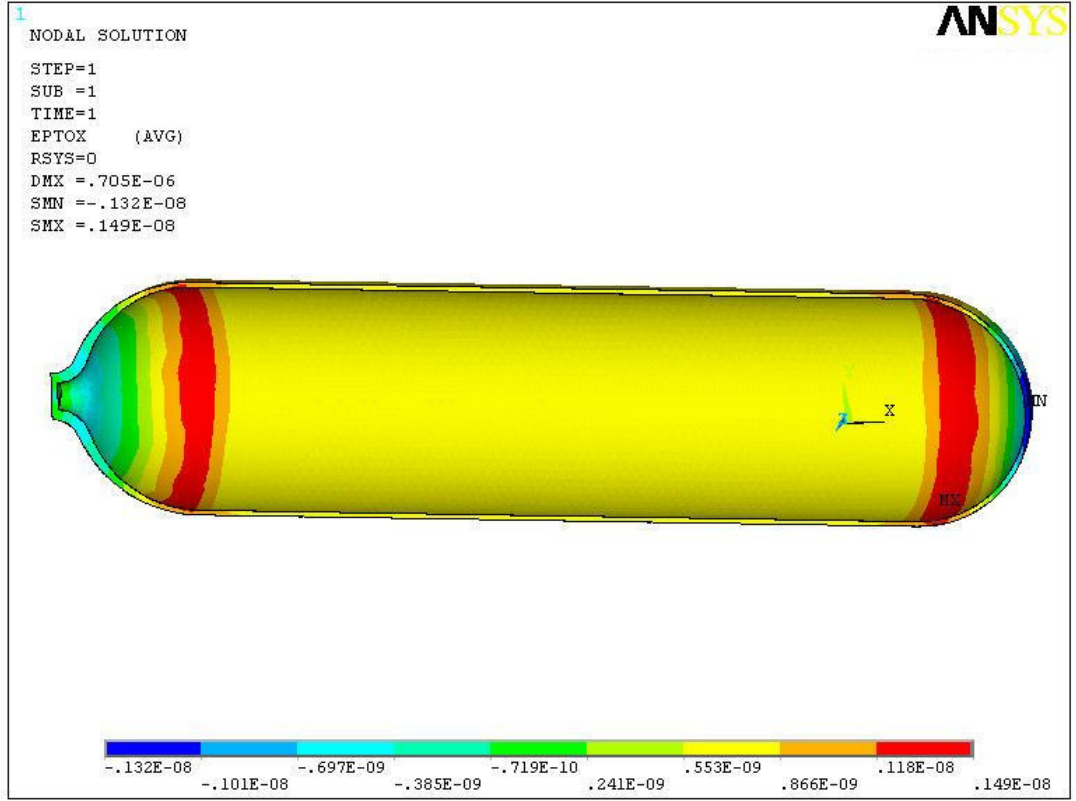
Şekil 3.13. 450 bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerilmeler



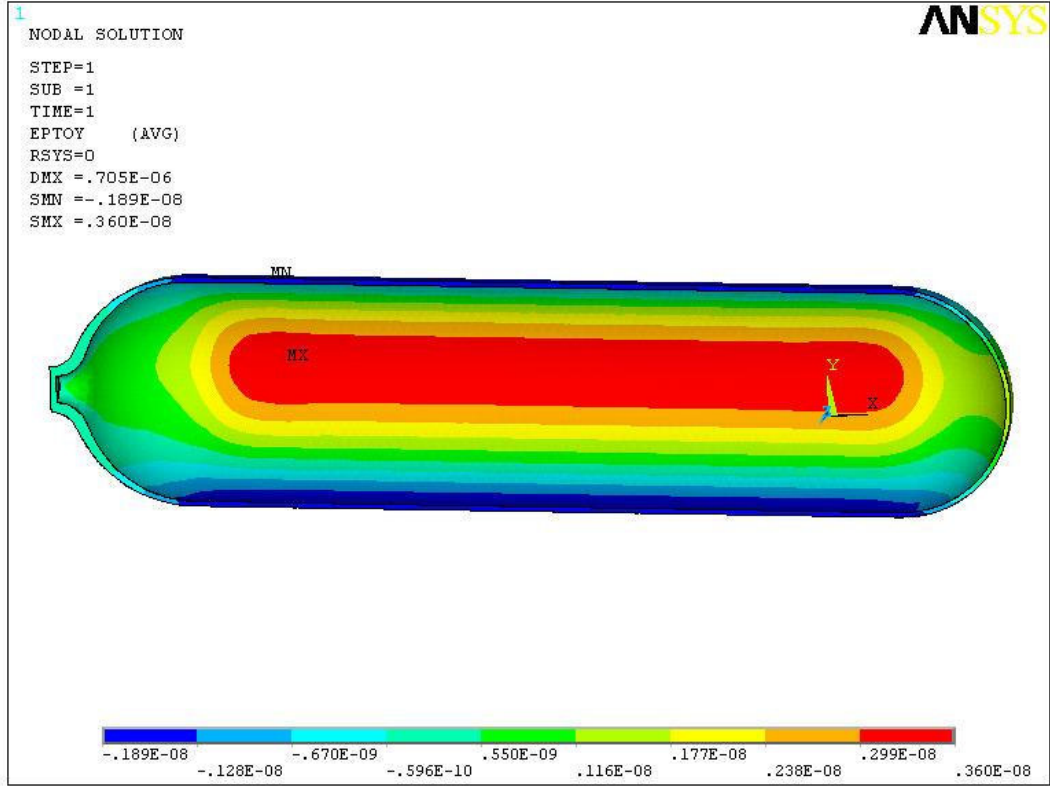
Şekil 3.14. 450 bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerilmeler



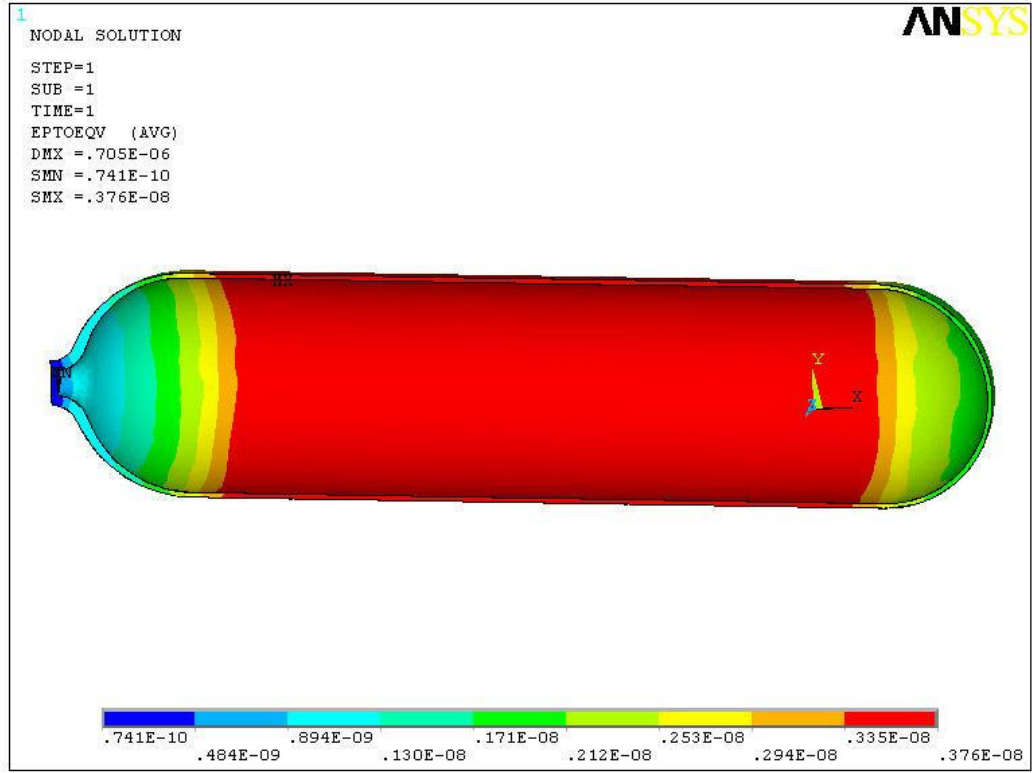
Şekil 3.15. 450 bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerilmeleri



Şekil 3.16. 450 bar iç basınç altında modelde oluşan x-yönündeki gerinimler.



Şekil 3.17. 450 bar iç basınç altında modelde oluşan y-yönündeki gerinimler.



Şekil 3.18. 450 bar iç basınç altında modelde oluşan Von-Mises gerinimleri.

3.1.2. Test Sonuçlarının Teorik Hesaplarla Karşılaştırılması

Ekran görüntülerinden alınan sonuç verilerinde gerilme değerleri görülmektedir. Bu gerilme değerleri 4.5mm cidar kalınlığı için bilgisayar ortamında bulunan gerilme değerleridir. Teorik hesaplamalarla kıyaslama yapılabilmesi için işlemlerin 4.5mm cidar kalınlığına göre tekrarlanarak bulunan gerilme değerleri üzerinden değerlendirme yapılması uygun olacaktır. Grafiklerden alınan teğetsel yöndeki asal gerilmeler (y-yönündeki gerilme değeri), aksenal yöndeki asal gerilmeler (x-yönündeki gerilme değeri) ve von-mises kriterine göre efektif gerilme değerlerini hesaplanan değerlerle şu şekilde kıyaslayabiliriz;

200bar basınç değeri için değerlendirme;

y yönündeki asal gerilme $\sigma_{1(\text{grafik})} = 480\text{Mpa}$

$$\sigma_1 = \frac{P_{20} * r_{iç}}{t_{20}} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{20 * 105}{4.5} \quad \text{den}$$

$\sigma_1 = 466,7 \text{ Mpa}$ bulunur.

$$\left(1 - \frac{\sigma_{1(\text{grafik})}}{\sigma_1}\right) * 100 \text{ işleminden } \%2,85 \text{ hata payı tespit edilir.}$$

300bar basınç değeri için değerlendirme;

y yönündeki asal gerilme $\sigma_{1(\text{grafik})} = 720\text{Mpa}$

$$\sigma_1 = \frac{P_{30} * r_{iç}}{t_{30}} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{30 * 105}{4.5} \text{ den}$$

$\sigma_1 = 700\text{Mpa}$ bulunur. Buradan da %2,85 hata payı tespit edilir

450bar basınç değeri için değerlendirme;

y yönündeki asal gerilme $\sigma_{1(\text{grafik})} = 1080\text{Mpa}$

$$\sigma_1 = \frac{P_{45} * r_{iç}}{t_{45}} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{45 * 105}{4.5} \text{ den}$$

$\sigma_1 = 1050\text{Mpa}$ bulunur. Buradan da %2,85 hata payı tespit edilir

Sonuç olarak programda hesaplanan değerler programın işleyişinde aldığı bir veya birkaç değerın %2,85 farklı olduğu diğer taraftan hesapların aynı mantıkla yapıldığı ve doğru olduğu görülmektedir. Tasarım aşamasında belirlenen cidar kalınlığının uygunluğu analiz sonuçları ile de desteklenmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Derin çekme yöntemi çok yaygın olarak kullanılan bir plastik şekillendirme yöntemidir. Bu yöntem ile silindirik tanklarında dikişsiz üretimi yapılmaktadır. Tankların üretiminde farklı birkaç yöntem daha uygulanmaktadır, fakat bilinen en yaygın yöntem derin çekme yöntemidir. Diğer taraftan, bu yöntemle üretimde, ilk yatırım maliyeti açısından yüksek değerlere çıkılsa da işletme maliyetleri diğer yöntemlere göre oldukça düşüktür. Bu açıdan çalışma konusu bu yöntem üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın konusu çok kapsamlı bir içeriğe sahiptir. Basınç testlerinde ve derin çekme modellemesinde kullanılan program çok iyi sonuçların alındığı yaygın olarak uygulama yapılan bir programdır. Bu programda sonuçların doğruluğunu arttırmak için girdiler ve sınır değerleri iyi değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan malzeme, genel olarak kolay şekillenebilen ve son ürünü yüksek mukavemet değerlerine çıkabilen özellikte olması sebebiyle tercih edilmiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda malzeme üzerinde de farklı denemeler yapılarak en uygun malzeme seçimine gidilmesi uygun olacaktır. Benzer şekilde kalıp tasarımları ve derin çekme kademelerinde standart hesaplamalar yapılmış, bulunan sonuçlara göre tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu konuda çalışmaların yapılması derin çekme kademelerinin azaltılarak daha az derin çekme işlemi ile aynı ürünün elde edilebilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmanın standartta belirtilen diğer tipler için bir ön çalışma olarak alınacaktır. Bilhassa çember sarımlı ve tam sarımlı kompozit tüplerin çelik iç gömleklerinin imalatında kullanılacaktır.

Sonuç olarak özetlemek gerekirse;

- Silindirik tankların hangi aşamalardan geçerek üretildiği,
- Standartta belirtilen testlerin kapsamı ve tasarımın nasıl yapıldığı,
- Test sonuçları ile ortaya çıkan değerlerin bilgisayar ortamında yapılan analizler ile kıyaslanarak prototip üretimi oldukça zor ve yüksek maliyetli olan tankların hangi kriterler dikkate alınarak üretilmesi gerektiğinin ortaya çıkması,

konularında bilgiler verilmiştir.

KAYNAKLAR

1. L. Çapan, Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri, Çağlayan Kitapevi, 3.basım, İstanbul,1999
2. M. Gavas, “Çok ince sacların elastik şekillendirilmesi”, Mühendis ve Makine, **(504)**, 38(2002)
3. R. Padmanabhan, Finite Elements in Analysis and Design, **(43)**, 1062(2007)
4. O. Kırılı, Derin Çekme İle Soğuk Şekillendirmenin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Non-Lineer Analizi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2003
5. B. Kalaycıoğlu, Ekstrüzyon İşlemiyle Katı Roket Yakıtı Şekillendirmesinin Bilgisayarla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2005
6. TS EN ISO 11439 Türk Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002
7. H. Markstaedter and A. Gehle, FEM Process Simulation Using a Segmented-Elastic Blank Holder with LS-DYNA, International Congress Center, Bundes Haus Bonn, GERMANY, 2005
8. Cumalioglu, Y. Ma, A. Ertas and T. Maxwell, High Pressure Hydrogen Storage Tank, Mechanical Engineering Department, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 2006
9. <http://www.faber-italy.com>
10. <http://www.solartanks.com>
11. T. Hama, T. Hatakeyama, M. Asakawa, H. Amino, A. Makinouchi, H. Fujimoto and H. Takuda, Finite Elements in Analysis and Design, **(43)**, 234(2007)