

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SAC METAL FORM KALIPLARINDA SÜZDÜRME
ÇUBUĞU TASARIMINDA MALZEME ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Gökhan ASİL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet FIRAT

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAC METAL FORM KALIPLARINDA SÜZDÜRME
ÇUBUĞU TASARIMINDA MALZEME ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Gökhan ASİL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez 14/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
Mehmet FIRAT**

Jüri Başkanı

**Doç. Dr.
Ahmet TÜRK**

Üye

**Yrd. Doç. Dr.
Erdal KARADENİZ**

Üye

TEŞEKKÜR

Bu konuyu öneren ve çalışmamın her aşamasında bana yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet FIRAT' a teőekkürlerimi sunarım.

Her konuda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bana yardımcı olan sevgili arkadaşlarım Erman ASLAN' a ve Őener ŐAHİN' e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Genel Tanıtım.....	1
BÖLÜM 2.	
FORM KALIPLARINDA KULLANILAN SÜZDÜRME ÇUBUĞU VE KANALI	4
2.1. Kuvvetlerin oluşma mekanizması.....	5
2.2. Deneyler ve Testler	7
2.2.1. Süzdürme çubuğu konumunun belirlenmesi.....	7
2.2.2. Deneyle tespit (Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi)	8
2.2.3. Analitik model	9
2.3. Geometrik Parametreler	10

BÖLÜM 3.

SÜZDÜRME ÇUBUĞU ve KANALI DENEYSEL ÇALIŞMASI ve SONLU

ELEMANLAR MODELİ..... 12

3.1. A/SP (Auto/Steel Partnership) Geliştirilmiş Şekillendirilebilirlik

Projesi 13

3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan sac malzemeler..... 13

3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan kanal çekme kalıbı 14

3.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan süzdürme çubukları..... 16

3.1.4. Deneysel çalışma sonrasında kalınlık değerlerinin ölçülmesi 19

3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Tanımlanması 20

3.2.1. Geometri 21

3.2.2. Malzemenin mekanik özellikleri 22

3.2.3. Proses koşulları 23

3.2.4. Sonlu elemanlar ağı 26

BÖLÜM 4.

SONLU ELEMAN HESAPLAMALARI SONUÇLARI 28

4.1. Genel Sonuçlar 28

4.1.1. Düşey ve çekme yönündeki kuvvet dengelerinin incelenmesi 28

4.1.2. Çekme ve batma kuvvetlerinin incelenmesi 32

4.2. Kalınlık değerinin değişiminin incelenmesi..... 34

4.3. Yerel sonuçlar 38

4.3.1. T1 bölgesinin incelenmesi 38

4.4. Deformasyon Değerlerinin İncelenmesi 42

4.4.1. Çekme yönündeki gerilme dağılımları 43

4.4.2. Düşey yöndeki gerilme dağılımları..... 46

4.4.3. Çekme yönündeki gerilme dağılımları 49

4.4.4. Düşey yöndeki gerinim dağılımları	52
--	----

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
----------------------------	----

KAYNAKLAR	57
-----------------	----

EKLER	60
-------------	----

ÖZGEÇMİŞ	75
----------------	----

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Sac metal şekillendirmede oluşan olası kusurlar.....	2
Şekil 1.2.	Süzdürme çubuğu ve kanalı şematik gösterimi.....	3
Şekil 2.1.	Kesit şekillerine göre süzdürme çubukları ve kanalları	5
Şekil 2.2.	Süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmadan sacda oluşan potansiyel koşullar	7
Şekil 2.3.	Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi.....	8
Şekil 2.4.	Farklı süzdürme çubukları ve kanallarında deformasyona uğramış sac şekilleri	10
Şekil 2.5.	Yarı daire formun geometrik parametreleri.....	11
Şekil 3.1.	Kanal çekme kalıbı ile şekillendirilmiş tipik bir kanal kesiti.....	12
Şekil 3.2.	Kanal çekme kalıbı ile şekillendirilmiş bir sac	15
Şekil 3.3.	Kanal çekme kalıbı ve süzdürme çubuklarının yerleşiminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 3.4.	Kalıbın bağlandığı 300 tonluk hidrolik pres.....	16
Şekil 3.5.	Batma miktarı ayarlanabilir iç süzdürme çubukları	17
Şekil 3.6.	Batma miktarı ayarlanabilir dış süzdürme çubukları	17
Şekil 3.7.	Ayarlanabilir iç süzdürme çubuğu	17
Şekil 3.8.	Süzdürme çubuğu kare ve dairesel formu erkek elemanlar	18
Şekil 3.9.	İki farklı boşluk değerine sahip iç süzdürme çubuğunun şematik gösterimi	18
Şekil 3.10.	4. fazda kullanılan yeni tip süzdürme çubuğu.....	19
Şekil 3.11.	6 mm yarıçapa sahip iç süzdürme çubuğu.....	19

Şekil 3.12. İç süzdürme çubuğu için kalınlık ölçüm noktaları	20
Şekil 3.13. Dış süzdürme çubuğu için kalınlık ölçüm noktaları.....	20
Şekil 3.14. Süzdürme çubuğu ve kanalı geometrisi	21
Şekil 3.15. Ön gerilmeyi oluşturan süzdürme çubuğu geometrisi.....	22
Şekil 3.16. DP600 HDG Malzemeye ait gerilme – gerinim eğrisi.....	23
Şekil 3.17. Bileşenleri ifade eden düğüm noktaları ve hareket yönleri.....	24
Şekil 3.18. Prosesin herbir saniyesi için bileşenlerin konumları ve şekillendirme işlemleri.....	24
Şekil 3.19. 519 nolu test için proses koşulları	25
Şekil 3.20. 523 nolu test için sınır şartları	25
Şekil 3.21. 523 nolu test için ön gerilme sınır şartı	26
Şekil 3.22. Oluşturulan sonlu elemanlar ağı.....	26
Şekil 4.1. Proses esnasında oluşan kuvvetler	29
Şekil 4.2. Ön gerilmemiş test 519 için düşey yöndeki kuvvet dengesi.....	29
Şekil 4.3. Ön gerilmemiş test 519 için çekme yönündeki kuvvet dengesi	30
Şekil 4.4. Ön gerilmeli test 523 için düşey yöndeki kuvvet dengesi.....	31
Şekil 4.5. Ön gerilmeli test 523 için çekme yönündeki kuvvet dengesi.....	31
Şekil 4.6. Ön gerilmemiş test 519 için çekme kuvvetinin zamana göre değişimi ...	32
Şekil 4.7. Ön gerilmeli test 523 için çekme kuvvetinin zamana göre değişimi	33
Şekil 4.8. Ön gerilmemiş test 519 için batma kuvvetinin zamana göre değişimi....	33
Şekil 4.9. Ön gerilmeli test 523 için batma kuvvetinin zamana göre değişimi	34
Şekil 4.10. Ön gerilmemiş test 519 için kalınlık değerlerinin ölçüldüğü bölgeler	35
Şekil 4.11. Ön gerilmemiş test 519 için elde edilen değerlerin grafik üzerinde gösterimi.....	36
Şekil 4.12. Ön gerilmeli test 523 için kalınlık değerlerinin ölçüldüğü bölgeler	36

Şekil 4.13. Ön gerilmeli test 523 için elde edilen değerlerin grafik üzerinde gösterimi.....	37
Şekil 4.14. Yerel sonuçların elde edilmesi için kullanılan kesitler	38
Şekil 4.15. Ön gerilmemiş test 519 için çekme yönündeki gerilme değişimi.....	39
Şekil 4.16. Ön gerilmemiş test 519 için kayma gerilmesi değişimi.....	40
Şekil 4.17. Ön gerilmemiş test 519 için düşey yöndeki gerinim değişimi	40
Şekil 4.18. Ön gerilmeli test 523 için çekme yönündeki gerilme değişimi.....	41
Şekil 4.19. Ön gerilmeli test 523 için kayma gerilmesi değişimi.....	42
Şekil 4.20. Ön gerilmeli test 523 için düşey yöndeki gerinim değişimi.....	42
Şekil 4.21. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerilme dağılımı.....	43
Şekil 4.22. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 3$ anındaki çekme yönündeki gerilme dağılımı.....	44
Şekil 4.23. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerilme dağılımı.....	45
Şekil 4.24. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında çekme yönündeki gerilme dağılımı.....	45
Şekil 4.25. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 2$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı.....	46
Şekil 4.26. Gerilmemiş test 519 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı.....	47
Şekil 4.27. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı.....	48
Şekil 4.28. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı.....	48
Şekil 4.29. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı.....	49

Şekil 4.30. Ön gerilmesiz test 519 için $t = 3$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı.....	50
Şekil 4.31. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı.....	51
Şekil 4.32. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı.....	51
Şekil 4.33. Ön gerilmesiz test 519 için $t = 2$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı.....	52
Şekil 4.34. Ön gerilmesiz test 519 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı.....	53
Şekil 4.35. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı.....	54
Şekil 4.36. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı.....	54

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan saclar.....	14
Tablo 3.2. DP600-HDG Malzemeye ait K, n ve σ_{ak} değerleri.....	23
Tablo 4.1. Ön gerilmersiz test 519 için kalınlık değerlerini karşılaştırılması.....	35
Tablo 4.2. Ön gerilmeli test 523 için kalınlık değerlerini karşılaştırılması.....	37

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Süzdürme çubuğu ve kanalı, sac metal şekillendirme, sonlu elemanlar yöntemi

Sac metal şekillendirme özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörü olmak üzere birçok sektörde sıklıkla kullanılmaktadır.

Sac malzemeler kalınlıkları diğer boyutlarına göre daha az olan malzemelerdir ve bu tip malzemelerin mekanik davranışını doğru bir şekilde ölçmek diğer malzemelere göre zordur. Bu yüzden sac malzemelerin şekillendirilmesi konusunda üreticiler sıklıkla sorunlar yaşamaktadır. Süzdürme çubuğu ve kanalı kullanımı şekillendirme sorunlarının giderilmesi için üreticilerin tercih ettikleri yöntemlerden biridir.

Form kalıplarında süzdürme çubukları ve süzdürme kanalları sacın kalıp içerisine akışını düzenleyen yerel kontrol mekanizmalarıdır. Süzdürme çubuğu kullanılması ile yırtılma ve kırılma gibi şekillendirme kusurları giderilebilir.

Bu çalışmada aynı malzeme, geometri ve yağlama koşulları için, ön gerilmeli ve ön gerilmemiş durumda sac malzemenin süzdürme çubuğu ve kanalından geçerken malzeme davranışı incelendi. Çalışmada yarım daire geometriye sahip süzdürme çubuğu için sonlu elemanlar analizi yapıldı ve elde edilen değerler deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı.

INVESTIGATION OF MATERIAL EFFECT IN DRAWBEAD DESIGN IN FORMING DIES

SUMMARY

Keywords: Drawbead, sheet metal forming, finite element method.

Sheet metal forming is widely used in automotive and appliance industries.

The thickness of sheet metal is smaller than other dimensions and the determination of mechanical behavior of this kind of materials are harder than the other materials. Therefore the producers are frequently encounter problems about the forming. Using drawbead is one of the methods which used for solving forming problems, and therefore preferred by the producers.

Drawbeads are the local deformation mechanisms which control the sheet flow through the die in forming dies. Necking and wrinkle problems can be solved effectively by using drawbeads.

In this study, mechanical behavior of sheet metal was compared in restrained and normal conditions by using of same drawbead geometry and lubrication conditions of dual phase steel. Semicircular drawbead geometry was used for the finite element analysis and the analysis results were compared with the experimental results for selected conditions in this study. A good correlation was observed between the experimental and numerical results.

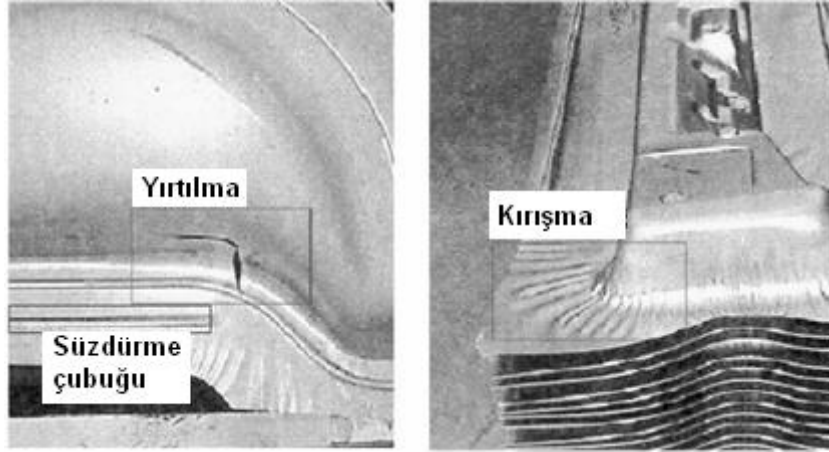
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sac metal kalıplarının tasarımında ve imalatında kalıp yüzeyi geliştirme çok önemli bir aşamadır. Metot mühendisleri model geometrisinden faydalanarak, düz saca istenen baskı parçasının geometrisini vermek için gerekli olan şekillendirme ara yüzünü üretmek için bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve sonlu elemanlar (FEA) yöntemlerini bir dizi tasarım adımlarında kullanırlar [1]. Sac metallerin temel şekillendirme işlemlerinden olan çekme işleminde, sac malzemenin kontrolü ve bir şekilde kalıp boşluğunu doldurması en önemli imalat tasarım işlemidir. Çekme işlemi sırasında güç direk olarak erkek kalıp ile malzemenin tabanından uygulandığından, dişi kalıp giriş açıları ve malzeme ile dişi kalıp arasındaki sürtünme değerleri oldukça önem taşır[2, 3].

1.1. Genel Tanıtım

Sac metal basma işleminin kalitesi dişi boşluğunda sac akışının uygun olmasına bağlıdır. Bu sebeple sac akışının kontrolü kırışma ve yırtılma problemlerinin çözümünde önemlidir. Genellikle, sac akışı pot çemberi tarafından kontrol edilir. Germe kuvveti de sac ile sacın temas ettiği parçalar arasındaki sürtünmeden oluşmaktadır. Bununla birlikte, çekme işlemi boyunca pot çemberi sac akışını tamamen kontrol etmemektedir. Yüksek germe kuvveti gerektiği zamanlarda, yüksek pot çemberi kuvveti uygulanmalıdır. Bu iki kuvvet birbirleri ile doğru orantılıdır. Bu yüzden yerel kontrol mekanizması gerekmektedir. Daha düşük pot çemberi kuvvetlerinde yeteri kadar germe kuvvetleri sağlanmaktadır. Bu istekler süzdürme çubukları tarafından yerine getirilebilmektedir [4].

Süzdürme çubuğu, geri yaylanma problemini belli durumlarda giderebilir. Sac üzerinde yeterli gergi kuvveti oluşturarak sac üzerindeki lifleri gerer ve sacın geriye esnemesi engellenir.



Şekil 1.1. Sac metal şekillendirmede oluşan olası kusurlar [5].

Süzdürme çubuğu ana kalıpta dişi ögenin yanında üst kalıpta, süzdürme kanalı ana kalıpta erkek kalıbın yanında pot çemberi üzerinde bulunmaktadır [6].

Süzdürme çubuğu ve kanalı iki ögeden oluşmaktadır [4].

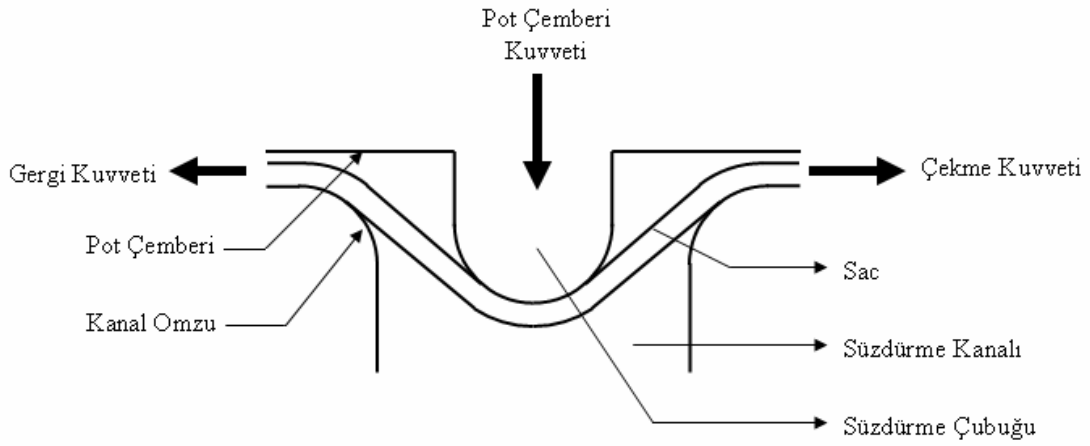
1. Süzdürme çubuğu
2. Süzdürme kanalı

Süzdürme çubuğu ve kanalından geçen sacın üzerinde iki çeşit kuvvet oluşmaktadır.

1. Gergi kuvveti
2. Kaldırma kuvveti

Gergi kuvveti her zaman çekme yönüne zıt tarafta olmaktadır ve saca teğettir. Kaldırma kuvveti ise sac üzerine her zaman diktir.

Şekil 1.2'de süzdürme çubuğu ve kanalının şematik gösterimi ile şekillendirme esnasında uygulanan ve şekillendirme esnasında oluşan kuvvetler görülmektedir.



Şekil 1.2. Süzdürme çubuğu ve kanalı şematik gösterimi.

Süzdürme çubukları gerinim pekleşmesine ve gerinim dağılımındaki değişikliklere bağlı olarak sacda incelmelere neden olur [7,8, 9]

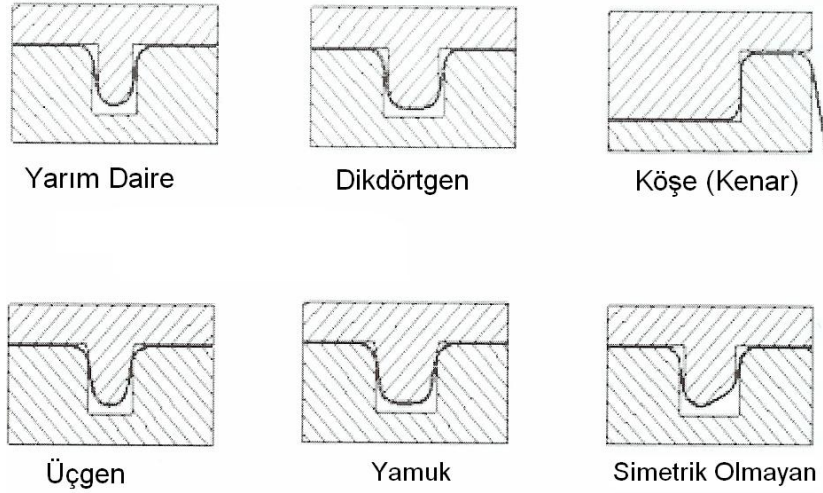
Süzdürme çubuğu ve kanalı sadece çekme kalıplarında kullanılır. Süzdürme çubuğu dişi kalıbında sac akışını kontrol eder ve kırışma probleminin önlemeye veya azaltmaya çalışır. Sac süzdürme çubuğundan geçtiği zaman ilk olarak bir yönde bükülür sonra ters yönde doğrulur [3].

BÖLÜM 2. FORM KALIPLARINDA KULLANILAN SÜZDÜRME ÇUBUĞU VE KANALI

Sac metal kalıplarının tasarımında yüzey geliştirme önemli bir konudur. Yüzey tasarımı için birçok tasarım ve sonlu elemanlar yazılımı kullanılmaktadır. Sac metallerin temel şekillendirme işlemlerinden olan çekme işleminde, sac malzemenin kontrolü ve bir şekilde kalıp boşluğu doldurması en önemli imalat tasarım işlemidir. Kalıp yüzeyi verilen parçanın baskı formu için geliştirilir fakat ilk denemelerde genel olarak şekillendirme esnasında meydana gelen tutma kuvveti dağılımı sebebi ile dağılım düzensizdir. Bu durumlarda kalıp boşluğuna doğru olan malzeme akışının kontrolü sırasında baskı hareketini düzenlemek için baskı plakası yüzeylerine süzdürme çubuğu elemanları eklenebilir [1].

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kesit geometrisine göre birçok süzdürme çubuğu tipi vardır ancak genel olarak üçe ayrılır[10];

1. Yarım daire form
2. Dikdörtgen form
3. Köşe (kenar) form



Şekil 2.1. Kesit şekillerine göre süzdürme çubukları ve kanalları [11].

2.1. Kuvvetlerin oluşma mekanizması

Süzdürme çubuğu elemanları sac metalin çekilme yönünün tersi yönde sabit bir gerilme kuvvetini sacı bir dizi bükme ve doğrultma deformasyonuna zorlayarak üretir. Sacı süzdürme çubuğu boyunca çekebilmek için gerekli gerilme kuvveti süzdürme çubuğu tutma kuvveti olarak adlandırılır. Şekillendirme işlemi sırasında malzeme sertleşir ve aynı zamanda sac kalınlığı azalır. Süzdürme çubuklarının yerleştirilmesinde ve işlemlerin belirlenmesinde tutma kuvvetinin büyüklüğü ve sac incelmesinin miktarı en önemli iki özelliktir [1].

Yarım daire formda sac 3 kez bükme 3 kez doğrulma işlemine maruz kalır, yani 3 çevrim gerçekleşir. Form kaplarında en çok kullanılan süzdürme çubuğu tipi yarım daire form tipidir.

Dikdörtgen formda sac 4 kez bükme 4 kez doğrulma işlemlerine maruz kalır, yani 4 çevrim gerçekleşir. Dikdörtgen formdaki süzdürme çubuğu yağlamaya karşı duyarsızdır ve en fazla gergi kuvveti oluşturur.

Köşe kenar formda bükme açısı 90° olduğu ve çubuk ile kanal arası yatay uzaklık sac kalınlığına eşit olduğu zaman sacda 2 bükme 2 doğrulma işlemi gerçekleşir. Köşe

form dişi kalıbın köşesine uygulanabilir ve böylece malzeme kaybı en aza indirilebilir.

Üretilen gergi kuvvetine göre süzdürme çubuğu ve kanalı tiplerinin sıralaması:

$$F_{dikt} > F_{daire} > F_{köş} \quad (2.1)$$

Form verme işleminde gergi kuvveti büyük olursa çekme işlemi gerçekleşmez ve yırtılmalar meydana gelir, küçük olursa kırışıklıklar meydana gelir. Gergi kuvveti bükme – doğrulma kuvvetlerinden ve sürtünme kuvvetlerinden meydana gelir [13].

Gergi kuvvetine etki eden faktörler [10, 14];

1. Süzdürme çubuğu geometrisi
 - a) Kesit şekillerine göre süzdürme çubuğu
 - b) Çubuk geçişi
 - c) Bükme açısı
 - d) Çubuk yarıçapı
 - e) Kanal yarıçapı
 - f) Çubuk ile kanal arasındaki yatay uzaklık
 - g) Çubuk ile kanal arasındaki dikey uzaklık
2. Malzeme özellikleri
3. Sac kalınlığı
4. Kalıp elemanları ve sac arasındaki sürtünme durumu

Çubuk geçişi ve bükme açısı arttığı zaman gergi kuvveti artmaktadır. Çubuk ve kanal yarıçapları azaldığı zaman gergi kuvveti artmaktadır. Çubuk ile kanal arasındaki yatay ve dikey uzaklığın azalması gergi kuvvetini arttırmaktadır. Kalıp elemanları arasındaki sürtünmenin artması gergi kuvvetini artırır.

2.2. Deneyler ve Testler

2.2.1. Süzdürme çubuğu konumunun belirlenmesi

Süzdürme çubuğu ve kanalının konumuna genellikle Sonlu Elemanlar (SE) hesaplaması yapılarak karar verilir.

Şekil 2.2' de süzdürme çubuklu ve çubuksuz iki durum karşılaştırılmıştır. Süzdürme çubuksuz durumda üç tane kusur karşımıza çıkmaktadır Bunlar;

- Yeteri kadar gerinme olmadığı için malzeme hızlı hareket etmiş ve kesme hattına yaklaşmıştır.
- Erkek kalıp ve dişi kalıp arasında sıkışan sacda yeteri kadar gergi kuvveti oluşmadığı için kırışmalar meydana gelmiştir.
- Artık gerilmeler oluşmadığı için parçada dağınık malzeme bölgeleri oluşmuştur.

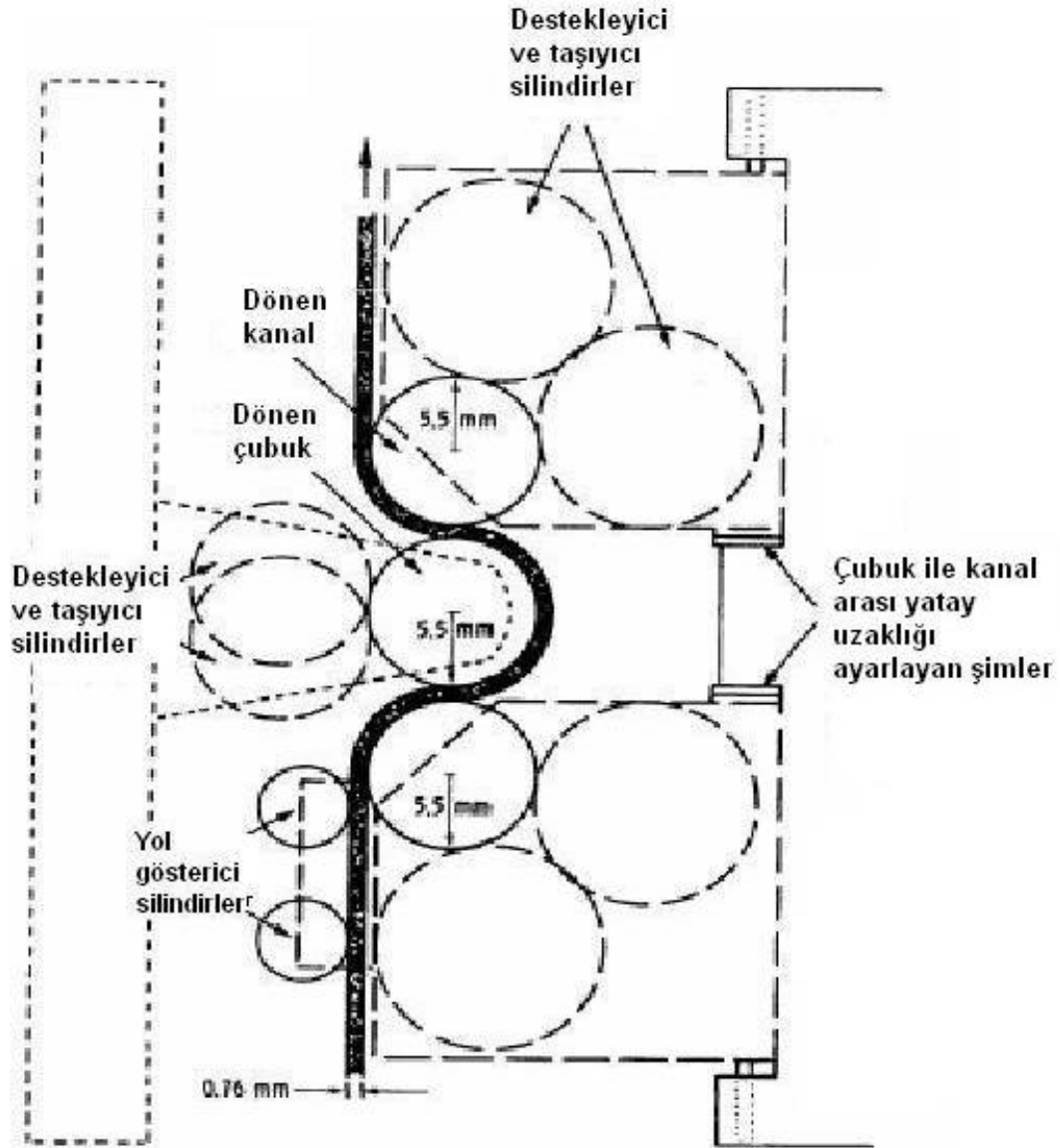
Bu üç kusurun giderilmesi süzdürme çubuğunun ve kanalının Şekil 2.2' deki gibi kullanılması ile giderilebilir [12].



Şekil 2.2. Süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmadan sacda oluşan potansiyel koşullar [10]

2.2.2. Deneyle tespit (Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi)

Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi, süzdürme çubuğu ve kanalından geçen malzemedeki gergi kuvvetini ve sürtünme çubuğu ve kanalındaki sürtünme katsayısını hesaplamak için kullanılır. Şekil 2.3’de süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi için kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.3. Süzdürme çubuğu ve kanalı benzetimi [14]

Deney düzeneğinde farklı boyutlarda çubuk ve kanalların benzetiminin yapılması için farklı büyüklükteki silindirler kullanılmıştır. Çubuk ile kanalların taşınması ve desteklenmesi için taşıyıcı ve destekleyici silindirler kullanılmıştır. Çubuk ve kanal arası yatay mesafe şimler sayesinde ayarlanmaktadır. Sacın rahat ve düz bir şekilde hareket etmesi için yol gösterici silindirler kullanılmıştır.

Bu düzenekte sadece yarım daire formdaki süzdürme çubuğu ve kanalının benzetimi yapılmıştır. Ayrıca pot çemberi kuvveti hesaplamaya katılmamıştır. İki durumda benzetim yapılmıştır.

1. Çubuk ile kanal dönerek
2. Çubuk ile kanal sabit kalarak

İlk durumda sürtünmenin etkisi ortadan kaldırılmak istenmiştir.

2.2.3. Analitik model

Germe kuvvetinin kararı için sık sık kullanılmaktadır. Stoughton modeli virtüel iş prensibine dayanmaktadır ve süzdürme çubuğu ve kanalı yarıçapları yerine malzemenin eğilme yarıçapları kullanılmaktadır. Bu modelde sacın sürtünmeyi yenerek ilerlemesi ve bükme – doğrulma işlemleri dikkate alınmaktadır. Malzeme uzama oranı duyarlılığı Holloman pekleşme kuralına uyduğu varsayılmıştır [1].

Stoughton modelinde gergi kuvveti aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır;

$$DBRF = \left((F_1 e^{\mu\theta} + \mu F_e + F_2 + F_3) e^{2\mu\theta} + \mu F_e + F_4 + F_5 \right) + F_6 e^{\mu\theta} \quad (2.2)$$

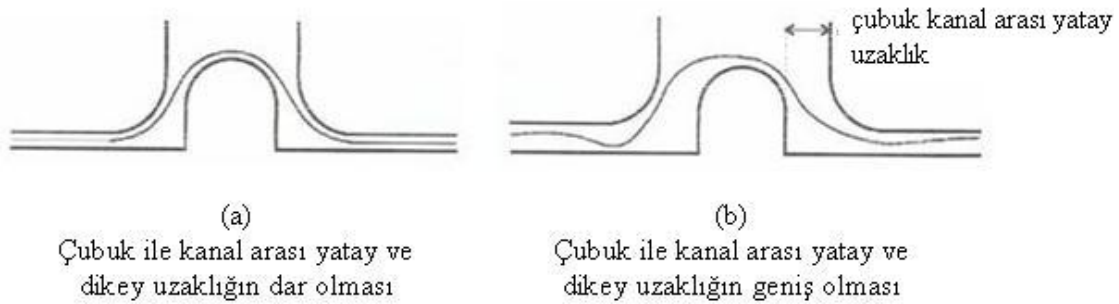
Kaldırma kuvveti ise aynı biçimle hesaplanabilir.

Bu denklemde kullanılan değişkenler aşağıdaki gibidir;

- F_1, F_2 : R_1 yarıçapında oluşan bükme ve doğrulma kuvvetleri
- F_3, F_4 : R_2 yarıçapında oluşan bükme ve doğrulma kuvvetleri
- F_4, F_5 : R_4 yarıçapında oluşan bükme ve doğrulma kuvvetleri

- μ : Sac ile kanal ve sac ile çubuk arasındaki sürtünme katsayısı
- θ : Bükme açısı
- F_e : Elastik normal kuvvet

Çubuk ile kanal arası yatay ve dikey uzaklıkların az olması koşullarında Stoughton modelinde hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar



Şekil 2.4. Farklı süzdürme çubukları ve kanallarında deformasyona uğramış sac şekilleri [17]

Şekil 2.4’de çubuk ile kanal arasındaki yatay ve dikey uzaklık değişimi sonrası sac malzemenin akış davranışındaki değişim görülmektedir.

Bükme kuvveti sacın çekilmesi sırasında oluşan bükme kuvvetleridir. Düşey yöndeki kuvvet ise süzdürme çubuğu ve kanalına dik yönde etki eden kuvvettir. Çubuğun geçişine göre bükme kuvveti giderek artmaktadır, düşey yöndeki kuvvet ise belli bir değerden sonra sabitlenmektedir.

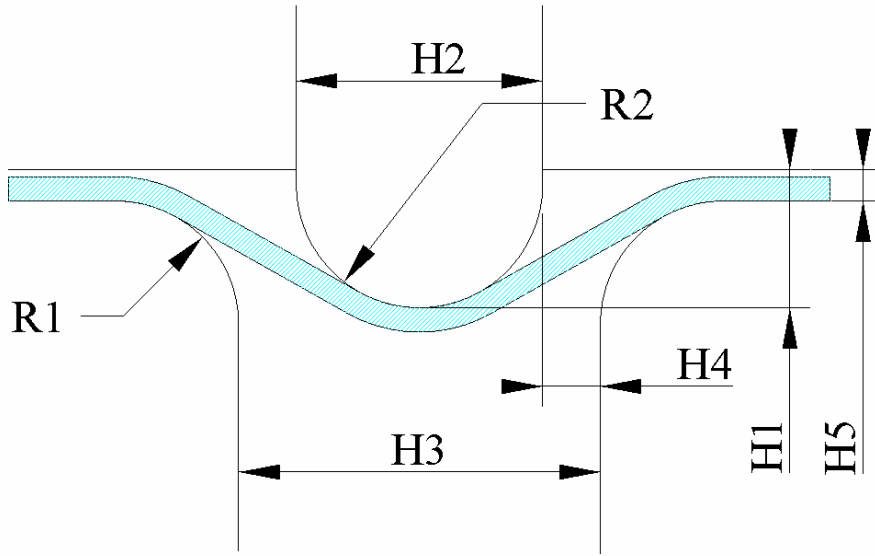
2.3. Geometrik Parametreler

Yarım daire formda süzdürme çubuğu ve kanalını tanımlayan belli ölçüler vardır. Bu ölçüler Şekil 2.5’de şematik olarak ifade edilmiştir. Şekil 2.5’de

- R_1 : Kanal yarıçapı
- R_2 : Çubuk yarıçapı
- H_1 : Çubuk geçişi
- H_2 : Çubuk genişliği

- H_3 : Kanal genişliği
- H_4 : Çubuk ile kanal arası yatay uzaklığı
- H_5 : Çubuk ile kanal arası dikey uzaklığı

ifade etmek için kullanılmıştır.



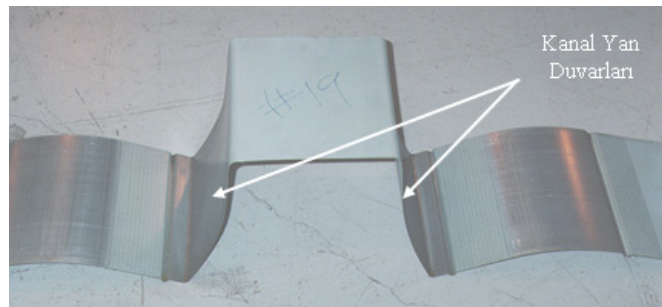
şekil 2.5. Yarı daire formun geometrik parametreleri

BÖLÜM 3. SÜZDÜRME ÇUBUĞU ve KANALI DENEYSEL ÇALIŞMASI ve SONLU ELEMANLAR MODELİ

Bu bölümün birinci kısmında şekillendirilebilirliğin iyileştirilebilmesi amacıyla farklı malzemelerde ve geometrilerde süzdürme çubuklarının kullanılmış olduğu, 1997 - 2001 yılları arasında Daniel E. GREEN tarafından hazırlanmış olan deneysel çalışmanın özellikleri anlatıldı. Bölümün ikinci kısmında ise yapılmış olan deneysel çalışma içerisinde kullanılan malzeme, geometri ve yağlama koşulları aynı olan ön gerilmeli ve ön gerilmemiş olarak seçilen iki test koşulunun sonlu eleman modellerinin özellikleri anlatıldı.

Yapılmış olan deneysel çalışmanın amacı otomotiv sac çeliklerinde özellikle sac metal bir süzdürme çubuğu üzerinden çekilerek bir ön gerilmeye maruz bırakıldığında ön gerilmenin şekillendirilebilirliğe etkisinin belirlenmesidir [22].

Deneysel çalışmada ön gerilmenin şekillendirilebilirliğe etkisinin incelenmesi için içte ve dışta süzdürme çubuklarına sahip bir kanal çekme kalıbı kullanılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi açık uçlu kanal kesitleri (Şekil 3.1) kalıpta şekillendirilmiştir. Deneysel çalışmada kalıpta şekillendirme esnasında her bir süzdürme çubuğu konfigürasyonu için açık uçlu kanal kesitleri kanal yan duvarlarında farklı bir ön gerilim ile akma davranışı göstermiştir.



Şekil 3.1. Kanal çekme kalıbı ile şekillendirilmiş tipik bir kanal kesiti [22]

3.1. A/SP (Auto/Steel Partnership) Geliştirilmiş Şekillendirilebilirlik Projesi

Deneysel çalışmada farklı süzdürme çubuğu ve kanalı geometrileri, farklı tip saclar ve yağlama koşulları kullanılarak birçok test gerçekleştirilmiştir. Bazı testlerde kalıbın dış tarafında yer alan ikinci süzdürme çubuğu ve kanalı yardımı ile bir ön gerilme kuvveti elde edilmiş ve sacın kanal içerisine akışının kontrollü sağlanmıştır. Aynı geometriye sahip süzdürme çubuğu ve kanalı boyunca geçen sacın şekillendirilmesine ön gerilmenin etkisini ölçmek için test önce tek bir süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılarak gerçekleştirilip, daha sonra ön gerilme oluşturacak ikinci süzdürme çubuğu ve kanalı ilk kullanılanların bir miktar dışına yerleştirilerek test tekrarlanmıştır.

Deneysel çalışma beş fazda gerçekleştirilmiş olup birinci faza ait çalışma sonuçları A/SP tarafından sunulmuş olan veritabanı içerisinde yer almamaktadır. Deneysel çalışmanın diğer fazları aşağıda belirtilen yıllarda yapılmıştır [22].

- Faz II : 1998'de gerçekleştirilmiştir.
- Faz III : 1999'da gerçekleştirilmiştir.
- Faz IV : 2000'de gerçekleştirilmiştir.
- Faz V : 2001'de gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Deneysel çalışmada kullanılan sac malzemeler

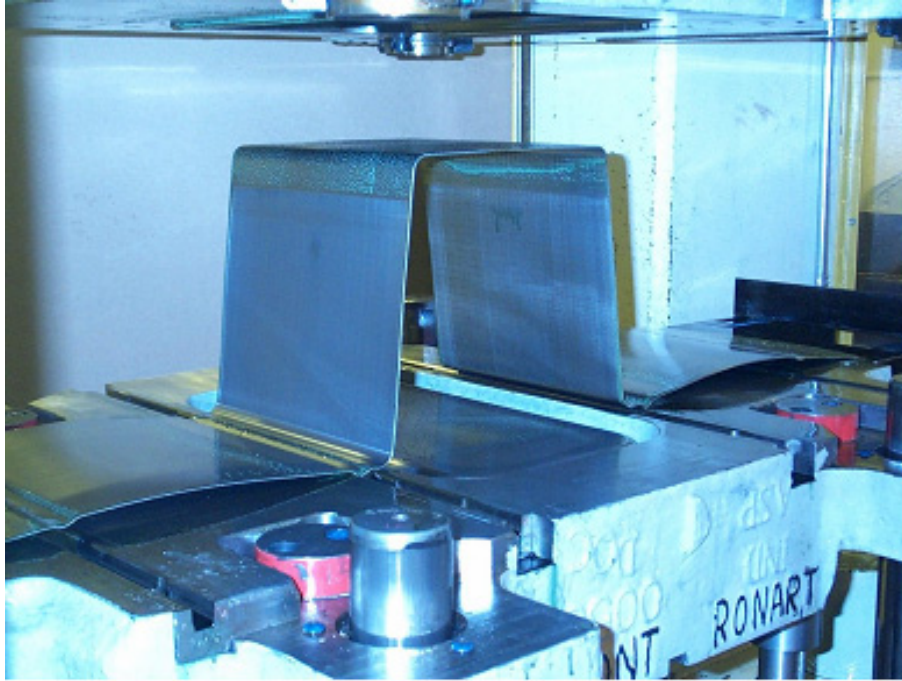
Yapılan deneysel çalışmada farklı tip otomotiv sacları kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan saclar Tablo 3.1 verilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan sacların genişlikleri standart olup genişlik değeri 254 mm' dir. Sonlu elemanlar hesaplamaları için deneysel çalışmanın beşinci fazında kullanılan çift fazlı (DP 600) sac kullanılmış olup kullanılan sacın kalınlığı 1.2 mm' dir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan saclar [22]

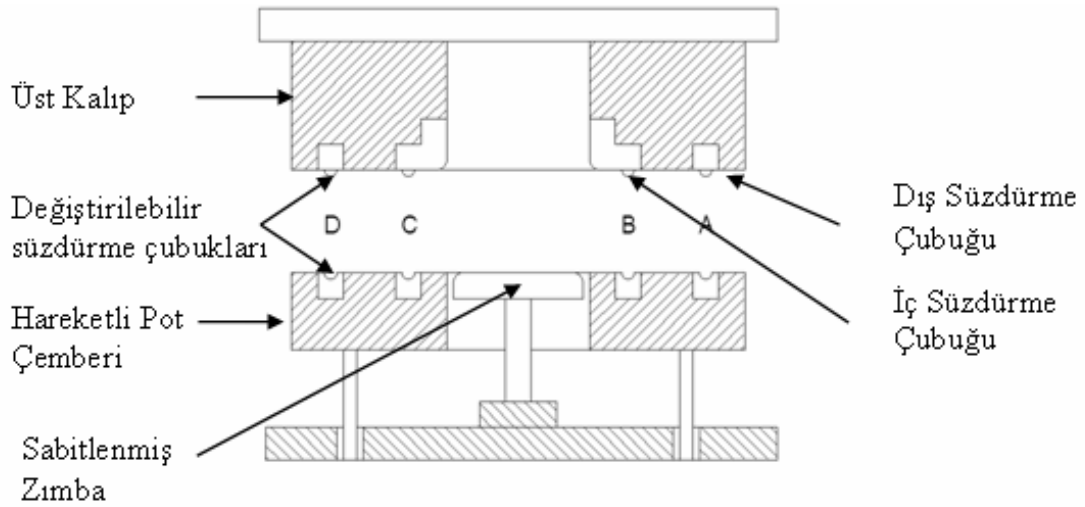
	Sac Malzeme	Kaplama Tipi	Kalınlık (mm)
FAZ 2	AKDQ	EG	0.7
	AKDQ	EG	1.2
	BH 210	EG	0.7
FAZ 3 ve 4	AKDQ	CR	0.7
	AKDQ	CR	1.2
	HSLA	HDG	0.8
	HSLA	CR	1.2
FAZ 5	BH 210	EG	0.8
	DP 600	HDG	1.2

3.1.2. Deneysel çalışmada kullanılan kanal çekme kalıbı

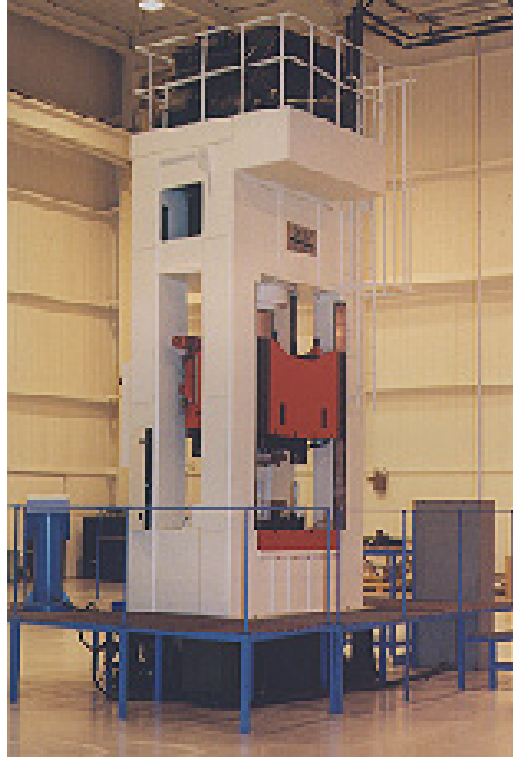
Kanal çekme kalıbı, deneysel çalışma için seçilmiş olan sacları kesiti Şekil 3.2’de gösterilmiş olan kanal formunda şekillendirmek için kullanılmıştır. Sac malzemelere kanal formu verilirken hareketli pot çemberinin üst kalıba karşı sabit bir basınç değerini sağlaması için tampona bağlı basınç çubukları kullanılmıştır. Üst kalıp ile pot çemberinin arasındaki boşluğu sağlayabilmek için pot çemberi üzerine dört tane balans bloğu kullanılmıştır. Şekil 3.3’de zımbanın her iki tarafındaki parçalar iç süzdürme çubuğudur ve Şekil 3.3’de B ve C ile gösterilmiştir. İç süzdürme çubuğu boyunca metalin geçişi sırasında karşı yönde gerilme kuvveti oluşturan ve her bir iç süzdürme çubuğunun 254 mm arkasında yer alan parçalar dış süzdürme çubuklarıdır ve Şekil 3.3’de A ve D ile gösterilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan ve kalıbın bağlandığı 300 tonluk hidrolik pres Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kanal çekme kalıbı ile şekillendirilmiş bir sac [22]



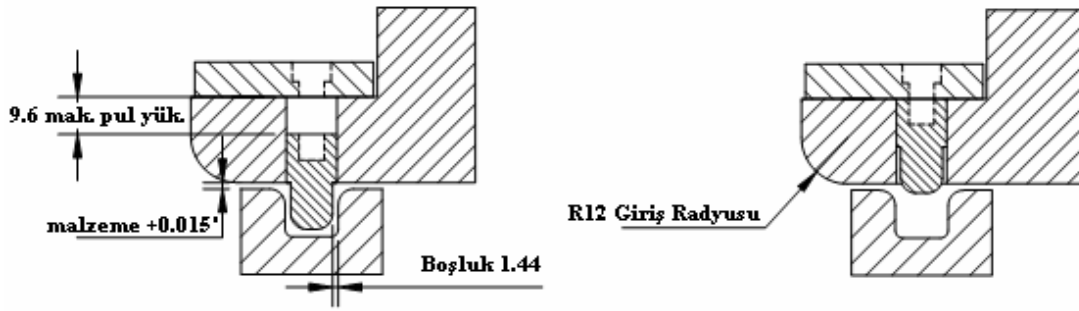
Şekil 3.3. Kanal çekme kalıbı ve süzdürme çubuklarının yerleşiminin şematik gösterimi [22]



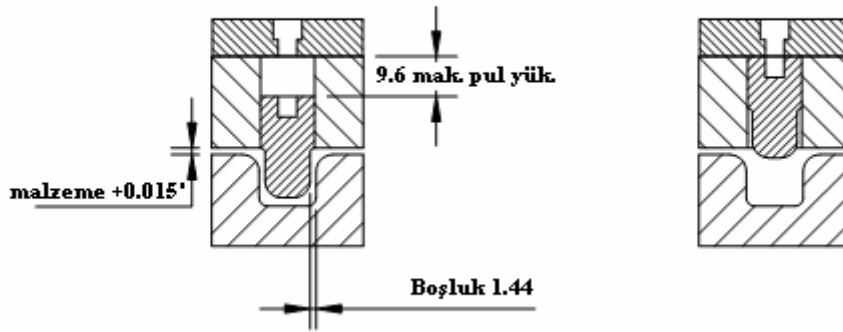
Şekil 3.4. Kalıbın bağlandığı 300 tonluk hidrolik pres [22]

3.1.3. Deneysel çalışmada kullanılan süzdürme çubukları

Deneysel çalışma esnasında farklı tipte ve geometride süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmıştır. Çalışma esnasında yapılan bazı testlerde tek bir set süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmışken bazı testlerde ön gerilme kuvveti oluşturmak için ikinci bir set olan dış süzdürme çubukları kullanılmıştır. Süzdürme çubuklarının tipi ve geometrileri değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmanın 3. 4. ve 5. fazlarında penetrasyon yani süzdürme çubuğunun saca batma miktarının değişken olması için yüksekliği ayarlanabilir iç ve dış süzdürme çubukları kullanılmıştır. Penetrasyon değerlerinin değişken olarak ayarlanabilmesi ile penetrasyon değerinin şekillendirmeye olan etkisinin de hesaplanması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan ayarlanabilir iç ve dış süzdürme çubuğu ve kanalı geometrileri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 da gösterilmiş olup farklı penetrasyon miktarları yükseklik değerleri farklı olan pullar kullanılarak sağlanmıştır.

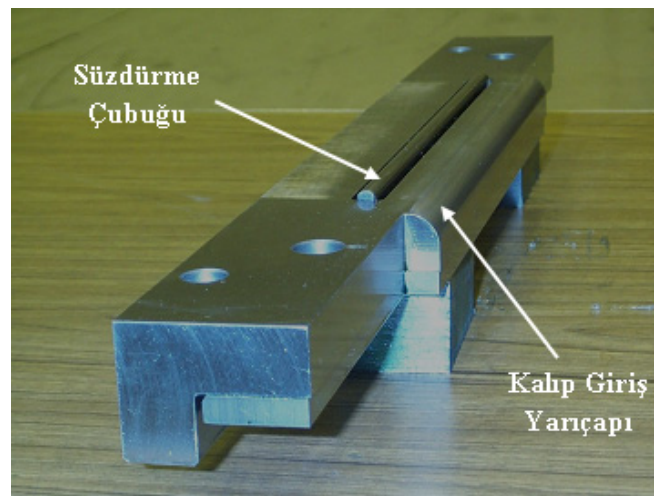


Şekil 3.5. Batma miktarı ayarlanabilir iç süzdürme çubukları [22]



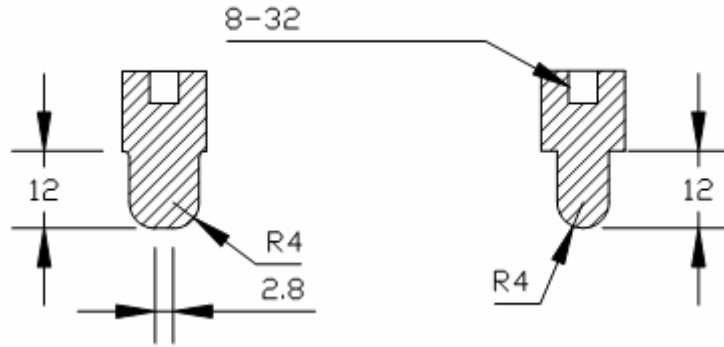
Şekil 3.6. Batma miktarı ayarlanabilir dış süzdürme çubukları [22]

Deneysel çalışmada kullanılan süzdürme çubuğu ve kanalları D2 çeliğinden (50-55 HRC) işlenmiş olup, yüzeyleri son haline orta derece zımpara taşı ve cilalama ile getirilmiştir. Erkek elemanların çalışma yüzeylerinin sertliği 60 HRC'dir [22].



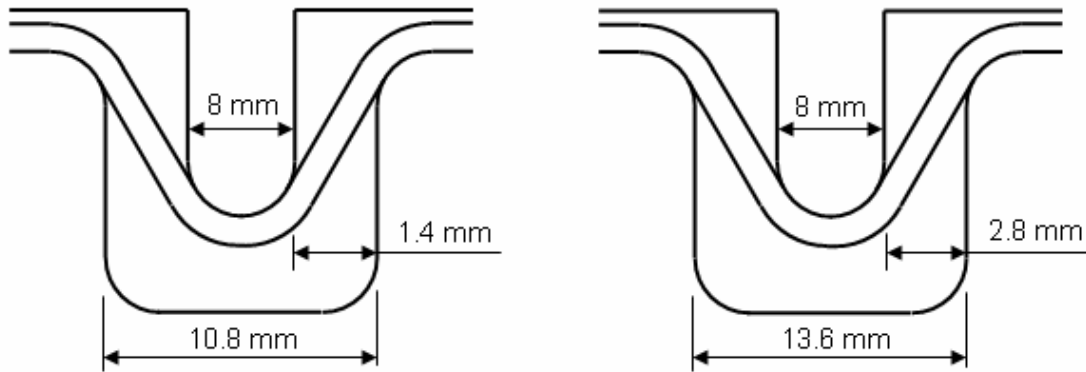
Şekil 3.7. Ayarlanabilir iç süzdürme çubuğu [22]

Deneysel çalışmada kullanılan bir iç süzdürme çubuğu elemanı kalıba bağlanması için kullanılan setle birlikte Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



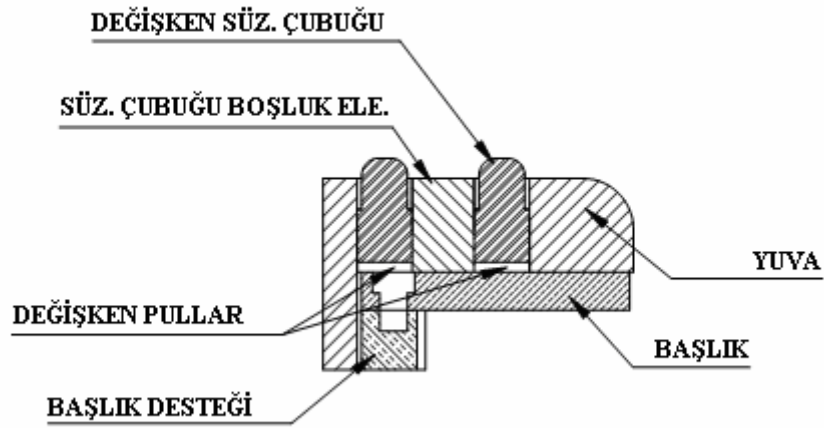
Şekil 3.8. Süzdürme çubuğu kare ve dairesel formlu erkek elemanlar [22]

Deneysel çalışmada kullanılan yarım daire kesitli süzdürme çubukları için süzdürme çubuğu ile kanal arasındaki boşluk değeri için iki farklı değer kullanılmıştır. Bu sayede ilk kalınlık değeri 1.4 mm nin üzerinde olan saclarında deneysel çalışmada kullanılabilir olması sağlanmıştır. Süzdürme çubuğu ve kanalı arasındaki boşluk değerleri 1.4 mm ve 2.8 mm dir ve kullanılan değerler Şekil 3.9 da gösterilmiştir.



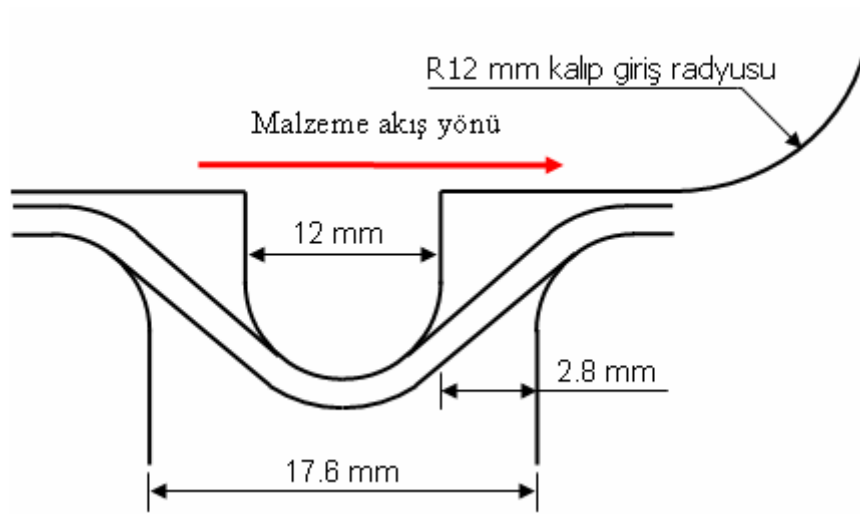
Şekil 3.9. İki farklı boşluk değerine sahip iç süzdürme çubuğunun şematik gösterimi [22]

Projenin 4. fazında şekillendirme esnasında bükme ve geri bükme işleminin sayısını yani çevrim sayısını arttırmak için yeni tip bir süzdürme elemanı kullanılmıştır. Bu eleman üzerinde Şekil 3.10’da gösterildiği gibi iki adet erkek çubuk eleman bulunmaktadır.



Şekil 3.10. 4. fazda kullanılan yeni tip süzdürme çubuğu [22]

Projenin 5. fazında yeni bir iç süzdürme çubuğu ve kanalı kullanılmıştır. Kullanılmış olan süzdürme çubuğunun çubuk yarıçapı değeri 6 mm, kalıp giriş yarıçapı 12 mm ve boşluk değeri 2.8 mm olup süzdürme çubuğu kanalı ve geometrisi Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

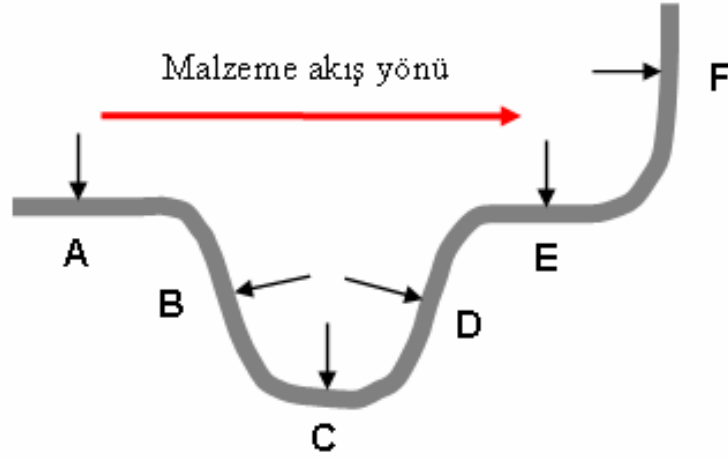


Şekil 3.11. 6 mm yarıçapa sahip iç süzdürme çubuğu [22]

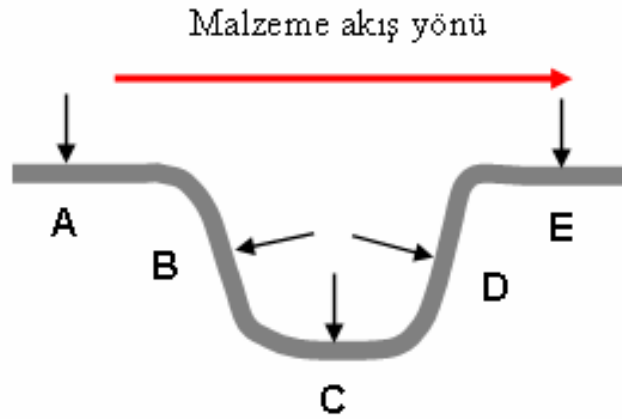
3.1.4. Deneysel çalışma sonrasında kalınlık değerlerinin ölçülmesi

Kanal çekme işlemi sonrasında sac malzeme üzerinde iç ve kullanılmış ise dış süzdürme çubuğu ve kanalı tarafından oluşturulmuş olan form üzerinden Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de şematik olarak gösterilen bölgelerden kalınlık değerleri iğne uçlu

dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen kalınlık değerleri ile sonlu elemanlar modelinin analizinin sonucunda elde edilen kalınlık değerleri sonuçlar kısmında karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.12. İç süzdürme çubuğu için kalınlık ölçüm noktaları [22]



Şekil 3.13. Dış süzdürme çubuğu için kalınlık ölçüm noktaları [22]

3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Tanımlanması

Geometrik yapıları aynı olan süzdürme çubuklarının aynı malzeme ve yağlama tipi için süzdürme çubuğunun batması ve batmadan sonra sacın istenen miktarda

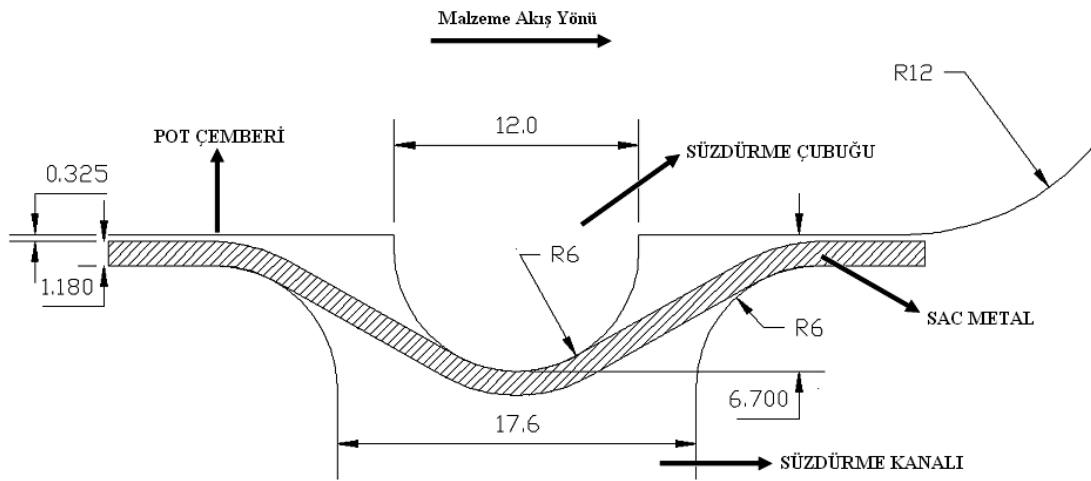
çekilmesi esnasında ön gergi kuvvetinin şekillendirmeye olan etkisinin incelenmesi amacıyla sonlu elemanlar hesaplaması yapıldı.

Şekillendirmeye olan etkisi incelenmek istenen ön gergi kuvveti kalıpta kullanılan ikinci süzdürme çubuğu ile sağlanmıştır. Ön gergi kuvvetinin olduğu test koşuluna ait sonlu elemanlar hesaplaması için sac istenilen çekme miktarında çekilmiş olup ön gergi kuvveti sacın diğer ucunda sacın çekilme yönünün tersi yönde kuvvet değeri olarak modele uygulanmıştır.

Sonlu elemanlar modellerinin oluşturulması için gerekli olan malzemeye ait mekanik özellikler deneysel çalışmanın beşinci fazında kullanılmış olan çift fazlı (DP600) malzemeye ait mekanik özelliklerden alındı. Süzdürme çubuğu ve kanalına ait geometri ve diğer proses koşulları için deneysel çalışmada yapılmış olan testlerden ön gerilmemiş 519 nolu test koşulu ve ön gerilmeli 523 nolu test koşulları seçildi.

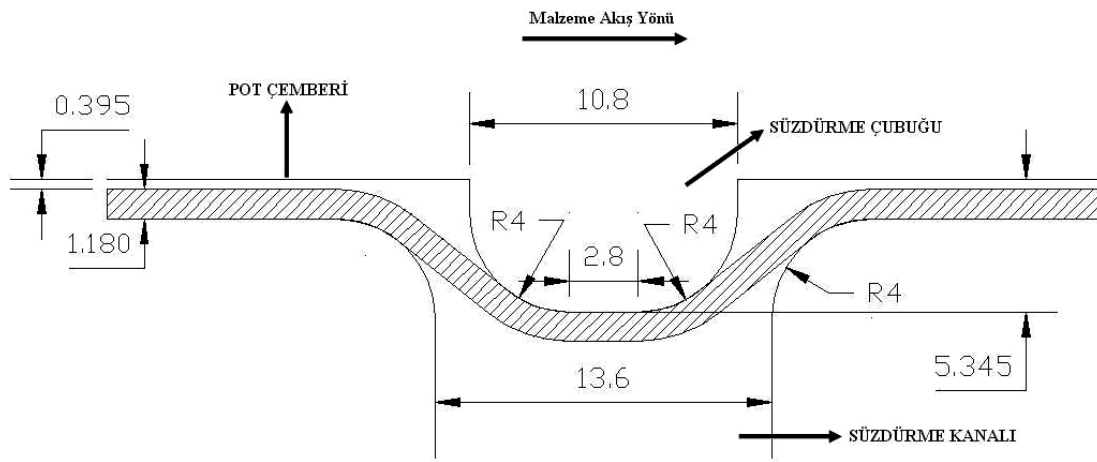
3.2.1. Geometri

Yapılan her iki analiz için kullanılan süzdürme çubuğu geometrisi yarım daire formda olup çubuk yarıçapı ve kanal omuz yarıçapı 6 mm, kanal genişliği ise 17.6 mm. dir. Sac kalınlığı 1.180 mm olup pot çemberi sacdan işlemler öncesinde 0.325 mm yukarıda durmaktadır. (Şekil 3.14)



Şekil 3.14. Süzdürme çubuğu ve kanalı geometrisi

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile hesaplamaları yapılan 523 ve 519 nolu test koşulları için süzdürme çubuğu ve kanalı geometrik olarak aynıdır. Ön gergi kuvvetini olduğu 523 nolu test koşulu için sacın çekilme yönünün tersi yönde bir ön gergi kuvveti uygulanmıştır. Ön gergi kuvveti sacın kanal çekme kalıbında şekillendirilmesi sırasında iç süzdürme çubuğu ve kanalına göre kalıbın bir miktar dışında konumlandırılmış olan bir diğer süzdürme çubuğu ve kanalından geçirilmesi ile sağlanmaktadır. Ön gergi kuvvetini oluşturmak için kullanılan süzdürme çubuğu ve kanalı geometrisi Şekil 3.15’deki gibidir.



Şekil 3.15. Ön gerilmeyi oluşturan süzdürme çubuğu geometrisi

3.2.2. Malzemenin mekanik özellikleri

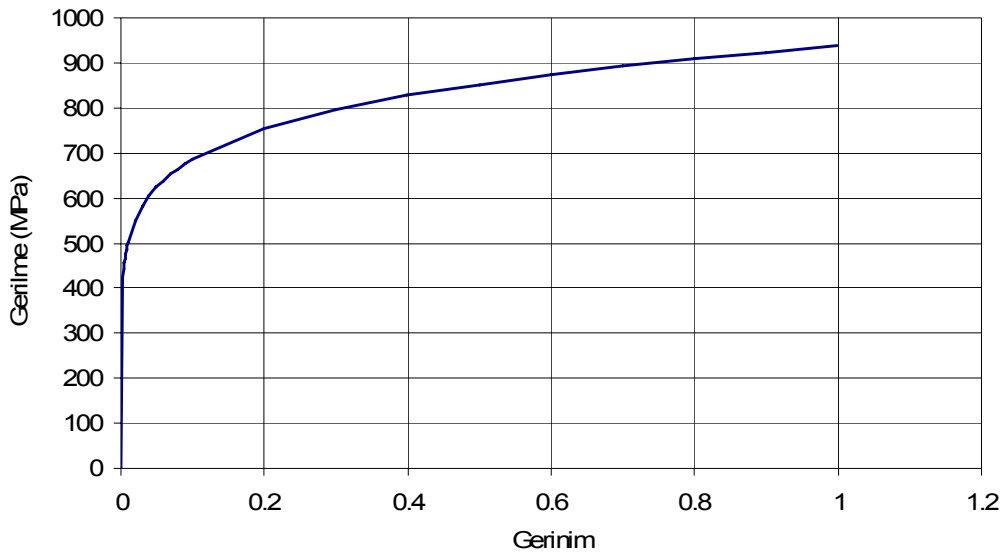
Sonlu elemanlar hesaplamalarında deneysel çalışmanın beşinci fazında kullanılan çift fazlı (DP 600) malzeme kullanılmıştır ve DP 600 malzemeye ait elastik malzeme özellikleri; elastik modül 208 GPa ve poisson sabiti 0.3 olarak alındı. Kullanılan malzemeye ait elastik-plastik malzeme özellikleri Holloman denklemine göre verildi.

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n \quad (3.1)$$

Holloman denkleminde kullanılan değerler tablo T.3’de verilmiş olup bu değerlerden ortalama olarak verilmiş olan değerler kullanılmıştır.

Tablo 3.2. DP600-HDG Malzemeye ait K, n ve σ_{ak} değerleri

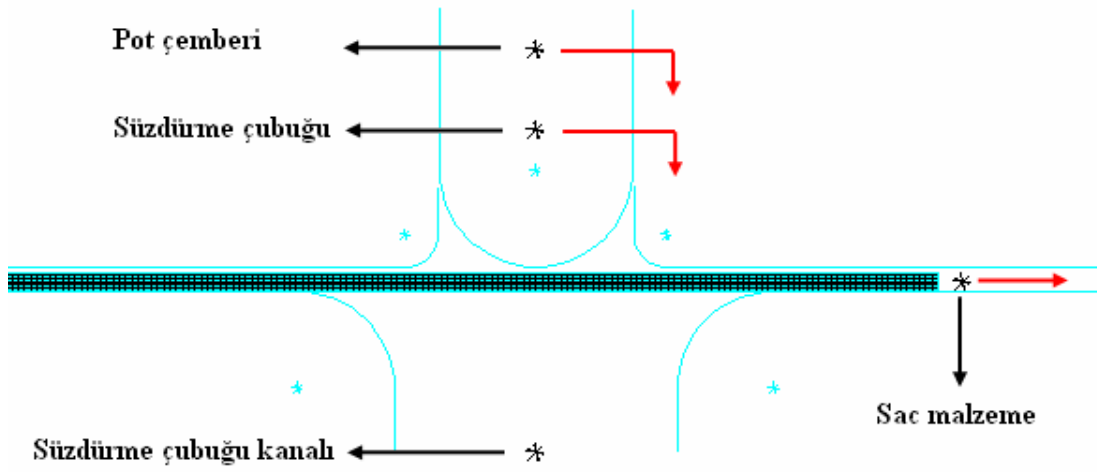
	0	45	90	Ort.
%0.2 Akma Gerilmesi (σ_{ak}) (MPa)	410.9	416.5	423.4	416.8
K (Pekleşme Katsayısı) (MPa)	928.1	939.1	941.2	936.9
n (Pekleşme Üstü)	0.137	0.137	0.133	0.136



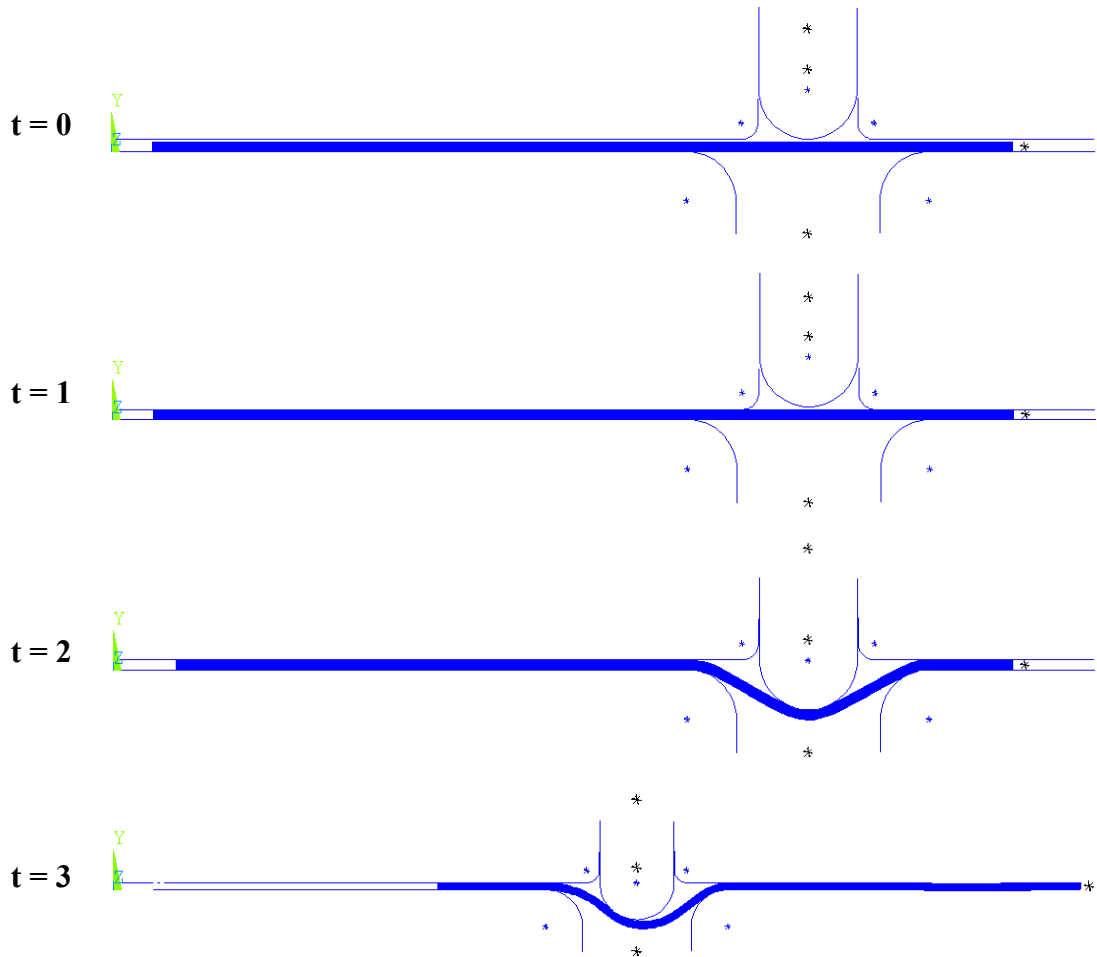
Şekil 3.16. DP600 HDG Malzemeye ait gerilme – gerinim eğrisi

3.2.3. Proses koşulları

Proses Şekil 3.18’de görüldüğü gibi 3 temel adımda gerçekleştirildi. 0–1 sn arasında pot çemberi 0.325 mm aşağı yönde hareket etmesi ile sac malzeme ile pot çemberi arasındaki boşluk kapandı ve bu boşluk değeri analiz boyunca sabit tutuldu. 1–2 sn arasında süzdürme çubuğu 519 nolu test koşulu için 6.37 mm, 523 nolu test koşulu için 5.23 mm aşağı yönde hareket ederek sacı kanala doğru itti. 2–3 sn arasında sac malzeme 519 nolu test koşulu için 47 mm, 523 nolu test koşulu için 60 mm sağ tarafa doğru çekildi. Ön gergi kuvvetinin olduğu 523 nolu test koşulu için 2-3 sn arasında çekme yönünün tersi yönde 309 N/mm ön gergi kuvveti uygulanmıştır. Sonlu elemanlar modeli üzerinde tüm bu hareket değerleri bileşenleri ifade eden bir düğüm noktası üzerine uygulanmıştır. Düğüm noktaları ve hareket yönleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

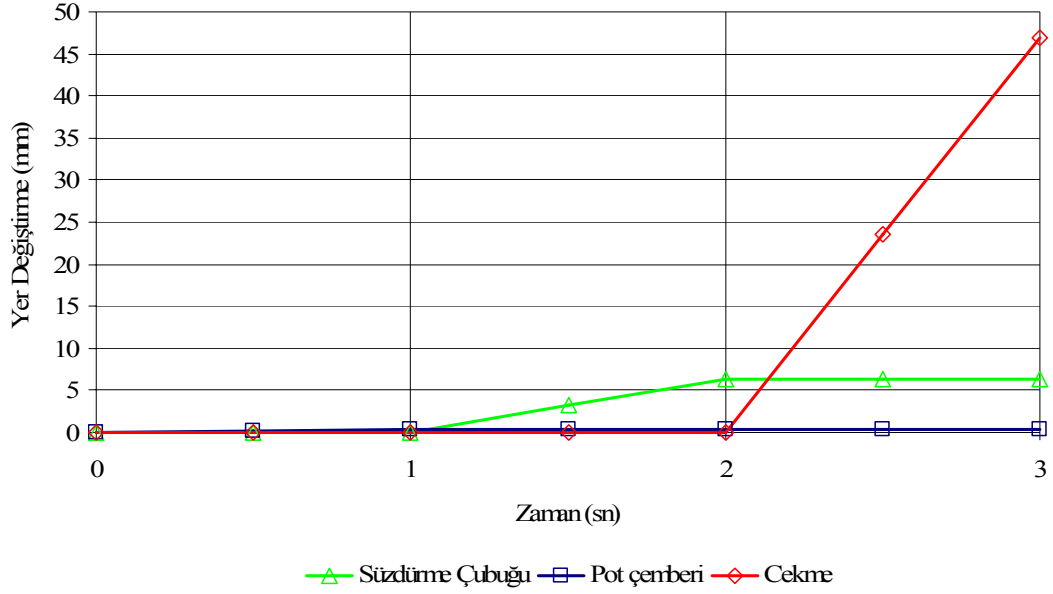


Şekil 3.17. Bileşenleri ifade eden düğüm noktaları ve hareket yönleri

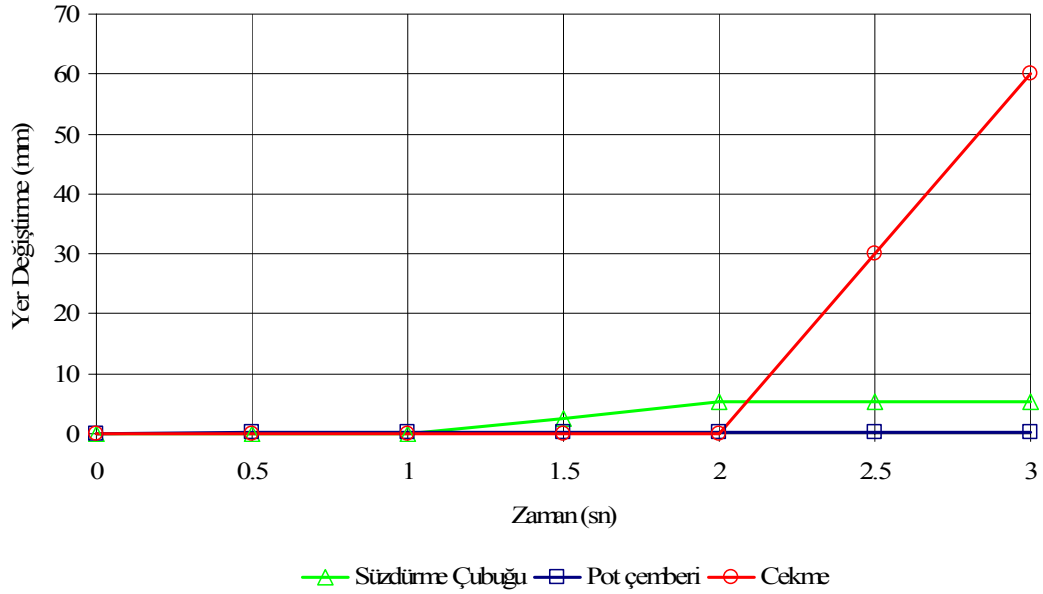


Şekil 3.18. Prosesin her bir saniyesi için bileşenlerin konumları ve şekillendirme işlemleri

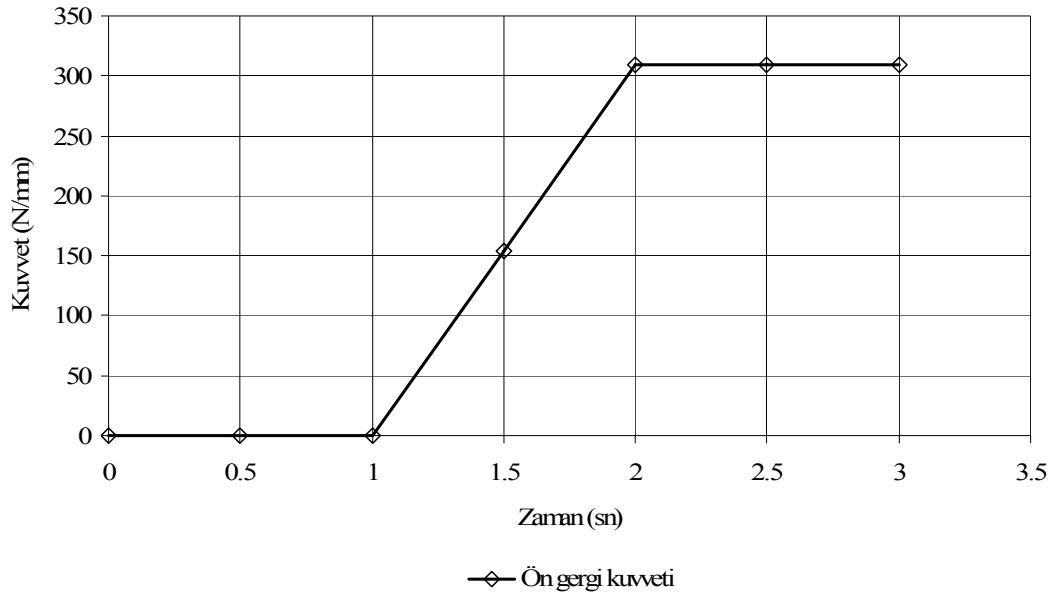
Şekil 3.19’da 519 nolu test koşulu için ve Şekil 3.20’de 520 nolu test koşulu için süzdürme çubuğu ve pot çemberinin hareket miktarları ile çekme miktarının zamana göre değişiminin gösterildiği grafikler yer almaktadır. Şekil 3.21’de 520 nolu test koşulu için çekme yönünün tersi yönde uygulanan ön gerilme kuvvetinin zamana göre değişiminin gösterildiği grafik yer almaktadır.



Şekil 3.19. 519 nolu test için proses koşulları



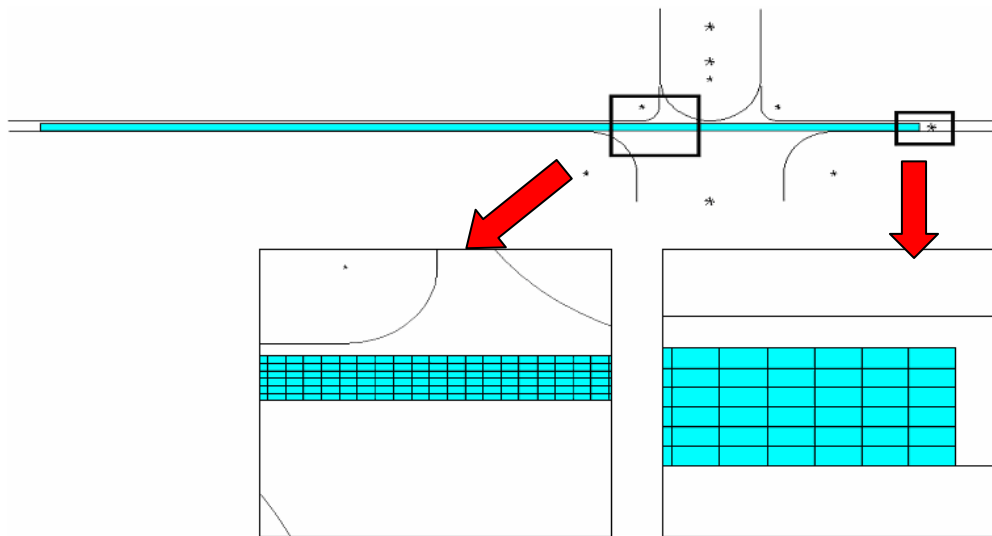
Şekil 3.20. 523 nolu test için sınır şartları



Şekil 3.21. 523 nolu test için ön gerilme sınır şartı

3.2.4. Sonlu elemanlar ağı

Sonlu elemanlar hesaplamaları için oluşturulan modellerde kalınlık yönünde 6 adet eleman kullanıldı, modellerde kullanılan saclar için kalınlık değeri 1.18 mm' dir. (Şekil 3.22)



Şekil 3.22. Oluşturulan sonlu elemanlar ağı

Sonlu elemanlar hesaplamaları için oluşturulan elemanların boyutsal oran 2:1 olarak belirlendi. Sac için sonlu elemanlar ağı oluşturulurken eleman olarak ANSYS Plane 42 olarak seçildi ve kontak bölgelerinde ANSYS Contact 171 ve ANSYS Target 169 elemanları kullanıldı.

Ansys Contact 171 elemanı yüzey – yüzey kontak algoritmasında kullanabilen, her zaman esnek malzeme olarak kullanılan, X ve Y’ de harekete izin veren, iki düğüm noktalı ve doğrusal olmayan analizlerde kullanılabilen bir elemandır [23].

Ansys Target 169 elemanı yüzey – yüzey ve düğüm noktası – yüzey kontak algoritması olarak kullanılabilen, esnek veya rijit malzeme olarak kullanılan, X ve Y’ de harekete izin veren, üç düğüm noktalı, doğrusal olmayan analizlerde kullanılabilen bir elemandır [23].

BÖLÜM 4. SONLU ELEMAN HESAPLAMALARI SONUÇLARI

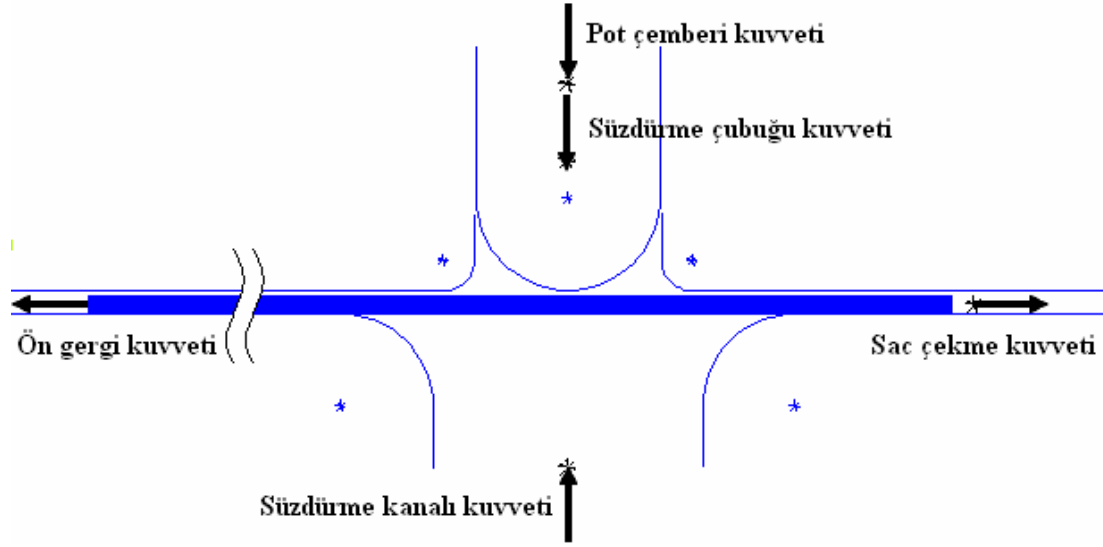
Bu bölümde sonlu elemanlar hesaplaması sonrasında elde edilen çeşitli sonuçlara yer verildi. Ön gerilmeli ve ön gerilmesiz olarak iki sonlu elemanlar hesaplaması yapıldı. Ön gerilmesiz durumda sac bir süzdürme çubuğu ve kanalı üzerinden istenen miktarda çekilmiştir. Ön gerilmeli durumda ise ön gerilme kuvveti oluşturmak amacı ile var olan süzdürme çubuğu ve kanalının yanında kalıp dışına doğru yeni bir süzdürme çubuğu ve kanalı eklenerek sac süzdürme çubukları üzerinden istenilen miktarda çekilmiştir. Her iki hesaplama için kullanılan süzdürme çubuğu ve kanalı geometrileri, malzeme ve yağlama koşulları aynıdır. Ön gerilme kuvvetinin şekillendirmeye olan etkisini ölçmek için yapılmış olan hesaplamada dış tarafa eklenen süzdürme çubuğu ve kanalı tarafından üretilen ön gergi kuvveti sacın çekilme yönünün zıttı olan yönde sacın uç kısmına bir kuvvet değeri olarak verilmiştir.

4.1. Genel Sonuçlar

Yapılan sonlu elemanlar analizlerinden süzdürme çubuğu, süzdürme kanalı, pot çemberi ve sac üzerinde meydana gelen reaksiyon kuvvetleri, gerilme ve gerinim değerleri ile sacda meydana gelen inceme değerleri elde edildi ve elde edilen bu değerler deneysel çalışmadan elde edilen değerler ile karşılaştırıldı.

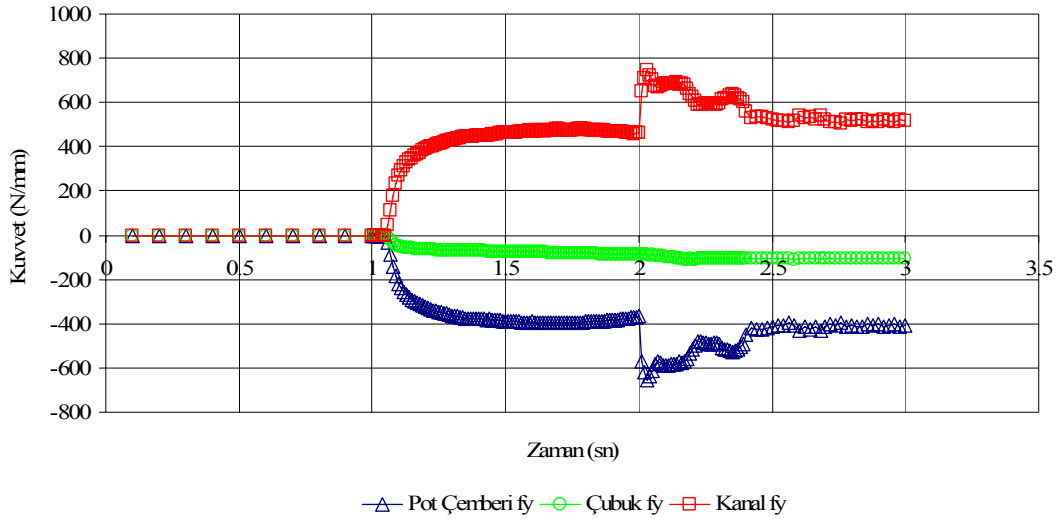
4.1.1. Düşey ve çekme yönündeki kuvvet dengelerinin incelenmesi

Proses esnasında oluşan kuvvetler ve bu kuvvetlerin yerleri şematik olarak Şekil 4.1'de gösterildiği gibi olup kuvvetlerin düşey ve çekme yönündeki bileşenlerinin dengesi bu bölümde incelenmiştir.



Şekil 4.1. Proses esnasında oluşan kuvvetler

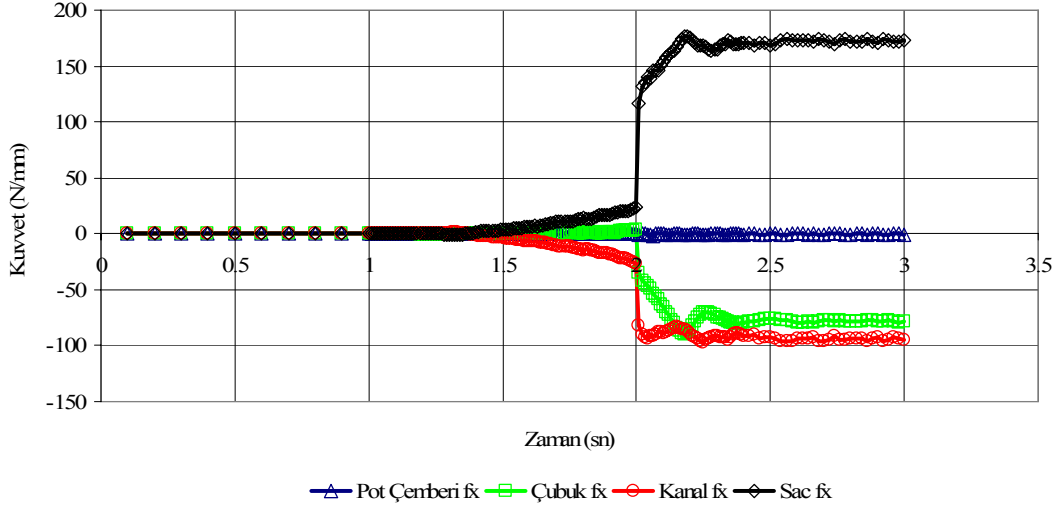
Şekil 4.2’de ön gerilmemiş test koşulu 519 için hazırlanmış olan ve düşey yöndeki kuvvet dengesinin zamana bağlı değişimini gösteren grafik görülmektedir. Süzdürme kanalı üzerinde gelen düşey kuvvet süzdürme çubuğu ve pot çemberi üzerinde oluşan düşey kuvvetlerin toplamı kadar ve onlara zıt yöndedir.



Şekil 4.2. Ön gerilmemiş test 519 için düşey yöndeki kuvvet dengesi

Şekil 4.3’de ön gerilmemiş test koşulu 519 için hazırlanmış olan ve çekme yönündeki kuvvet dengesinin zamana göre değişimini gösteren grafik görülmektedir. Sacın

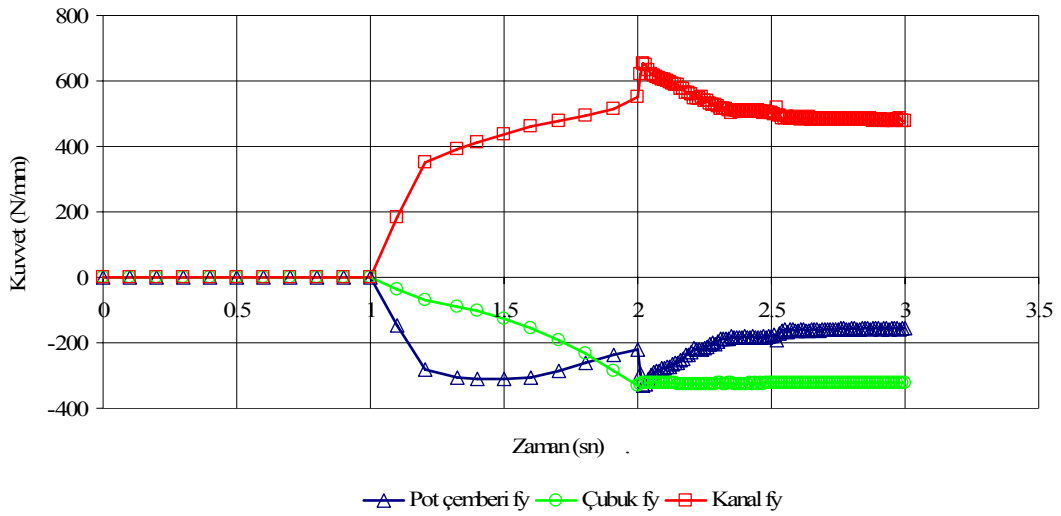
çekilmesi için gerekli olan kuvvet süzdürme çubuğu, süzdürme kanalı ve pot çemberi üzerine gelen kuvvetlerin toplamına eşit ve zıt yöndedir.



Şekil 4.3. Ön gerilmemiş test 519 için çekme yönündeki kuvvet dengesi

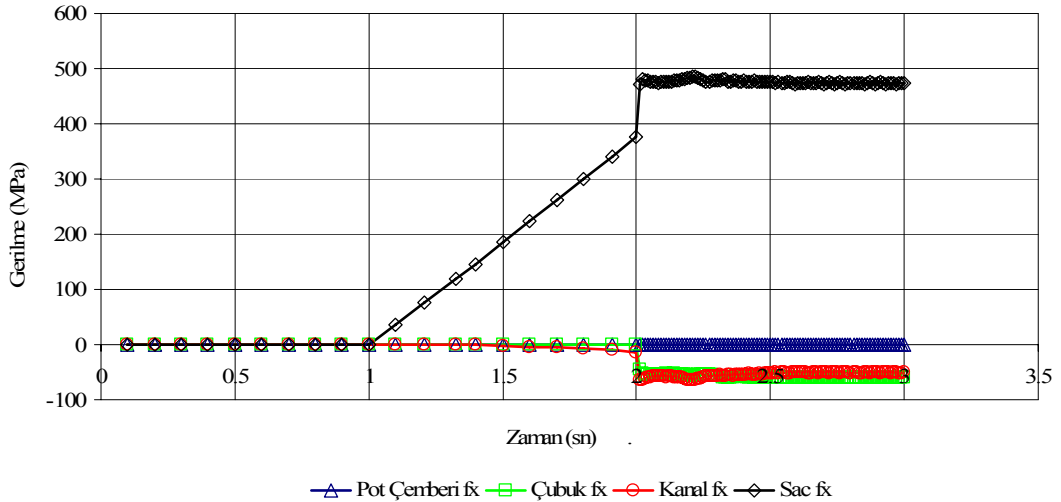
Süzdürme çubuğunun sac batmaya başlamasıyla birlikte çekme kuvveti oluşmaya başlamıştır. Çubuğun saca tamamen batması ile oluşan kuvvet değeri 23,43 N/mm' dir. Sacın çekilmeye başlaması ile birlikte çekme kuvveti hızla artmıştır ve kararlı hale gelmiştir. Çekme için gerekli olan kuvvet 173,381 N/mm' dir. (Şekil 4.3)

Şekil 4.4'de ön gerilmeli test koşulu için hazırlanmış olan ve düşey yöndeki kuvvet dengesini gösteren grafik yer almaktadır. Grafikte pot çemberi için üzerinde oluşan kuvvet değerleri Şekil 4.2'deki ön gerilmemiş durum ile karşılaştırıldığında daha düşüktür, bu sonuca göre ön gerilmenin olduğu durumlarda şekillendirme için daha küçük pot çemberi kuvvetleri yeterli olacaktır.



Şekil 4.4. Ön gerilmeli test 523 için düşey yöndeki kuvvet dengesi

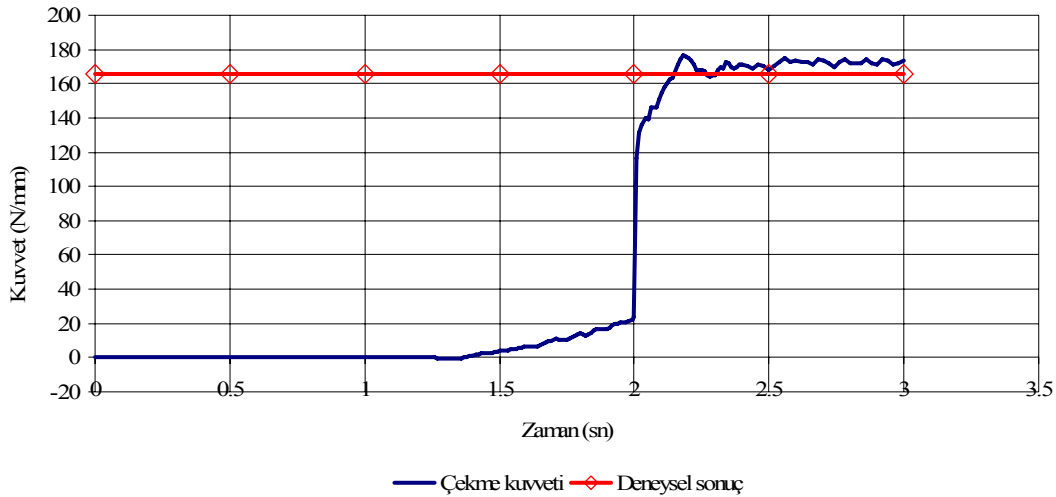
Şekil 4.5'de ön gerilmeli test koşulu için hazırlanmış olan ve çekme yönündeki kuvvet dengesini gösteren grafik yer almaktadır. Grafikte sacın çekilmesi için gerekli olan kuvvet değerinin Şekil 4.3'deki ön gerilmemiş durum için gerekli olan çekme kuvvetinden yüksek çıkmasının sebebi çekme yönünün tersi yönde saca uygulanan ön gergi kuvvetidir.



Şekil 4.5. Ön gerilmeli test 523 için çekme yönündeki kuvvet dengesi

4.1.2. Çekme ve batma kuvvetlerinin incelenmesi

Prosesin 1-2 sn aralığında süzdürme çubuğu sacı süzdürme kanalı içerisine doğru itmektedir ve prosesin 2-3 sn arasında ise sac sağa doğru çekilmektedir. Ön gerilmemiş test koşulu 519 için çekme işleminin tersi yönde herhangi bir kuvvet yoktur ancak ön gerilmeli test koşulu 520’de sacın çekilme yönünün tersi yönde bir ön gerilme kuvveti vardır. Her iki test koşulu için çekme kuvvetinin zamana göre değişimini ve deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’deki grafiklerde verilmiştir.

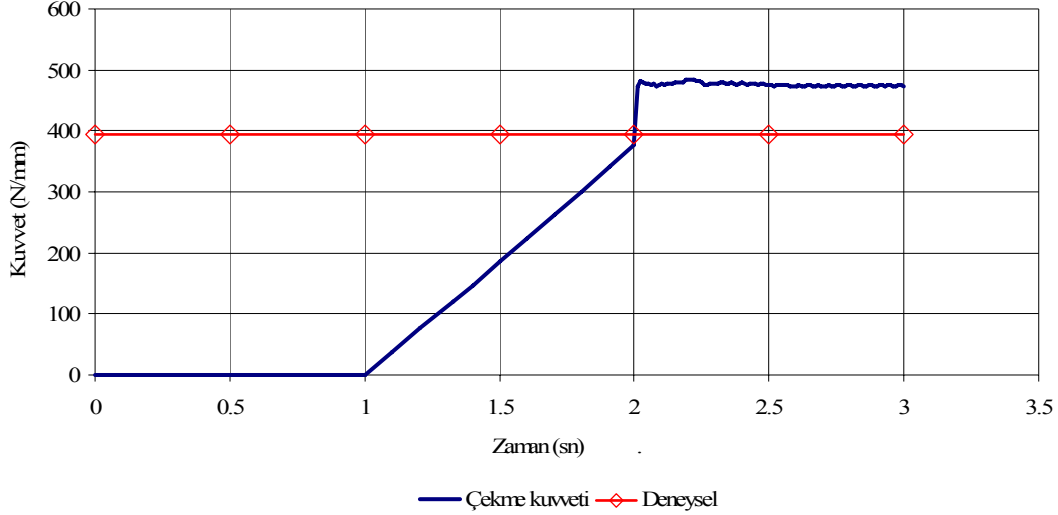


Şekil 4.6. Ön gerilmemiş test 519 için çekme kuvvetinin zamana göre değişimi

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi ön gerilmemiş test koşulu 519 için prosesin 1-2 sn aralığında süzdürme çubuğunun sacı süzdürme kanalı içerisine itmesi için gerekli kuvvet 23 N/mm iken bu değer prosesin 2-3 sn aralığında sacın çekilmesi ile birlikte ortalama olarak 170.917 N/mm olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen ortalama çekme kuvveti değeri 165.92 N/mm olup analiz sonucu elde edilen değer deneysel olarak elde edilen sonuçla uyumludur.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi ön gerilmeli test koşulu 523 için prosesin 1-2 sn aralığında süzdürme çubuğunun sacı süzdürme kanalı içerisine itmesi için gerekli kuvvet 377.146 N/mm iken bu değer prosesin 2-3 sn aralığında sacın çekilmesi ile

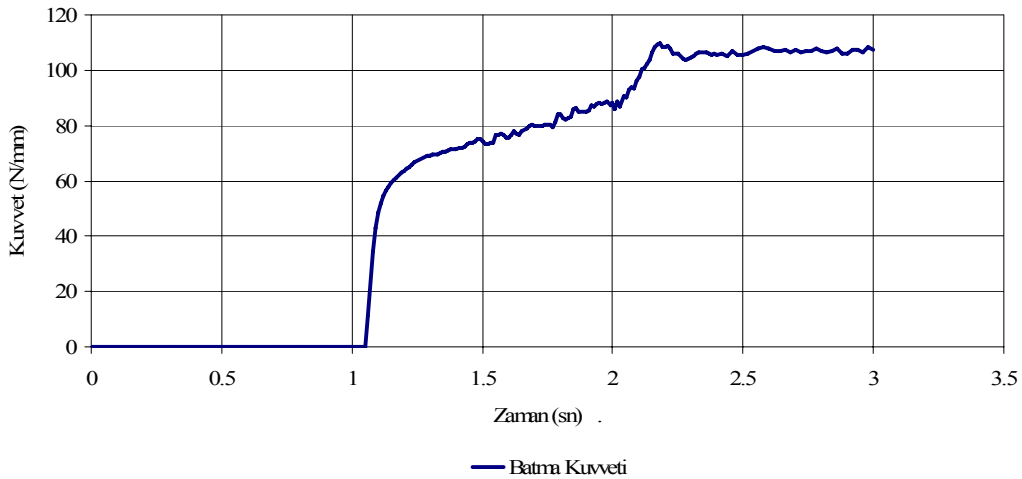
birlikte ortalama olarak 475.675 N/mm olmaktadır. Deneysel olarak elde edilen ortalama çekme kuvveti değeri 393.181 N/mm' dir.



Şekil 4.7. Ön gerilmeli test 523 için çekme kuvvetinin zamana göre değişimi

Şekil 4.6'daki ve Şekil 4.7'deki grafikler karşılaştırıldığında ön gerilmeli durum için ön gerilme kuvveti sebebi ile daha yüksek çekme kuvvetleri gerekmektedir.

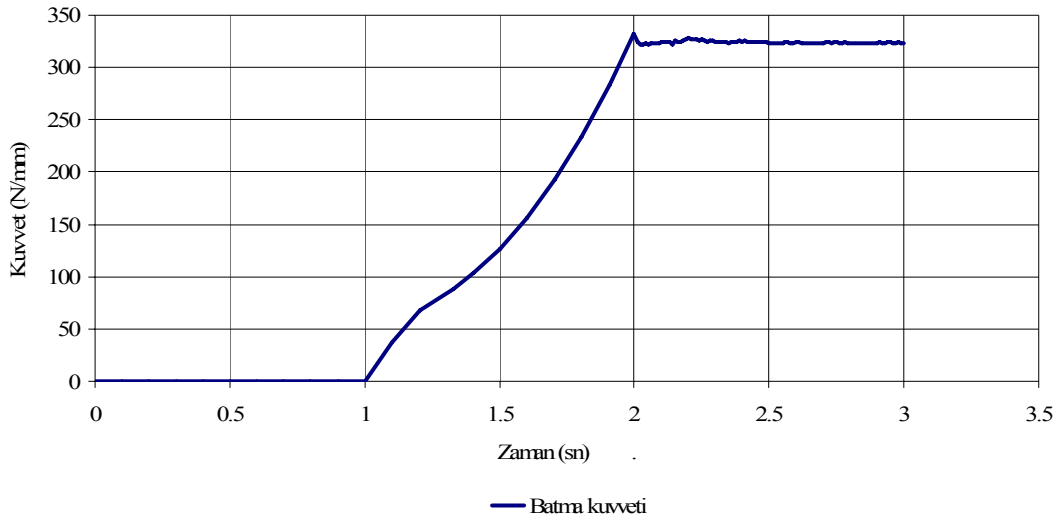
Prosesin 1–2 sn aralığında süzdürme çubuğunun sacı süzdürme kanalına doğru itmesi ile oluşmaya başlayan batma kuvvetinin her iki test koşulu içinde zamana bağlı değişimini gösteren grafikler Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.8. Ön gerilmeliksiz test 519 için batma kuvvetinin zamana göre değişimi

Ön gerilmemiş test koşulu 519 için süzdürme çubuğunun sacı süzdürme kanalı içerisine itmesi ile başlayan batma kuvveti işlem sonunda maksimum değeri 88.3 N/mm olmuştur. Sacın çekilmeye başlaması ile birlikte batma kuvvetinin değeri ortalama olarak 109 N/mm olmuştur. (Şekil 4.8)

Ön gerilmemiş test koşulu 519 için süzdürme çubuğunun sacı süzdürme kanalı içerisine itmesi ile başlayan batma kuvveti işlem sonunda maksimum değeri 330 N/mm olmuştur. Sacın çekilmeye başlaması ile birlikte batma kuvvetinin değeri ortalama olarak 325 N/mm olmuştur. (Şekil 4.9)



Şekil 4.9. Ön gerilmeli test 523 için batma kuvvetinin zamana göre değişimi

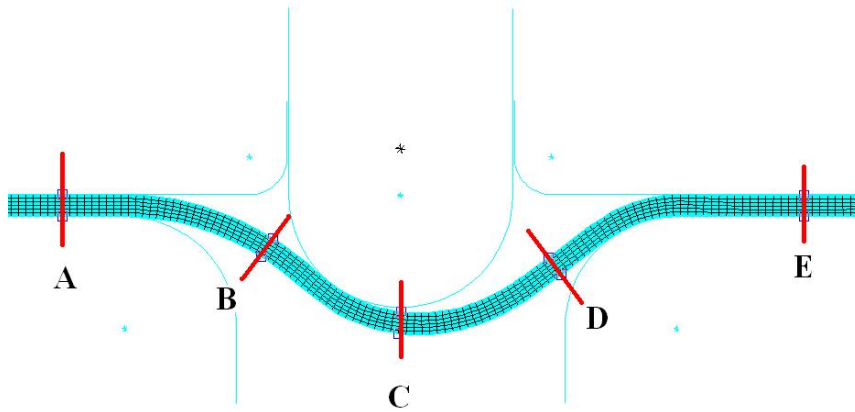
Şekil 4.8'deki ve Şekil 4.9'daki grafikler karşılaştırıldığında ön gerilmeli durum için daha yüksek batma kuvvetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ön gerilmeli durumda sacın çekilmesi esnasında batma kuvvetinin zamana göre değişimi sabit olması sebebi proses esnasında gerekli kuvvet değerlerinin belirlenmesi daha kolaydır.

4.2. Kalınlık değerinin değişiminin incelenmesi

Deneysel çalışmada kanal formunun verilmiş olduğu sac malzemelerin süzdürme çubuğu ve kanalı formunun oluşmuş olduğu bölgelerin 5 ayrı noktasından sac malzemede meydana gelmiş olan incelme değerlerini görmek için ölçümü yapılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen kalınlık ölçüm değerlerinin yapılan sonlu elemanlar hesaplamalarının sonuçları ile karşılaştırabilmek için deneysel çalışmada ölçüm yapılan bölgeler sonlu elemanlar modelleri üzerinden belirlendi ve bu bölgelerden kalınlık değerleri ölçüldü. Karşılaştırma için 5 ayrı bölgeden kalınlık değeri ölçümü yapılmıştır.

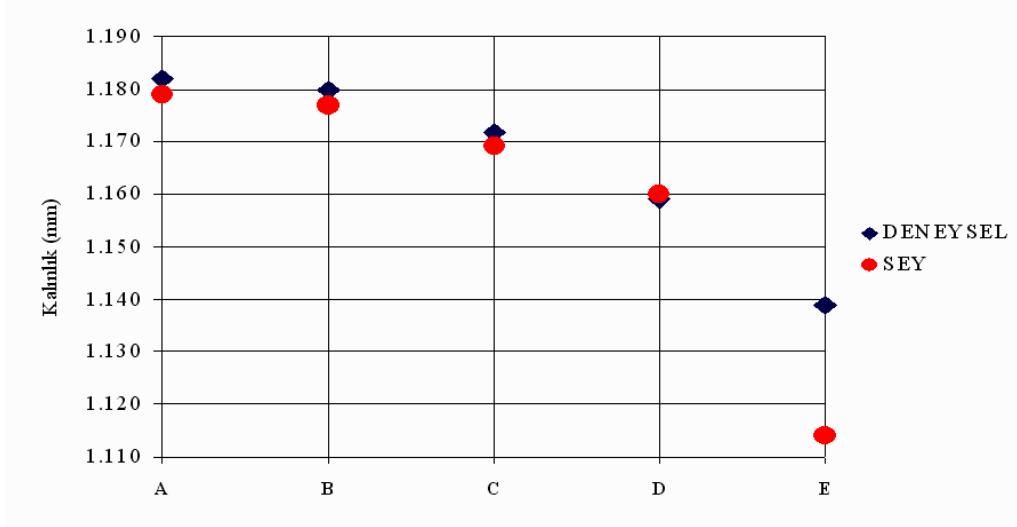
Ön gerilmesiz test koşulu 519 için kalınlık değerlerinin sonlu elemanlar modeli üzerinden ölçüldüğü 5 bölge Şekil 4.10'daki gibidir. Tablo 4.1'de ön gerilmesiz test koşulu 519 için yapılmış olan deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş kalınlık değerleri ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiş olan kalınlık değerleri verilmiştir. Bu değerlerin karşılaştırılması Şekil 4.11'de grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.10. Ön gerilmesiz test 519 için kalınlık değerlerinin ölçüldüğü bölgeler

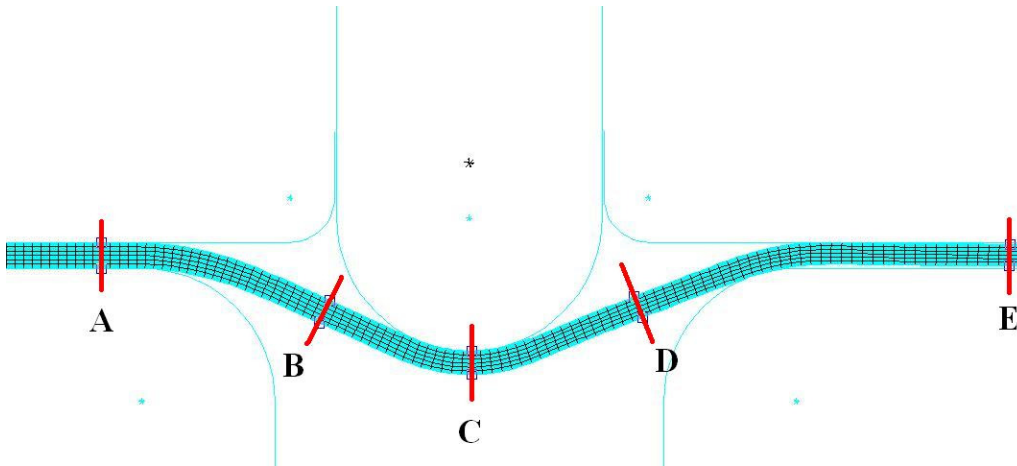
Tablo 4.1. Ön gerilmesiz test 519 için kalınlık değerlerini karşılaştırılması

KESİT	DENEYSEL	SEY
A	1.182	1.179
B	1.180	1.177
C	1.172	1.169
D	1.159	1.160
E	1.139	1.114



Şekil 4.11. Ön gerilmemiş test 519 için elde edilen değerlerin grafik üzerinde gösterimi

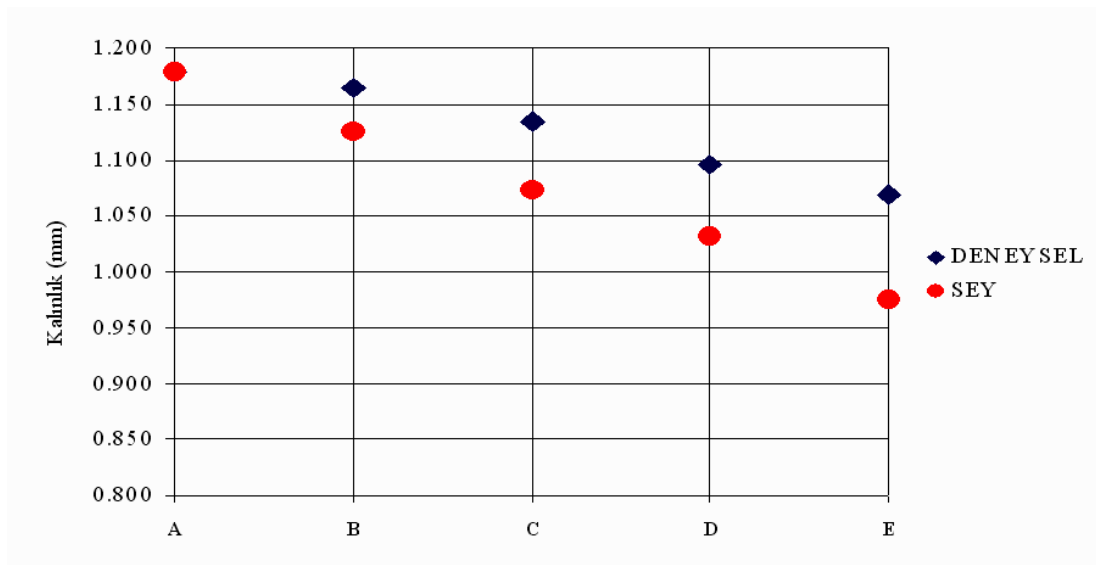
Ön gerilmeli test koşulu 523 için kalınlık değerlerinin sonlu elemanlar modeli üzerinden ölçüldüğü 5 bölge Şekil 4.12'deki gibidir. Tablo 4.2'de ön gerilmeli test koşulu 523 için yapılmış olan deneysel çalışma sonucunda elde edilmiş kalınlık değerleri ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiş olan kalınlık değerleri verilmiştir. Bu değerlerin karşılaştırılması Şekil 4.13'de grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 4.12. Ön gerilmeli test 523 için kalınlık değerlerinin ölçüldüğü bölgeler

Tablo 4.2. Ön gerilmeli test 523 için kalınlık değerlerini karşılaştırılması

KESİT	DENEYSEL	SEY
A	1.179	1.179
B	1.165	1.126
C	1.134	1.073
D	1.095	1.031
E	1.069	0.975

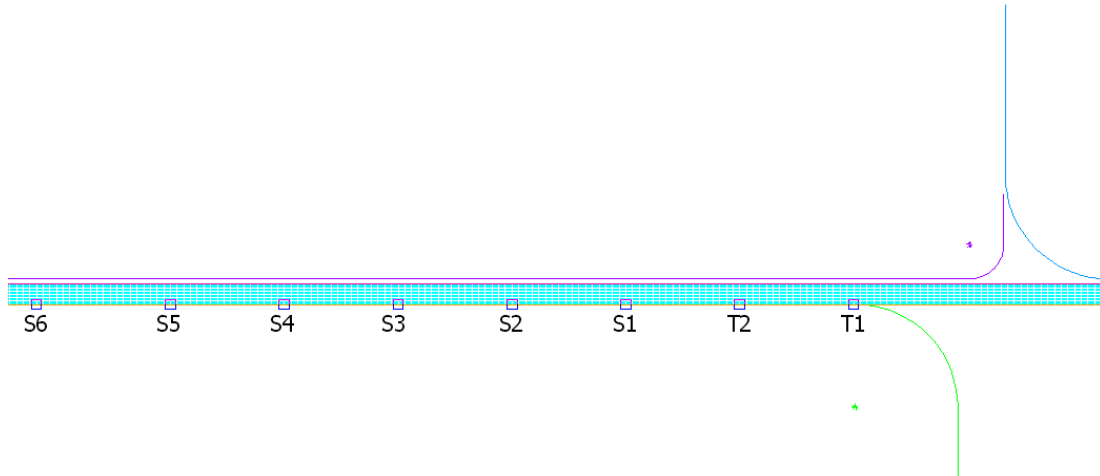


Şekil 4.13. Ön gerilmeli test 523 için elde edilen değerlerin grafik üzerinde gösterimi

Şekil 4.10 ve Şekil 4.12 incelendiğinde sac malzemenin şekillendirme esnasında süzdürme çubuğunu alt bölgesinden geçip kanal sağ omuz bölgesine geçişi sırasında göstermiş olduğu akış davranışı ön gerilmemiş ve ön gerilmeli durumda birbirinde farklıdır ve ön gerilmeli test koşulu 523 için daha düzgün bir yapıda geçiş gözlenmiştir.

4.3. Yerel sonuçlar

Yerel sonuçların incelenebilmesi için sac üzerinden eşit aralıklarda sekiz nokta seçildi. Seçilen noktalar Şekil 4.14'te gösterilmiş olup bu noktalardan T_1 noktası proses başlangıcında kanalın sol omzun radyus başlangıcında, son nokta olan S_6 ise tüm proses tamamlandığında kanal sol omzunda radyus başlangıcında yer alacak şekilde seçilip ara noktalar eşit aralıklarda olacak şekilde seçilmiştir. Seçilen her bir kesit için sacın alt, orta ve üst noktalarından toplamda 24 noktadan veriler elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Yerel sonuçların elde edilmesi için kullanılan kesitler

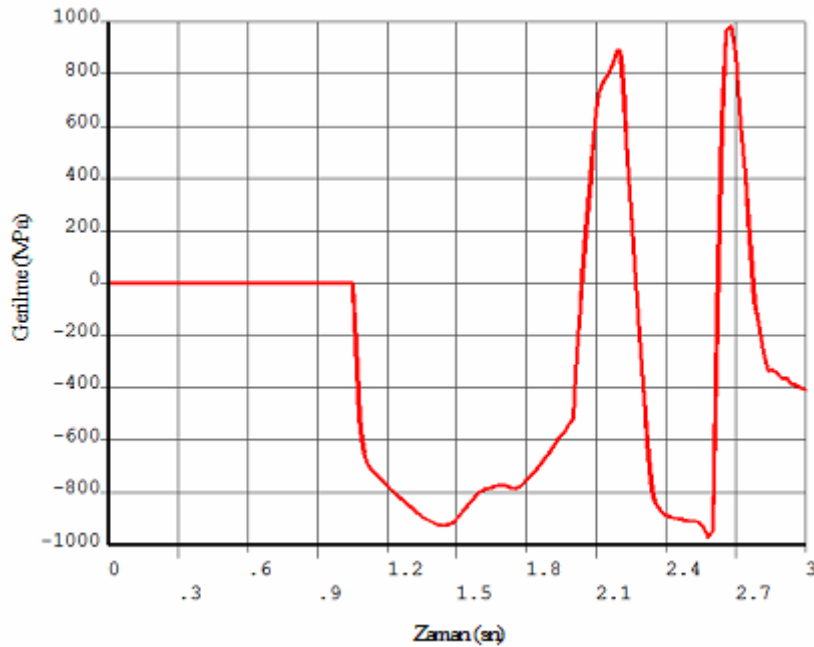
4.3.1. T1 bölgesinin incelenmesi

T1 bölgesi süzdürme kanalının sol omuz radyus başlangıcında yer almaktadır. Süzdürme kanalının sağ omzundan sonra sac bükülmeye ya da geri bükülmeye zorlanmaz bu sebeple bu kısım kararlı bölge olarak adlandırılabilir. T1 bölgesi prosesin başlamasından bitimine kadar olan süre içerisinde tüm süzdürme çubuğu ve kanalı içerisinde geçer ve kararlı bölgeye ulaşır. Bu kısımda T1 bölgesinin proses esnasında süzdürme kanalının sol omuz bölgesinde olduğu, süzdürme çubuğunun uç kısmında olduğu ve süzdürme çubuğu sağ omzunu geçerek kararlı bölgede olduğu 3 an için çekme yönündeki gerilme değeri, kayma gerilmesi ve düşey yöndeki gerilme değerleri incelendi. Ön gerilmeli ve ön gerilmemiş test koşullarında bu durumlar

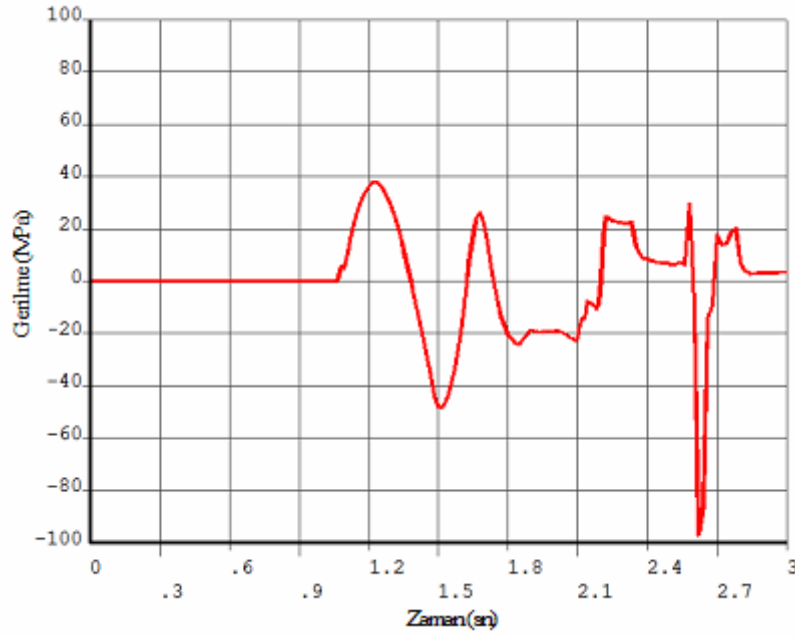
prosesin farklı zamanlarında gerçekleşmektedir. Tüm ölçümler T1 bölgesinin alt kısmından alınmıştır.

Ön gerilmemiş test koşulu 519 için T1 bölgesi $t = 0$ ya da $t = 1.00$ aralığında sadece pot çemberinin hareket etmesi sebebiyle yer değiştirmemektedir ve süzdürme kanalı sol omuz radyus girişindedir, $t = 2.3'$ de süzdürme çubuğunun tepe noktasında ve $t = 2.8'$ de kanal sağ omuz radyus çıkışını geçmiş ve kararlı bölgededir.

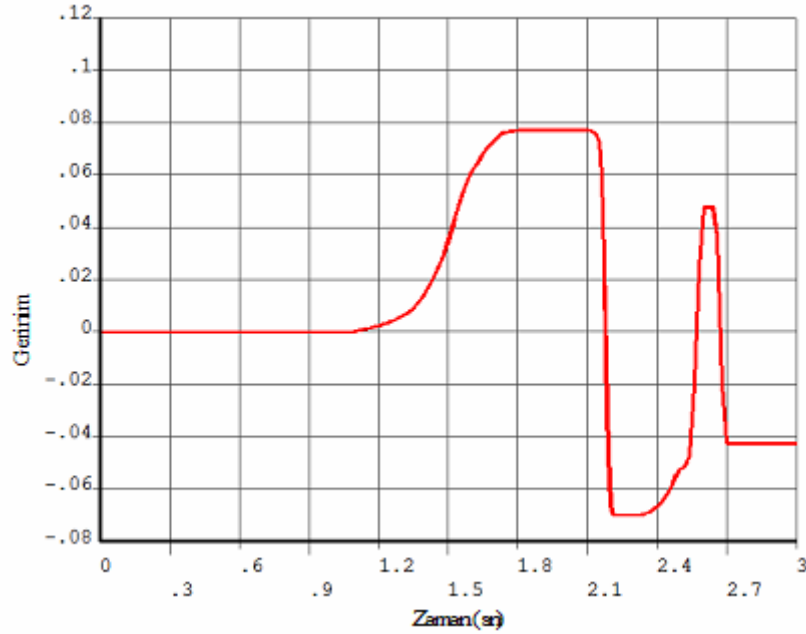
T1 noktası $t = 0$ ya da $t = 1$ anında sol kanal omuz üstünde yer almaktadır bu andaki gerilme değeri 0 MPa'dır. T1 noktası bu bölgeyi geçip çubuk alt kısmına gelene kadar önce kanala doğru bükülür daha sonra ters yöne bükülerek doğrultulur. Doğrultma işleminin başladığı bölge çubuğun alt kısmı olup T1 noktası $t = 2.3'$ da buraya ulaştığında çekme yönündeki gerilme değeri -384.53 MPa olmaktadır. T1 noktası çubuğun alt kısmından geçtiği anda tekrar bükülür ve kanal sağ omzunda ters yönde bükülerek doğrultulur ve sağ omuz bölgesini geçerek T1 noktası $t = 2.8'$ da kararlı bölgeye ulaştığında çekme yönündeki gerilme değeri -156.1 MPa'dır.



Şekil 4.15. Ön gerilmemiş test 519 için çekme yönündeki gerilme değişimi



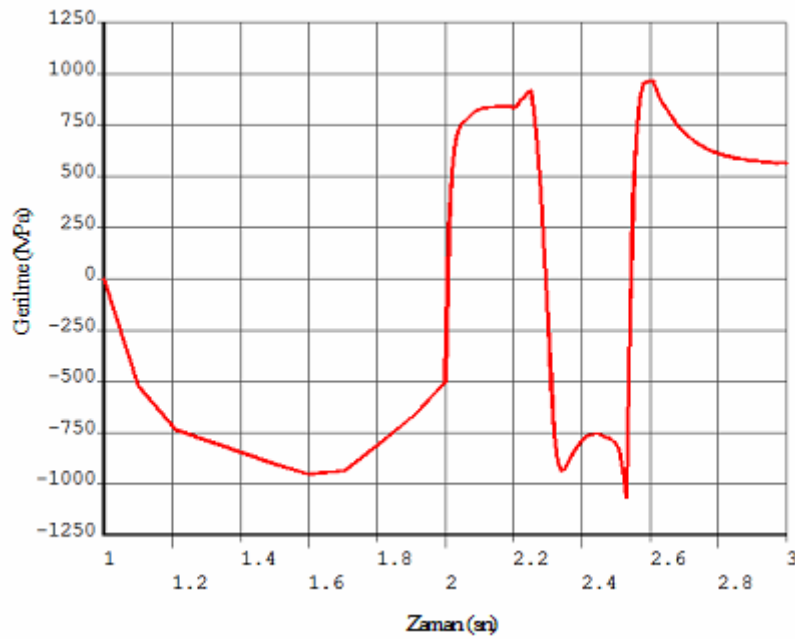
Şekil 4.16. Ön gerilmemiş test 519 için kayma gerilmesi değişimi



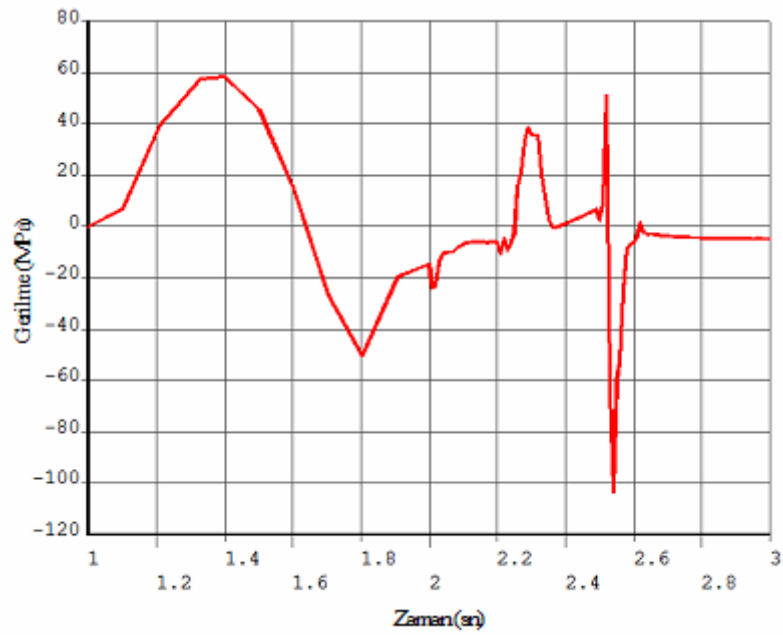
Şekil 4.17. Ön gerilmemiş test 519 için düşey yöndeki gerilim değişimi

Ön gerilmeli test koşulu 523 için T1 bölgesi $t = 0$ ya da $t = 1.00$ aralığında sadece pot çemberinin hareket etmesi sebebiyle yer değiştirmemektedir ve süzdürme kanalı sol omuz radyus girişindedir, $t = 2.27$ ' de süzdürme çubuğunun tepe noktasında ve $t = 2.7$ ' de kanal sağ omuz radyus çıkışını geçmiştir ve kararlı bölgededir.

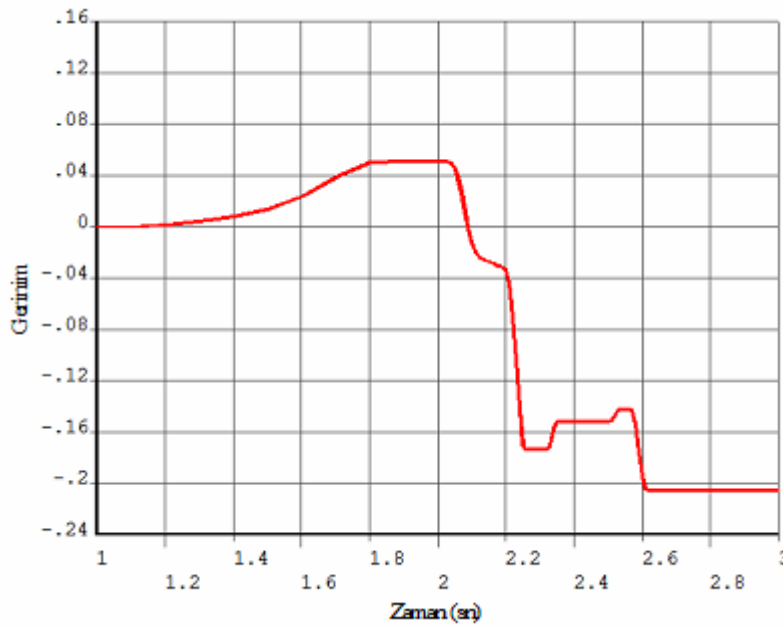
T1 noktası $t = 0$ ya da $t = 1$ anında sol kanal omuz üstünde yer almaktadır bu andaki gerilme değeri 0 MPa'dır. T1 noktası bu bölgeyi geçip çubuk alt kısmına gelene kadar önce kanala doğru bükülür daha sonra ters yöne bükülerek doğrultulur. Doğrultma işleminin başladığı bölge çubuğun alt kısmı olup T1 noktası $t = 2.27$ 'de buraya ulaştığında çekme yönündeki gerilme değeri 645.75 MPa olmaktadır. T1 noktası çubuğun alt kısmından geçtiği anda tekrar bükülür ve kanal sağ omzunda ters yönde bükülerek doğrultulur ve sağ omuz bölgesini geçerek T1 noktası $t = 2.7$ 'de kararlı bölgeye ulaştığında çekme yönündeki gerilme değeri 711.85 MPa'dır.



Şekil 4.18. Ön gerilmeli test 523 için çekme yönündeki gerilme değişimi



Şekil 4.19. Ön gerilmeli test 523 için kayma gerilmesi değişimi



Şekil 4.20. Ön gerilmeli test 523 için düşey yöndeki gerinim değişimi

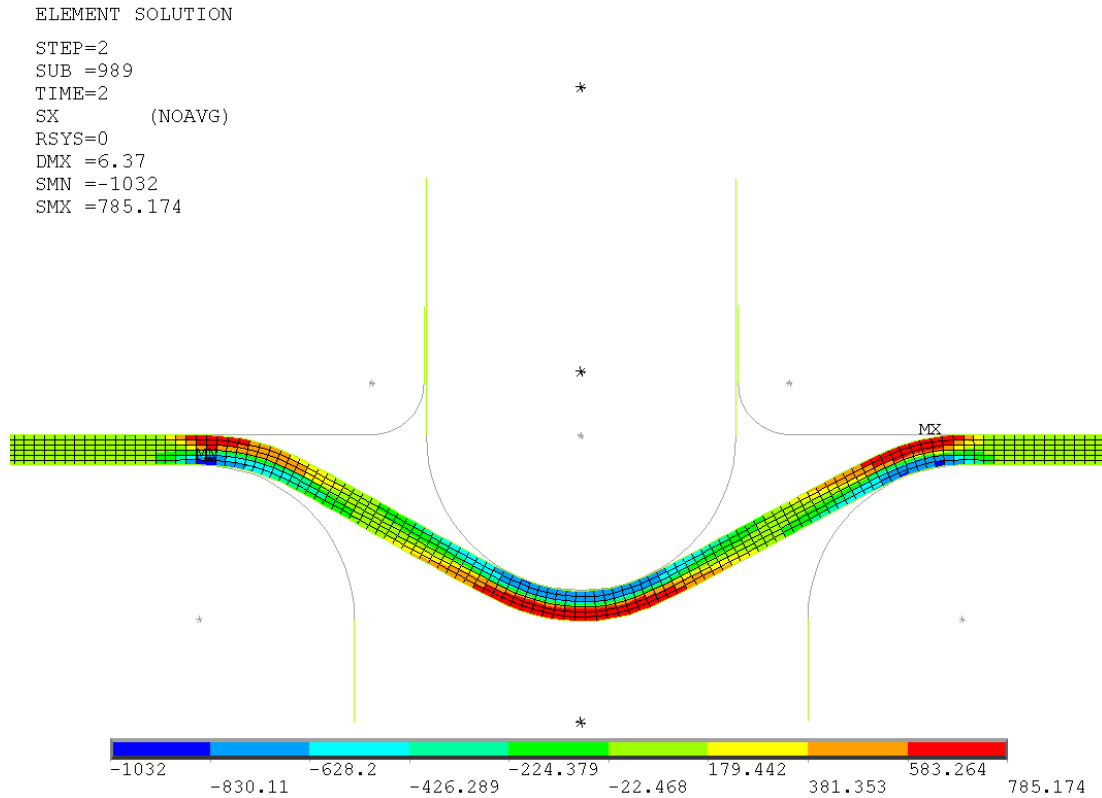
4.4. Deformasyon Değerlerinin İncelenmesi

Bu kısımda ön gerilmemiş ve ön gerilmeli test koşulları için prosesin 2. ve 3. saniyelerinde yani süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamlandığı zaman için

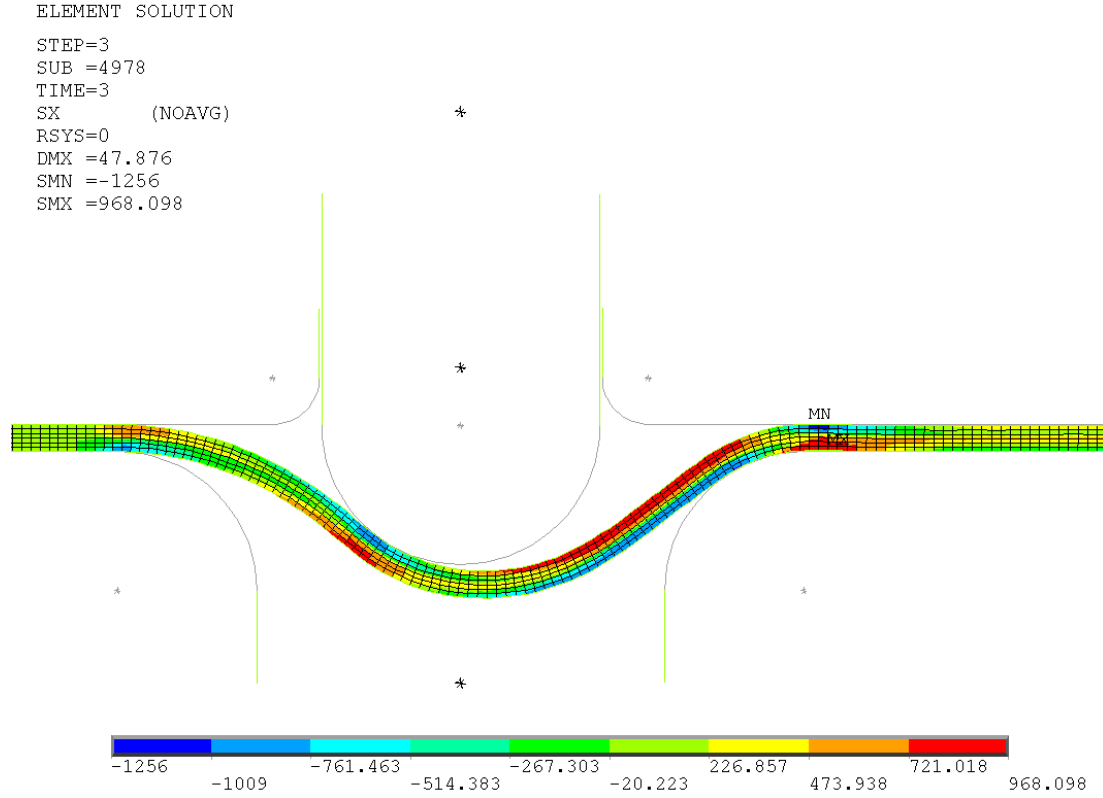
sacın çekilme işleminin tamamlandığı zaman için çekme yönündeki, batma yönündeki gerilme değerleri ile kayma gerilmeleri değerleri verildi.

4.4.1. Çekme yönündeki gerilme dağılımları

Ön gerilmemiş test koşulu 519 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamladığı prosesin 2. saniyesinde çekme yönündeki gerilme dağılımı Şekil 4.21'de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 785 MPa'dır ve süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve sacın üst kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 1032 MPa'dır ve süzdürme kanalının sol omuz bölgesinde ve sacın alt bölgesinde çıkmıştır (Şekil 4.21). Sacın çekilme işleminin tamamlandığı prosesin 3. saniyesinde çekme yönündeki gerilme dağılımı Şekil 4.22'de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 968 MPa'dır ve süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve sacın alt kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 1256 MPa'dır ve süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve sacın üst kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.21. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerilme dağılımı

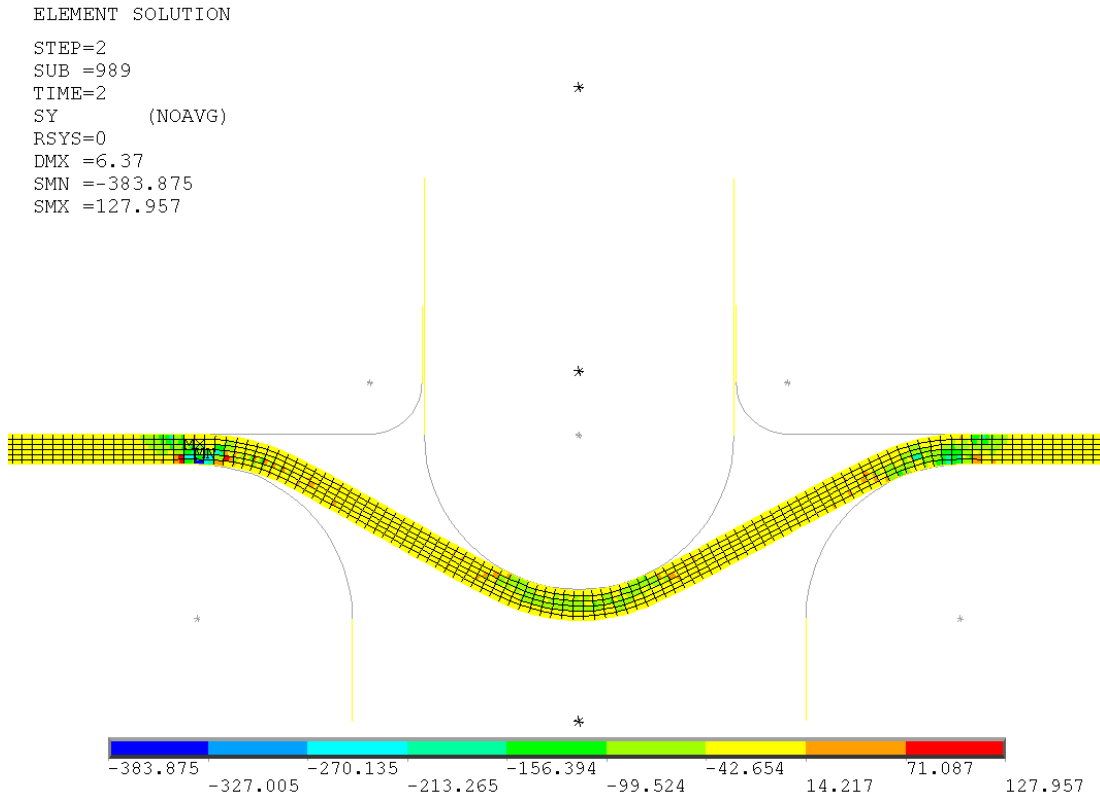


Şekil 4.22. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 3$ anındaki çekme yönündeki gerilme dağılımı

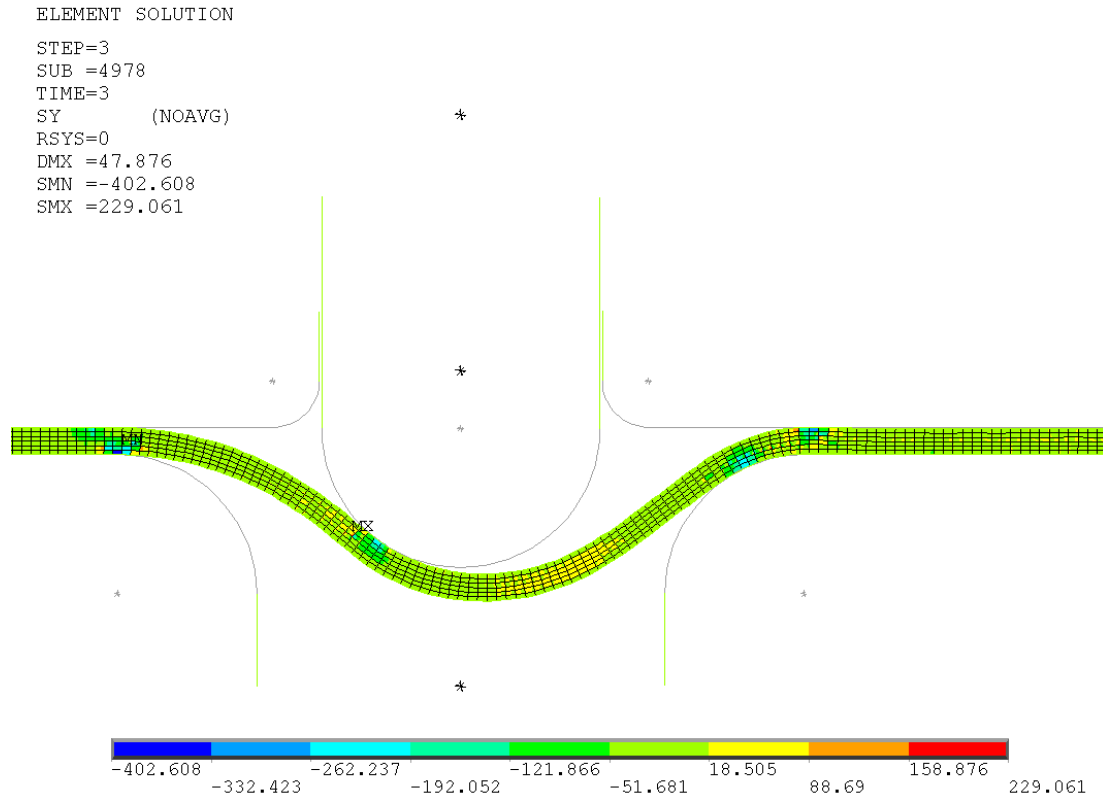
Ön gerilmeli test koşulu 523 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamladığı prosesin 2. saniyesinde çekme yönündeki gerilme dağılımı Şekil 4.23’de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 816 MPa’dır ve süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve sacın üst kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 1035 MPa’dır ve süzdürme kanalını sol omuz bölgesinde ve sacın alt bölgesinde çıkmıştır (Şekil 4.23). Sacın çekilme işleminin tamamlandığı prosesin 3. saniyesinde çekme yönündeki gerilme dağılımı Şekil 4.24’de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 947 MPa’dır ve süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve sacın üst kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 1223 MPa’dır ve süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve sacın alt kısmında meydana gelmiştir.

4.4.2. Düşey yöndeki gerilme dağılımları

Ön gerilmemiş test koşulu 519 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamladığı prosesin 2. saniyesinde düşey yöndeki gerilme dağılımı Şekil 4.25’de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 128 MPa’dır ve süzdürme kanalı sol omuz bölgesinde ve sacın alt kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 384 MPa’dır ve süzdürme kanalının sol omuz bölgesinde ve sacın alt bölgesinde çıkmıştır (Şekil 4.25). Sacın çekilme işleminin tamamlandığı prosesin 3. saniyesinde basma yönündeki gerilme dağılımı Şekil 4.26’de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 229 MPa’dır ve süzdürme çubuğunun sol yan bölgesinde ve sacın üst kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 402 MPa’dır ve süzdürme kanalı sol omuz bölgesinde ve sacın alt kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.26).

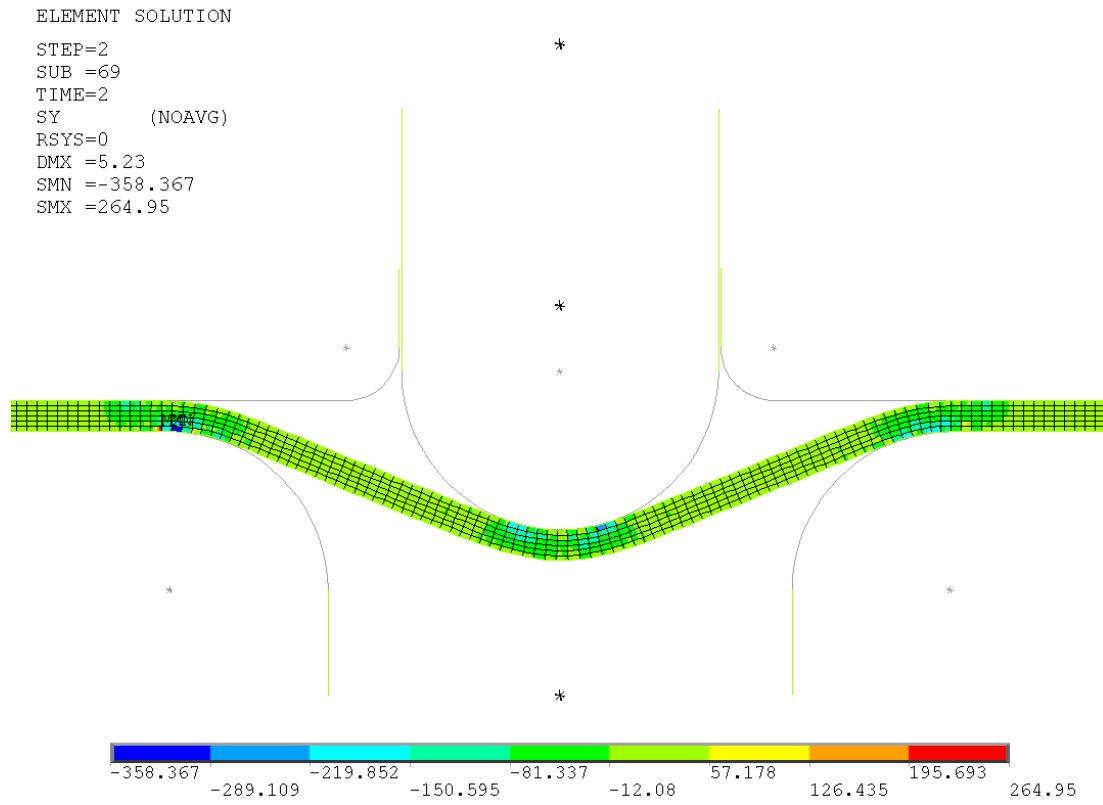


Şekil 4.25. Ön gerilmemiş test 519 için t = 2 anında düşey yöndeki gerilme dağılımı

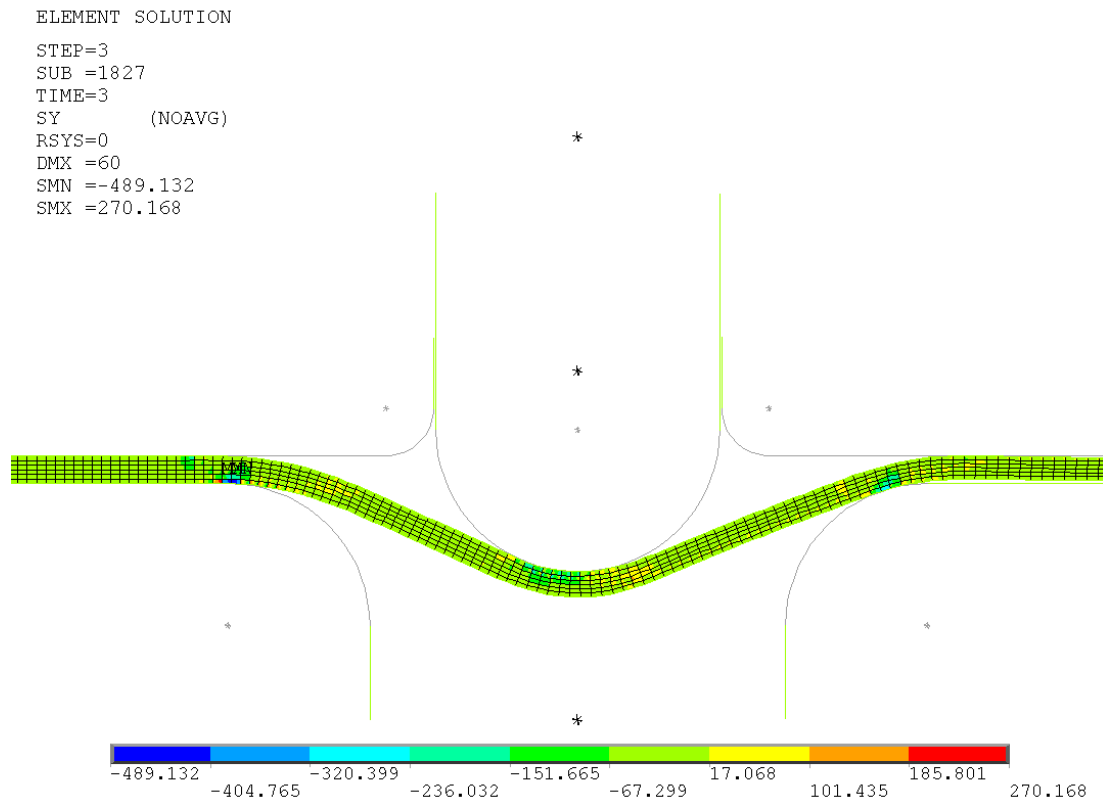


Şekil 4.26. Gerilmesiz test 519 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı

Ön gerilmeli test koşulu 523 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamladığı prosesin 2. saniyesinde düşey yöndeki gerilme dağılımı Şekil 4.27'de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 265 MPa'dır ve süzdürme kanalı sol omuz bölgesinde ve sacın alt kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 358 MPa'dır ve süzdürme kanalının sol omuz bölgesinde ve sacın alt bölgesinde çıkmıştır (Şekil 4.27). Sacın çekilme işleminin tamamlandığı prosesin 3. saniyesinde basma yönündeki gerilme dağılımı Şekil 4.28'de verilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi değeri 270 MPa'dır ve süzdürme çubuğunun sol yan bölgesinde ve sacın alt kısmında çıkmıştır. Meydana gelen maksimum basma gerilmesi değeri 489 MPa'dır ve süzdürme kanalı sol omuz bölgesinde ve sacın alt kısmında meydana gelmiştir (Şekil 4.28).



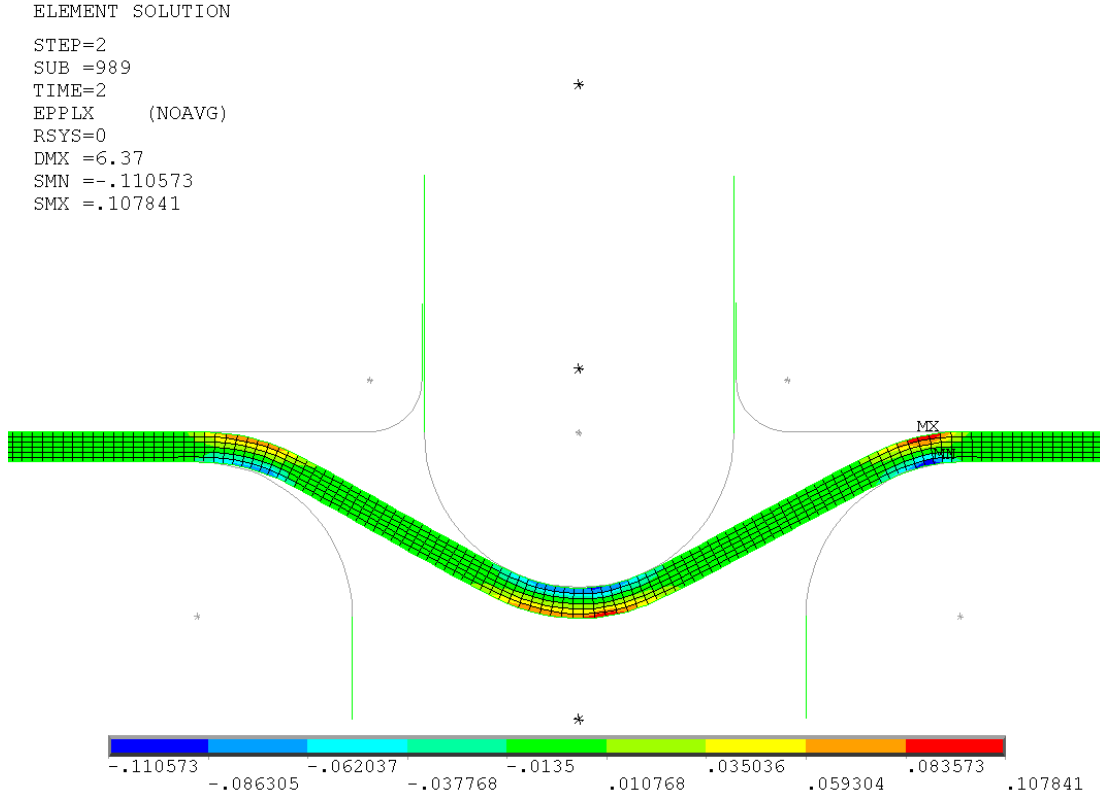
Şekil 4.27. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı



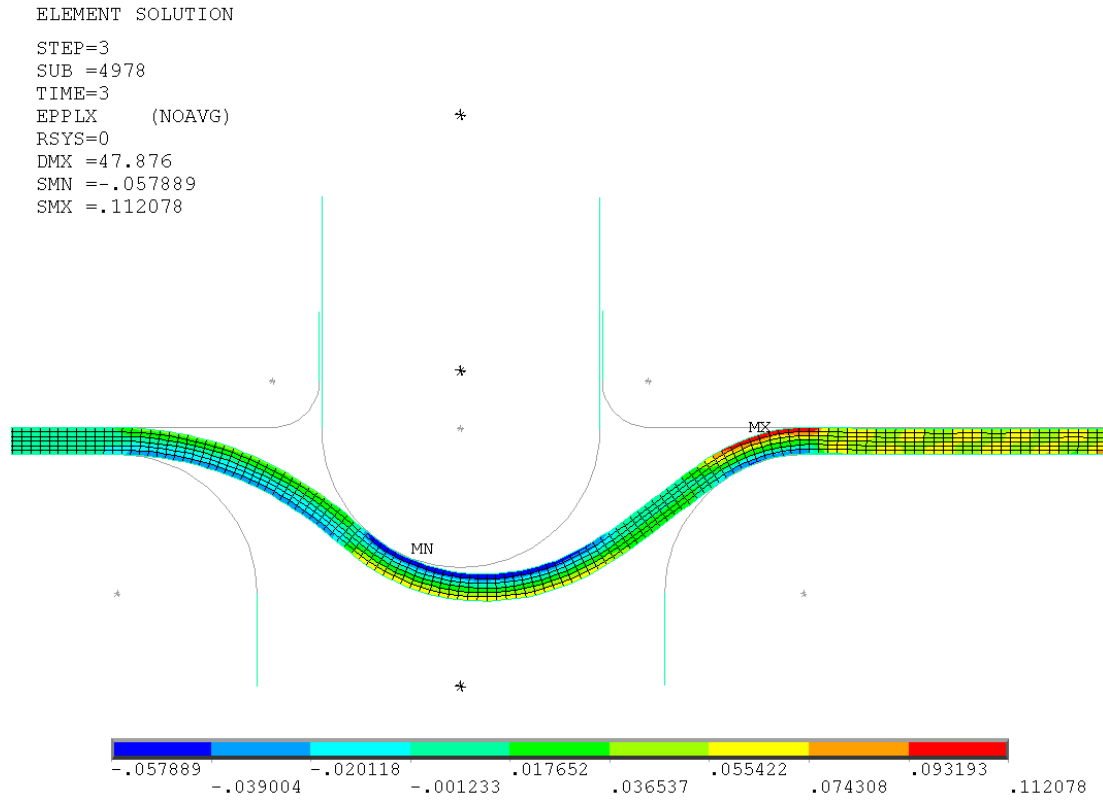
Şekil 4.28. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerilme dağılımı

4.4.3. Çekme yönündeki gerinim dağılımları

Ön gerilmesiz test koşulu 519 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamlandığı 2. saniyedeki çekme yönündeki gerinim dağılımları Şekil 4.29'da verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %10 ve basma gerinmesi % 11 olup süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde çıkmıştır. Sacın çekilme işleminin tamamlandığı 3. saniyedeki çekme yönündeki gerinim dağılımları Şekil 4.30'da verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %11 ve basma gerinmesi % 5'dir. Maksimum çekme gerinmesi süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde ve maksimum basma gerinmesi süzdürme çubuğu sol yanında çıkmıştır.

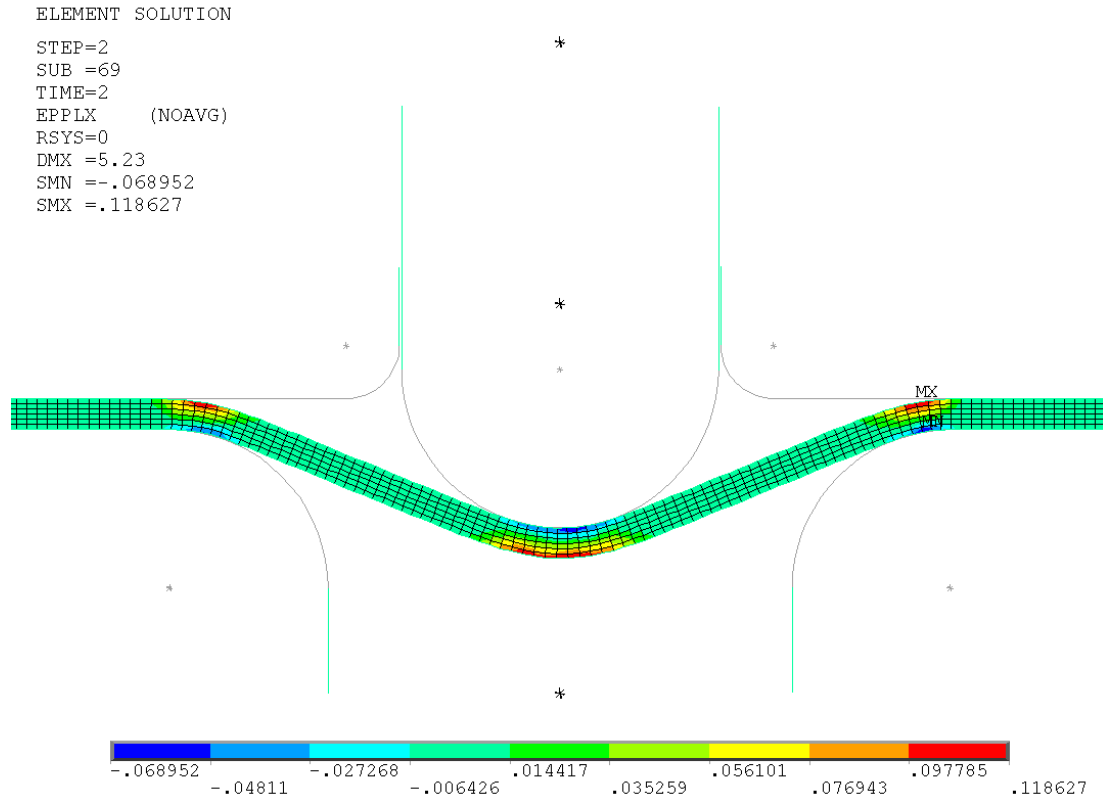


Şekil 4.29. Ön gerilmesiz test 519 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı

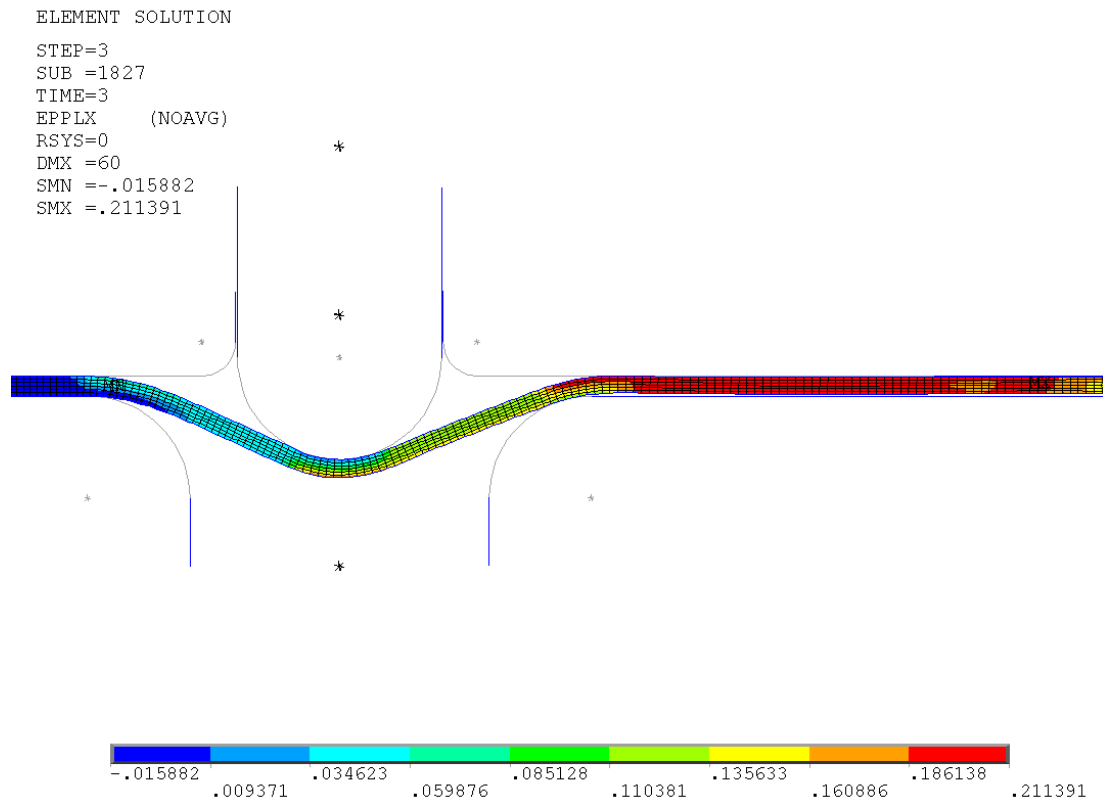


Şekil 4.30. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 3$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı

Ön gerilmeli test koşulu 523 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamlandığı 2. saniyedeki çekme yönündeki gerinim dağılımları Şekil 4.31'de verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %12 ve basma gerinmesi %7 olup süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde çıkmıştır. Sacın çekilme işleminin tamamlandığı 3. saniyedeki çekme yönündeki gerinim dağılımları Şekil 4.32'de verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %21 ve basma gerinmesi %1'dir. Maksimum çekme gerinmesi sacın orta kısımlarında ve maksimum basma gerinmesi süzdürme kanalı sol omzunda çıkmıştır.



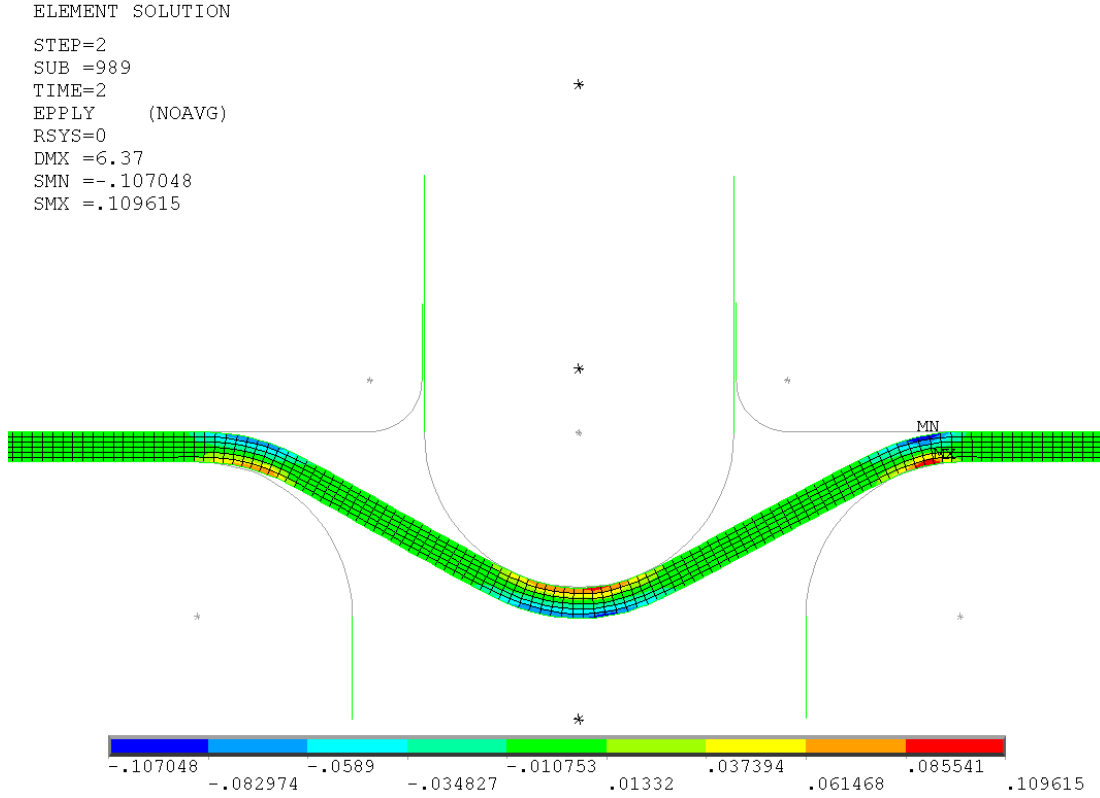
Şekil 4.31. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı



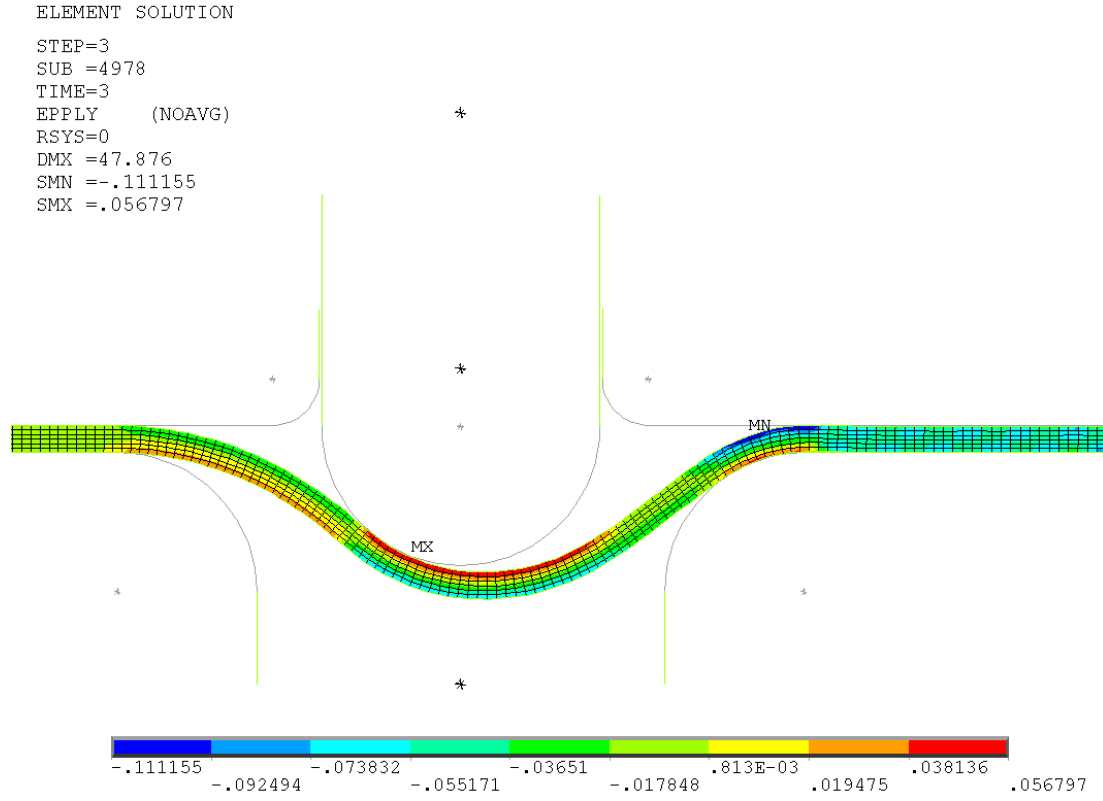
Şekil 4.32. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında çekme yönündeki gerinme dağılımı

4.4.4. Düşey yöndeki gerinim dağılımları

Ön gerilmesiz test koşulu 519 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamlandığı 2. saniyedeki düşey yöndeki gerinim dağılımları Şekil 4.33'de verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %11 ve basma gerinmesi % 10 olup süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde çıkmıştır. Sacın çekilme işleminin tamamlandığı 3. saniyedeki düşey yöndeki gerinim dağılımları Şekil 4.34'de verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %6 ve basma gerinmesi % 11'dir. Maksimum çekme gerinmesi süzdürme çubuğu sol yan bölgesinde ve maksimum basma gerinmesi süzdürme çubuğu sağ yanında çıkmıştır.

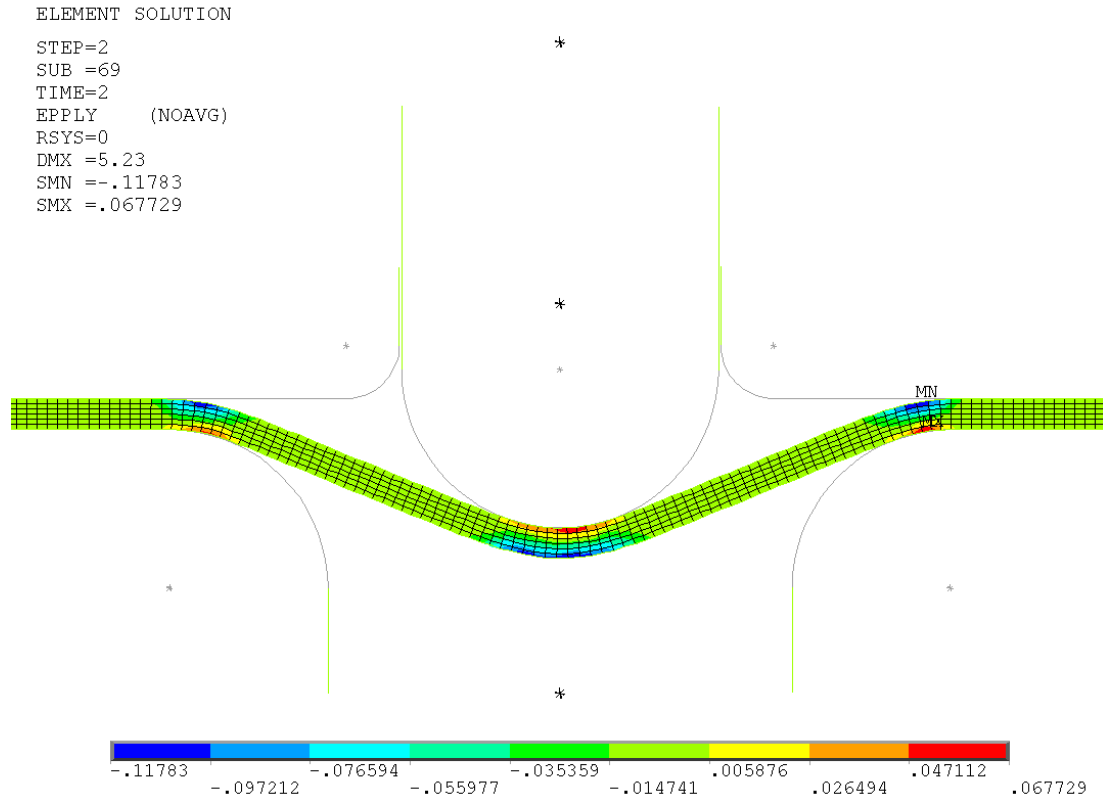


Şekil 4.33. Ön gerilmesiz test 519 için t = 2 anında düşey yöndeki gerinme dağılımı

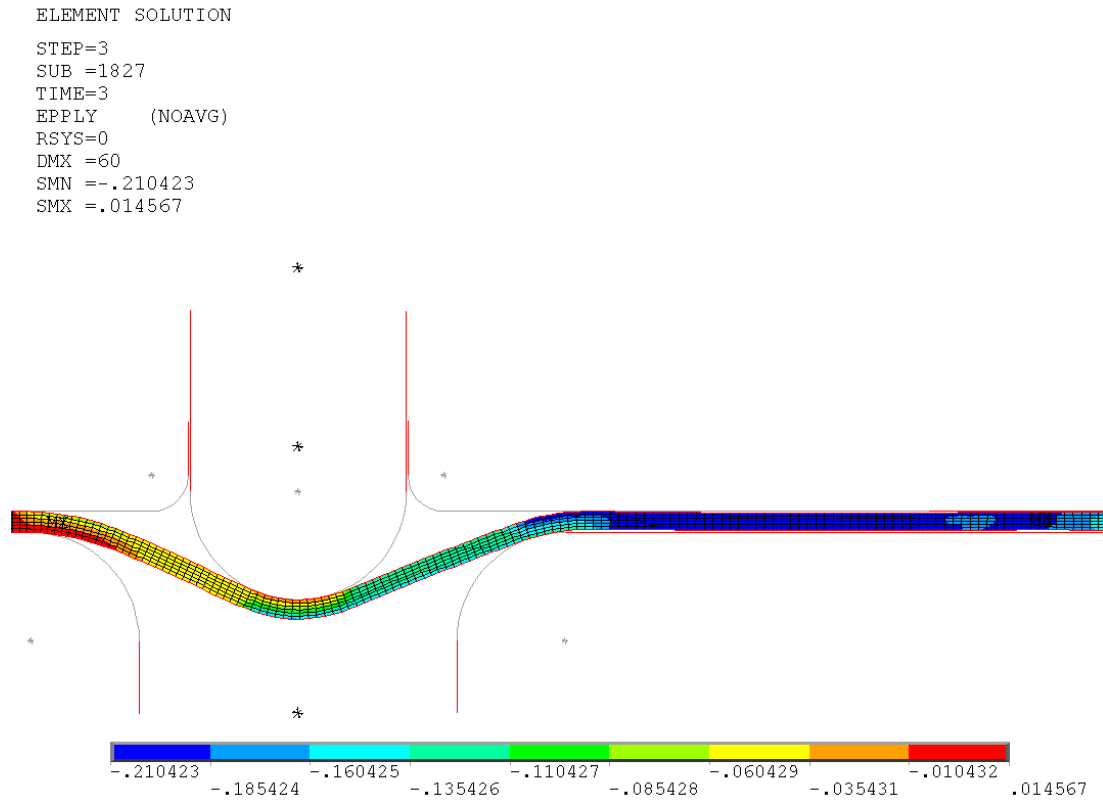


Şekil 4.34. Ön gerilmemiş test 519 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı

Ön gerilmeli test koşulu 523 için süzdürme çubuğunun batma işleminin tamamlandığı 2. saniyedeki düşey yöndeki gerinim dağılımları Şekil 4.35’de verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %6 ve basma gerinmesi % 11 olup süzdürme kanalı sağ omuz bölgesinde çıkmıştır. Sacın çekilme işleminin tamamlandığı 3. saniyedeki düşey yöndeki gerinim dağılımları Şekil 4.34’de verilmiştir. Meydana gelen maksimum çekme gerinmesi %1 ve basma gerinmesi % 21’dir. Maksimum çekme gerinmesi süzdürme kanalı sol omuz bölgesinde ve maksimum basma gerinmesi sacın orta bölgelerinde çıkmıştır.



Şekil 4.35. Ön gerilmeli test 523 için $t = 2$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı



Şekil 4.36. Ön gerilmeli test 523 için $t = 3$ anında düşey yöndeki gerinme dağılımı

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezin amacı sonlu elemanlar hesaplamaları yardımı ile ön gerilmenin şekillendirilebilirliğe etkisinin incelenmesidir. Bu amacı gerçekleştirmek için aynı süzdürme çubuğu ve kanalı geometrisine sahip aynı malzeme ve yağlama koşullarının kullanıldığı iki sonlu elemanlar hesaplaması yapıldı. Sonlu elemanlar hesaplaması sonucunda elde edilen değerler önce birbirleri ile daha sonrada deneysel sonuçlarla olan uyumluluğu değerlendirildi.

Ön gerilmeli hesaplamasının sonucunda sacın çekilmesi için gerekli olan çekme kuvvetin gergi kuvveti sebebi ile ön gergisiz hesaplamasının sonucuna göre çok daha yüksek çıkmıştır. Ön gerilmeli durumda şekillendirmede gerekli olan pot çemberi kuvveti ön gergisiz duruma göre daha düşük çıkmıştır, ön gergi kuvvetinin olduğu durumlarda şekillendirme daha düşük pot çemberi kuvvetleri yardımı ile yapılabilir.

Ön gerilmeli ve ön gerilmemiş durum için yapılan hesaplamalar esnasında sürtünme kuvveti sonlu elemanlar modeline yansıtılmadı. Çekme kuvvetleri incelendiğinde ön gerilmemiş durum için yapılan hesaplama sonucu elde edilen çekme kuvveti değeri deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumlu olmasına rağmen ön gerilmeli durum için yapılan hesaplama sonucu elde edilen çekme değeri deneysel çalışmadan elde edilen değerden yüksek çıkmıştır.

Sonlu elemanlar hesaplamaları sonucunda sacın şekillendirilmesi sırasında meydana gelen incelme değerlerinin bulunması için yapılan kalınlık ölçüm değerleri ön gerilmemiş durumda deneysel çalışma sonucunda yapılan ölçümlerle uyumlu iken ön gerilmeli durumda deneysel çalışma sonucu elde edilen sonuçlara göre incelme daha fazladır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, sürtünmenin de hesaba katıldığı bir hesaplama yapılabilir. Farklı malzemeler için aynı süzdürme çubuğu geometrisi kullanılarak hesaplamalar yapılabilir. Ön gerilmeli test koşulu için daha düşük pot çemberi kuvveti gerektiği yapılan çalışmalar sonucu tespit edilmiştir, bu sebeple bundan sonra farklı geometriler ve tiplere sahip süzdürme çubukları için yapılacak çalışmalar ön gerilmeli olarak yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] FIRAT, M., “An Analysis of Sheet Metal Deformations Inside the Drawbead Element” The University of Sakarya, 2007
- [2] LANGE, K., “Handbook of Metal Forming”, Springer-Verlag, 1985.
- [3] HOSFORD, W.F., CADDELL, R.M., “Metal Forming: Mechanics and Metallurgy”, Prince-Hall, NJ, 1993,
- [4] FIRAT, M., “Sheet Metal Forming – Stamping Process from the view point of a Computational Mechanics Engineer” ,”Forming Control Elements”, The University of Sakarya, Şubat 2004
- [5] NACEUR, H., GUO, Y.Q., BATOZ, J.L., KNOPF-LENOIR, C., “Optimization of drawbead restraining forces and drawbead design in sheet metal forming process”. International Journal of Mechanical Sciences 43 (2001) 2407–2434, 1999
- [6] CHEN, F. K., CHIANG, B.H., “Analysis of die design for the stamping of a bathtub” Journal of Materials Processing Technology 72 (1997) 421–428,1996
- [7] CAO, J., BOYCE, M.C., “Drawbead penetration as a control element of material flow”, SAE 930517, Sheet Metal and Stamping Symposium, Detroit, 1993
- [8] CARLEER, B.D., VREEDE, P.T., LOUWES, M.F.M., HUÉTINK, J., “Modelling drawbeads with finite elements and verification”, J. Mat. Proc. Tech. , vol. 45/1-4, p. 63-69, 1994
- [9] CARLEER B.D., MEINDERS, T., HUÉTINK, J., “Equivalent drawbead model in finite element simulations”, Proceedings of the 3rd International Conference on Numerical Simulations of 3-D Sheet Metal Forming Processes, J.K. Lee et al. (eds.), Dearborn, Michigan, p. 25-31, 1996

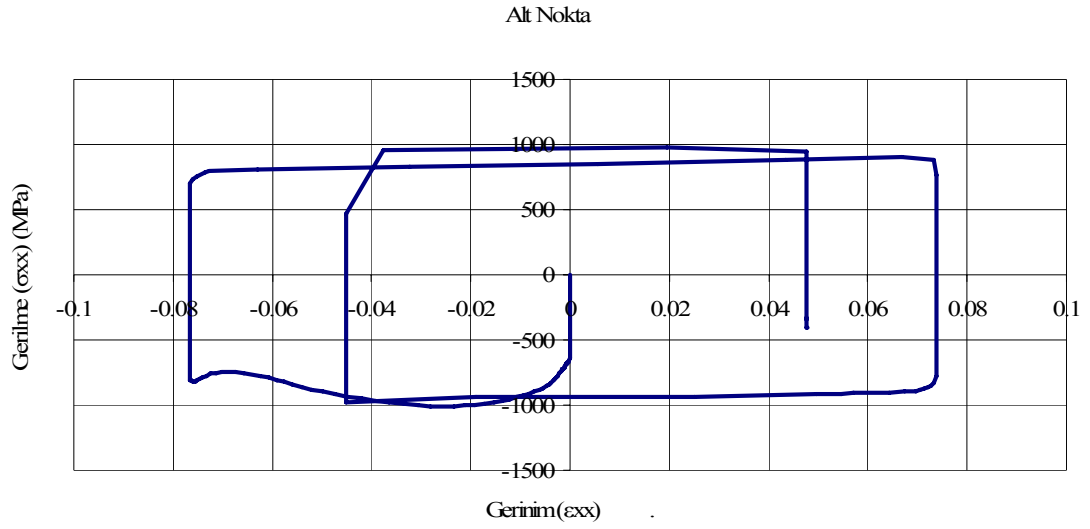
- [10] KAWKA, M., WANG, A., “Improving drawbeads and friction models simulations of industrial sheet metal forming process” Metal forming in Industry, Conference proceedings, Baden-Baden, 1994
- [11] KELER, S., “How we think drawbead work” The Science of Forming 70-71, 2000
- [12] PENG, Y., RUAN, Y.X., “The new calculation method of drawbead restrain forces” Numisheet’99 , Besacon-France, September 1999
- [13] MATTIASSON, K., BERNSPANNG, L., “ Drawbead modelling in sheet metal stamping simulation” Numisheet’99 , Besacon-France, September 1999
- [14] NINE, H.D., “Drawbead forces in sheet metal forming” mechanics of sheet metal forming, Koistinen, D.P., and Wang. N.M., Plenum Press, New York, pp179-210, 1978
- [15] MICHLER, J. R., RAO, V. D., KASHANI, A. R., MAJLESSI, S.A., WEINMANN, K.J., “New concept for a hydraulically controlled sheet metal strip drawing test apparatus”, Transactions of NAMRI of SME, Vol 21, pp 25-31, 1993
- [16] MEINDERS, T., CARLEER, B.D., GEIJSELAERS, H.J.M., HUÉTINK, J., “The implementation of an equivalent drawbead model in a finite element code for sheet metal forming” , J. Mat. Proc.Tech., vol. 83, p. 234-244, 1998
- [17] MAKER, B., SAMANTA, S.K, GRAB, G., TRIANTAFYLLIDIS, N., “An analysis of drawbeads in sheet metal forming: part 2 – experimental verification”, J. Eng. Mat. Tech. ,vol.109, p.164-170, 1987
- [18] MATTIASSON, K., BERNSPANNG, L., “Drawbead modelling in sheet metal stamping simulation”, Proceedings of the 4th International Conference on Numerical Simulations of 3-D Sheet Metal Forming Processes, Gelin, J.C., Picard, P., (eds), Besancin, vol. 1 p. 235-242, 1999
- [19] MEINDERS, T., GEIJSELAERS, H.J.M., HUÉTINK, J., “Equivalent drawbead performance in deep drawing simulations”, Numisheet’99 , Besacon-France, September 1999
- [20] FIRAT, M., “ Sac metal form kalıpcılığına giriş” The University of Sakarya, p. 33, şubat 2004

- [21] WDX-Worldwide Die Design and Construction Specifications, Ford, 2001.
- [22] GREEN, D. "A/SP - ENHANCED FORMABILITY PROJECT - An Experimental Study of the Effects of Prestrain on Formability Limits", February 2002
- [23] Release 10.0 Documentation for ANSYS, Element Reference, Element Library

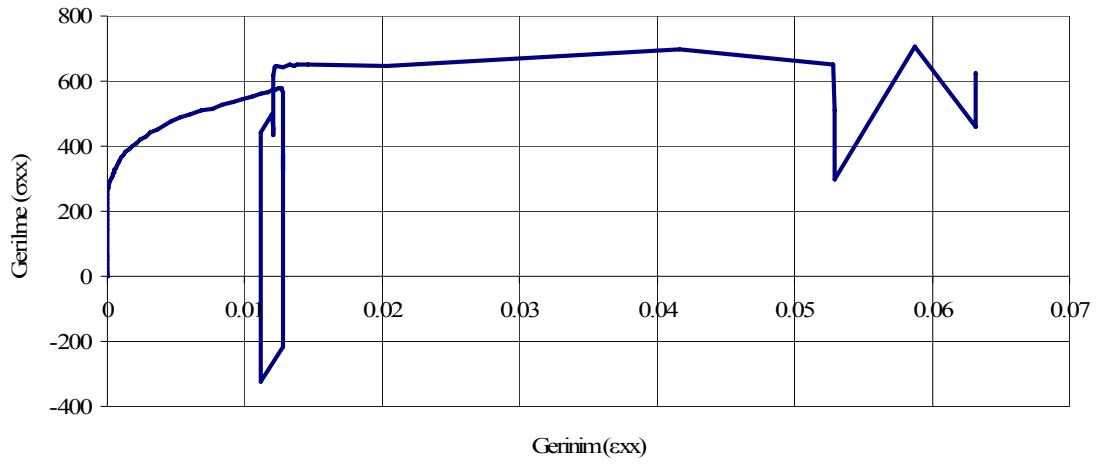
EKLER

EK A. Ön Gerilmesiz Test Koşulu 519 İçin T1 ve T2 Kesitlerindeki Gerilim ve Gerinim Değerleri

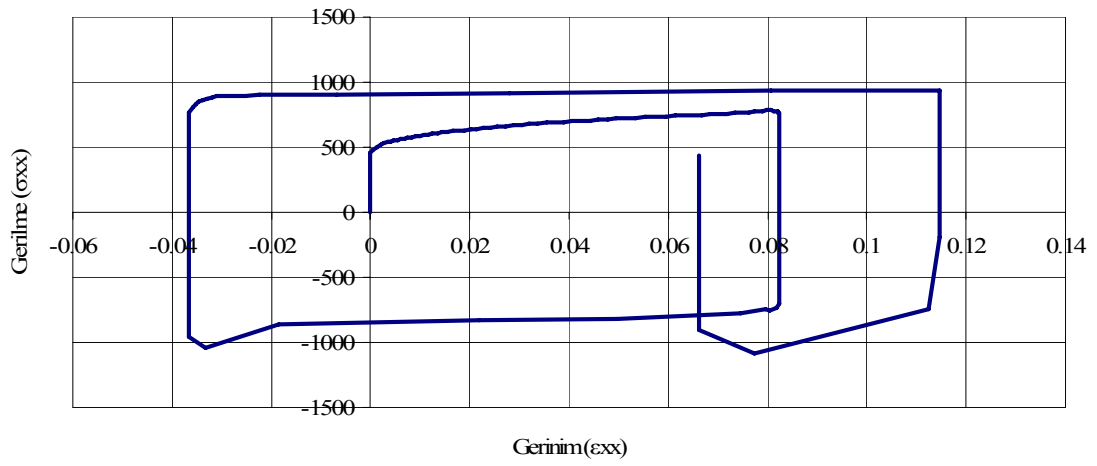
- T1 kesiti



Orta Nokta

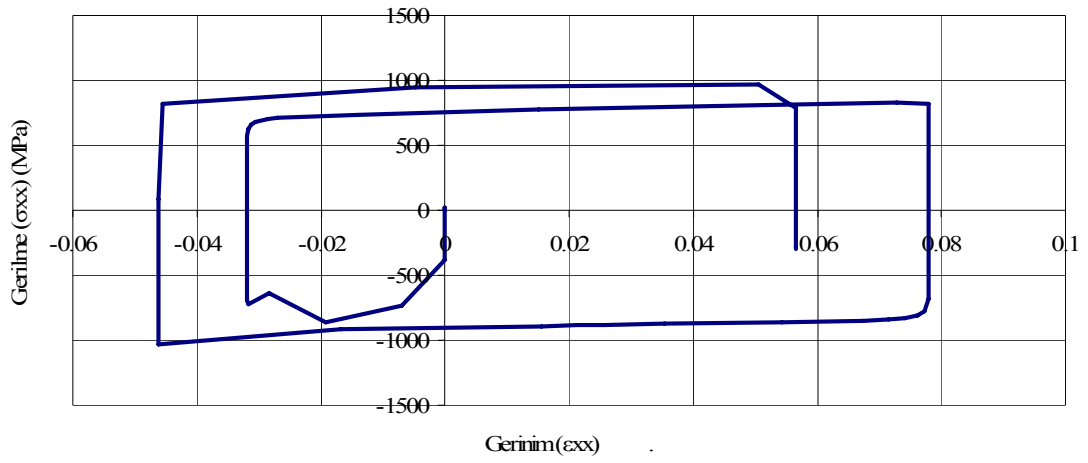


Üst Nokta

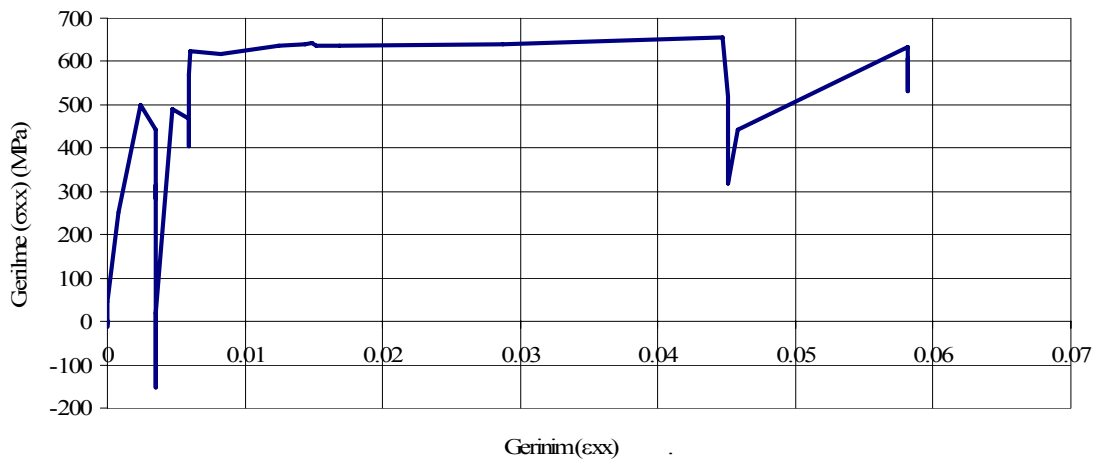


- T2 kesiti

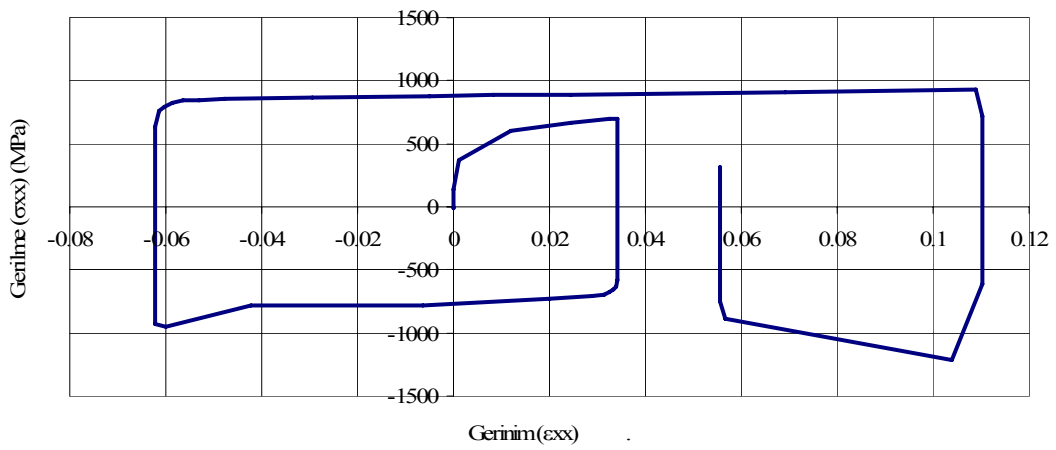
Alt Nokta



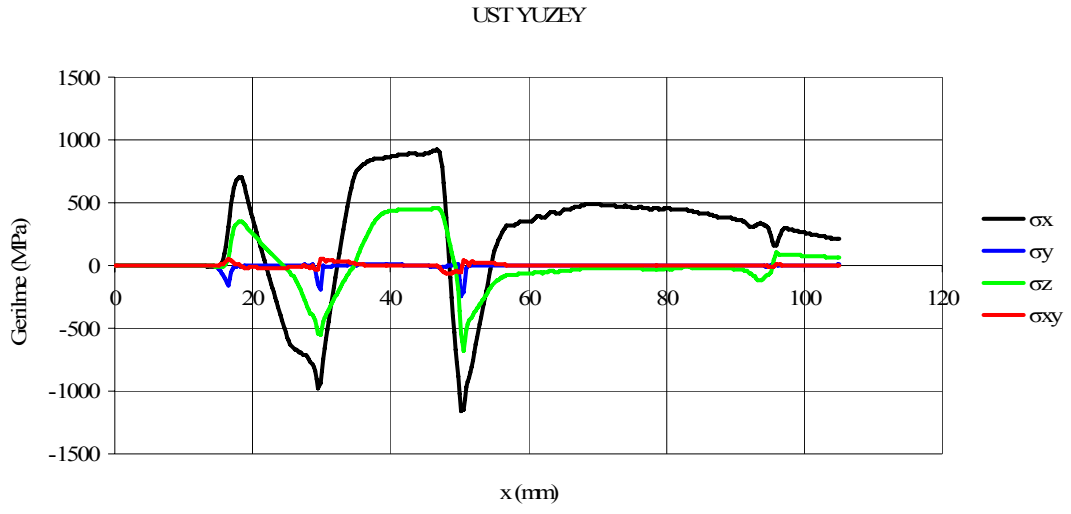
Orta Nokta



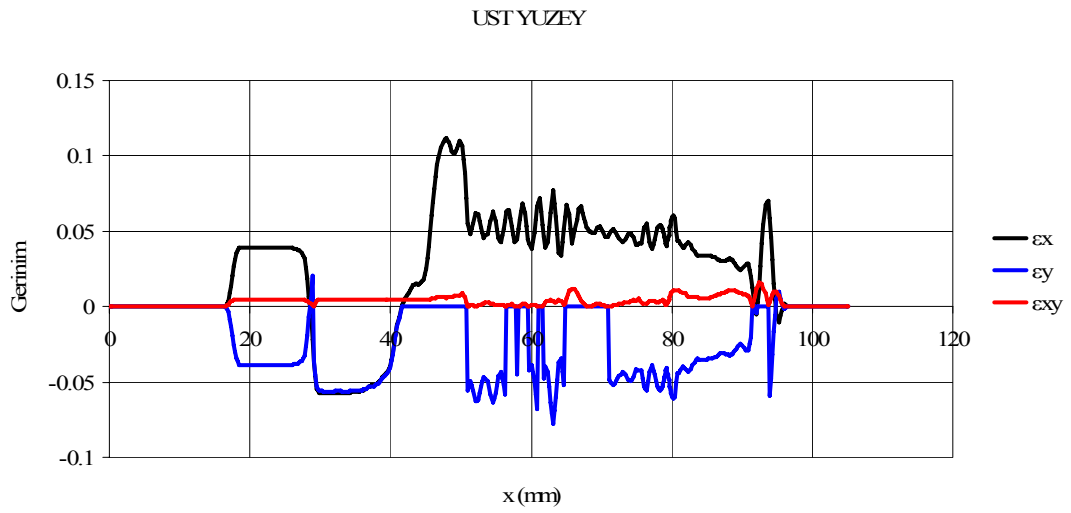
Üst Nokta



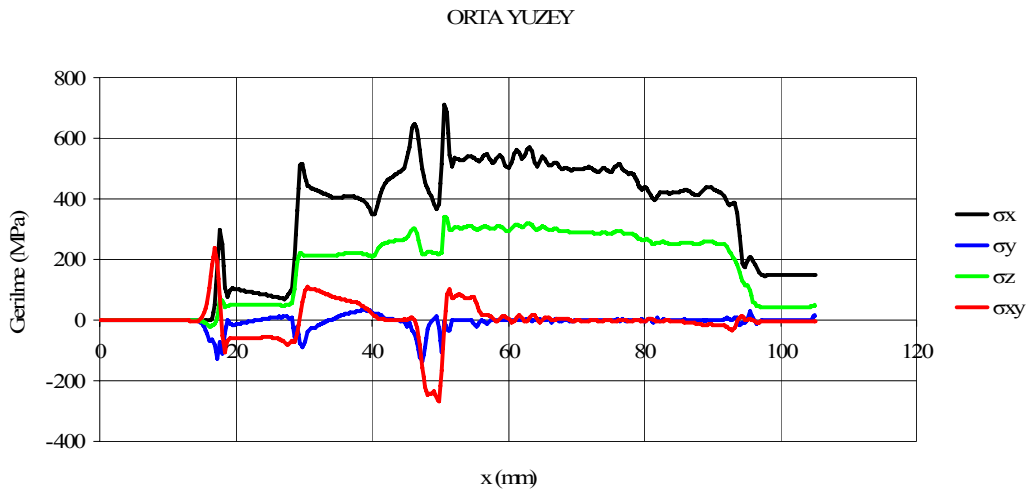
- Üst yüzeydeki gerilme dağılımı



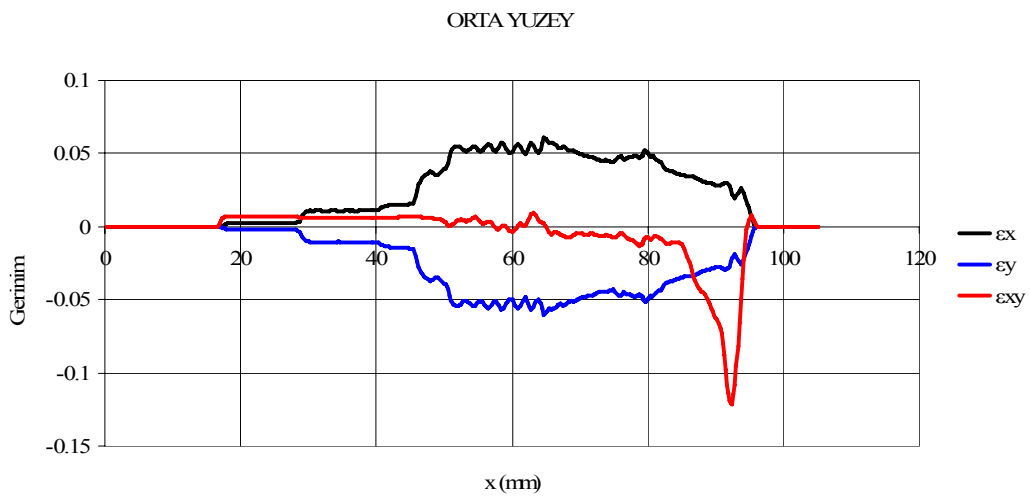
- Üst yüzeydeki gerinim dağılımı



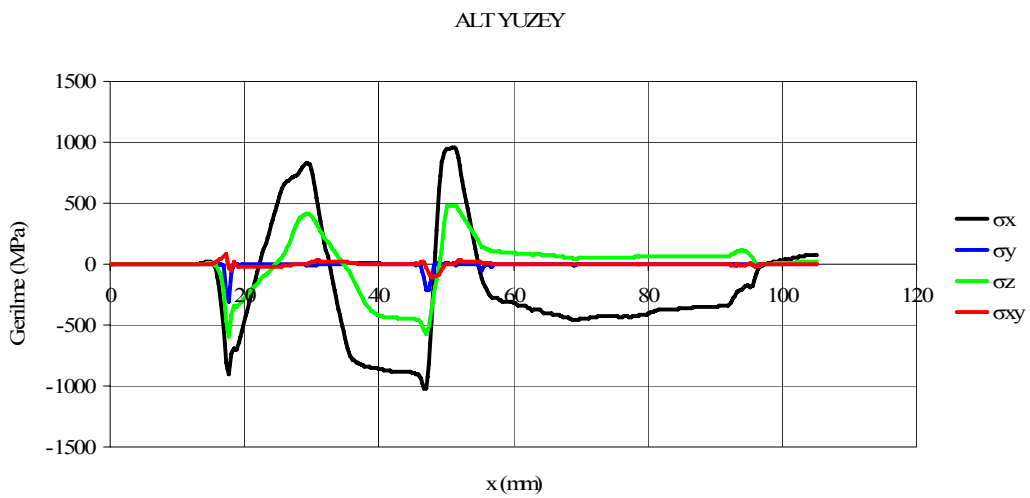
- Orta yüzeydeki gerilme dağılımı



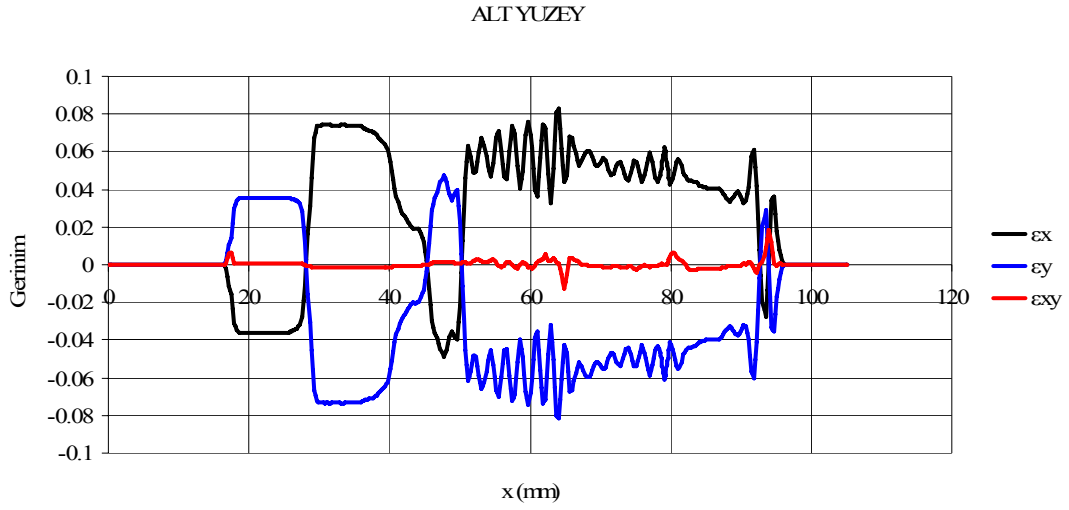
- Orta yüzeydeki gerinim dağılımı



- Alt yüzeydeki gerilme dağılımı

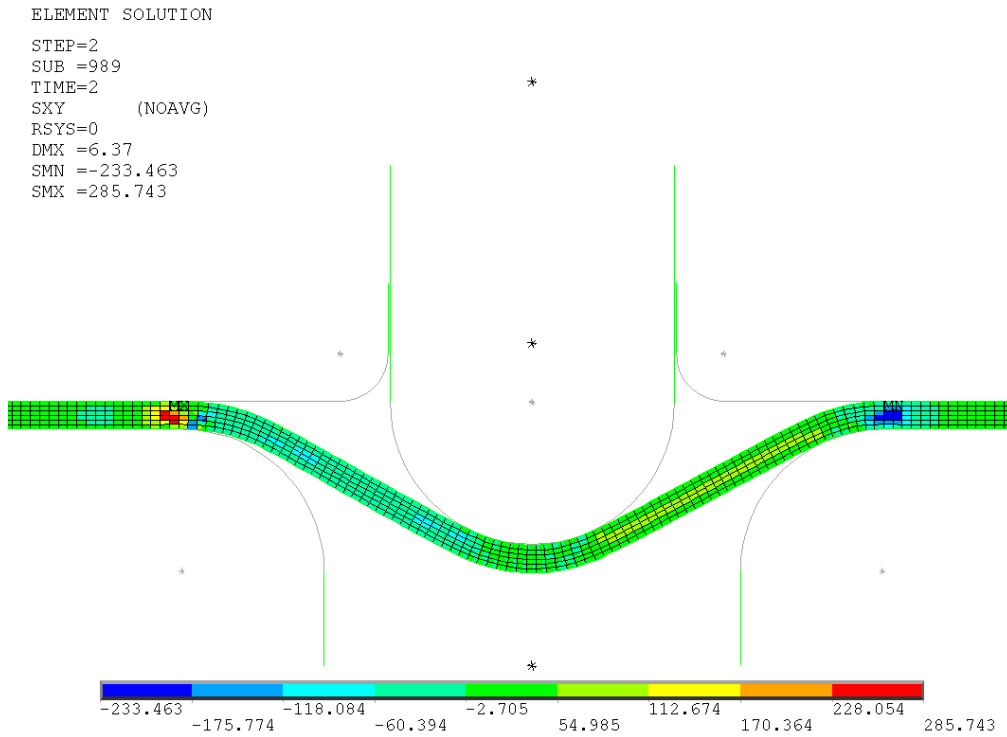


- Alt yüzeydeki gerinim dağılımı

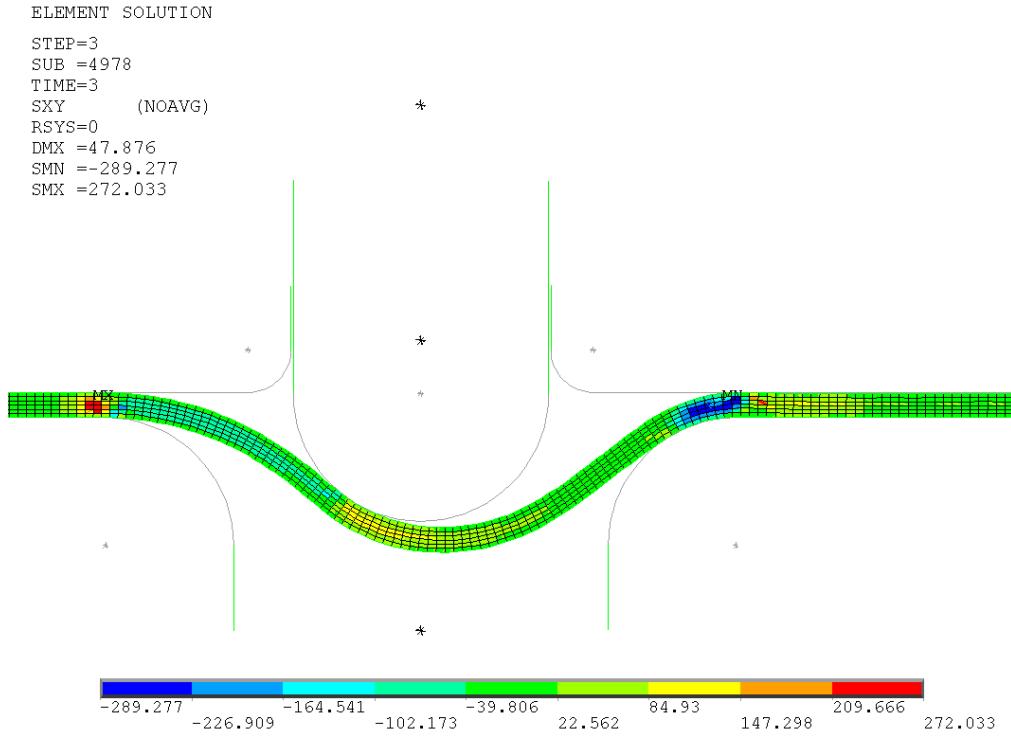


Ön gerilmemiş test koşulu 519 için yapılmış olan sonlu elemanlar analizlerine ait sonuçlar;

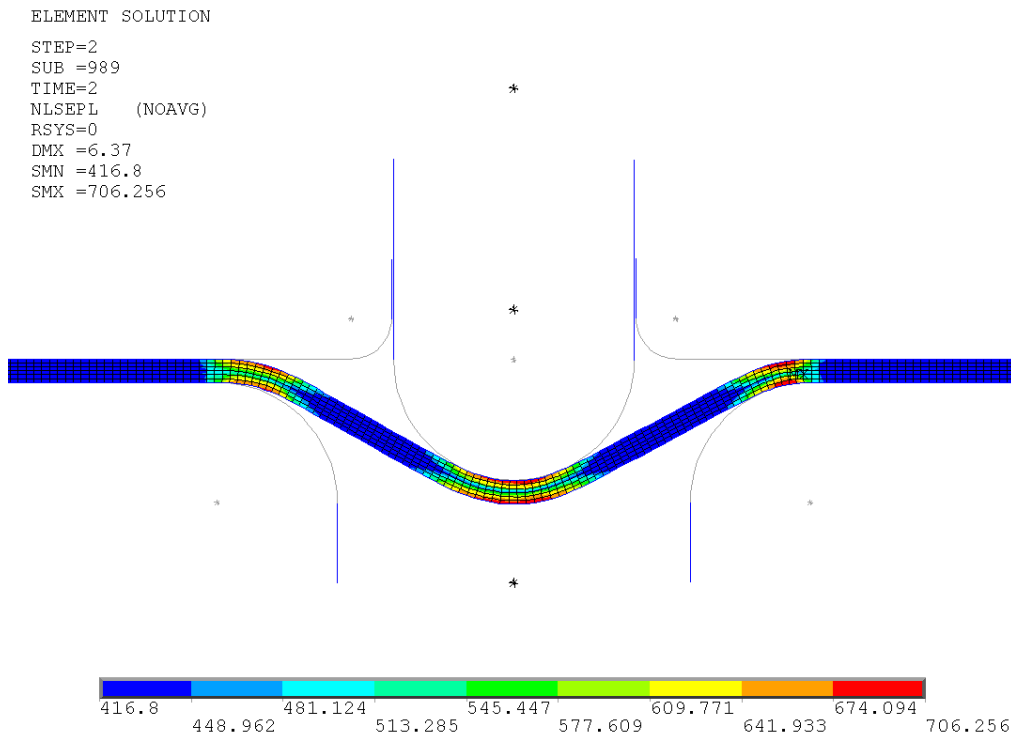
- Süzdürme çubuğunun bastığı andaki kayma gerilmesi



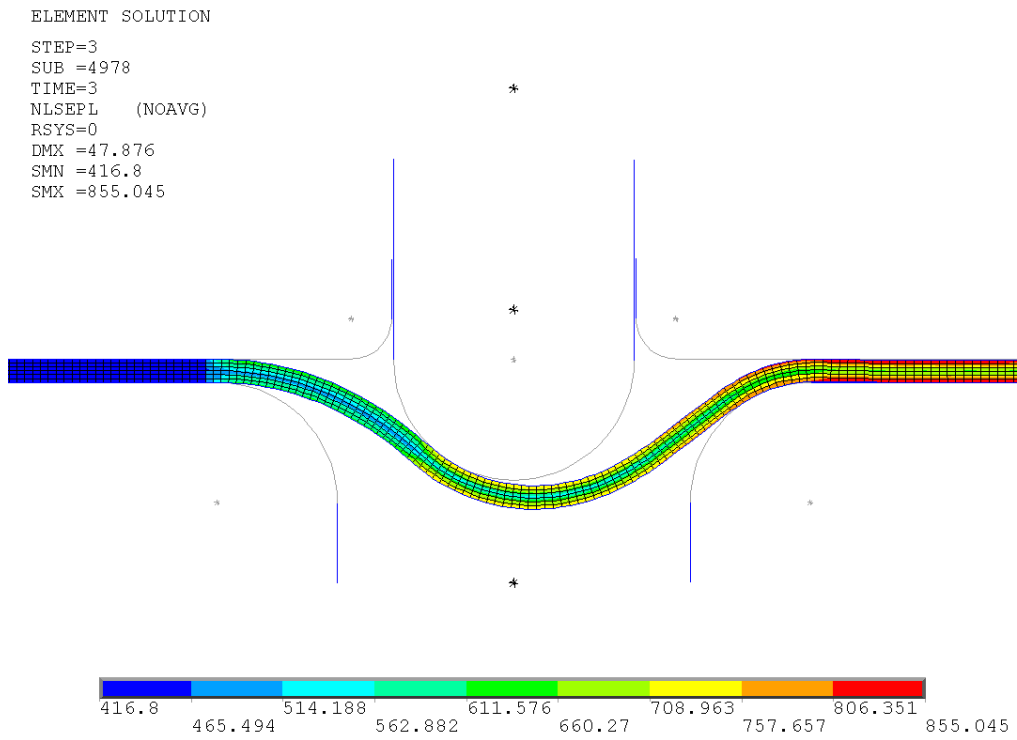
- Sacın çekilmesi işleminin tamamlandığı andaki kayma gerilmesi



- Süzdürme çubuğunun bastığı andaki eşdeğer plastik gerilme

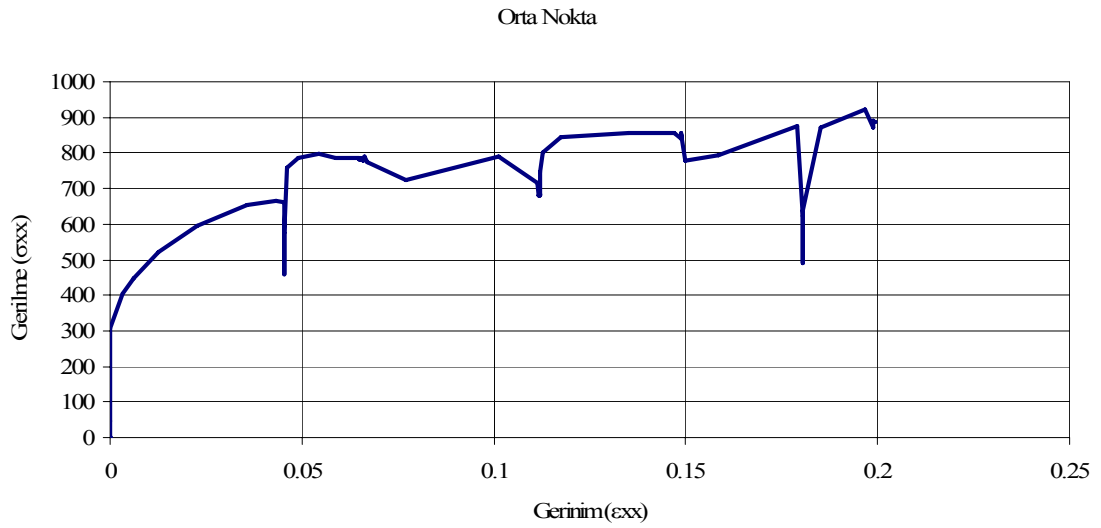
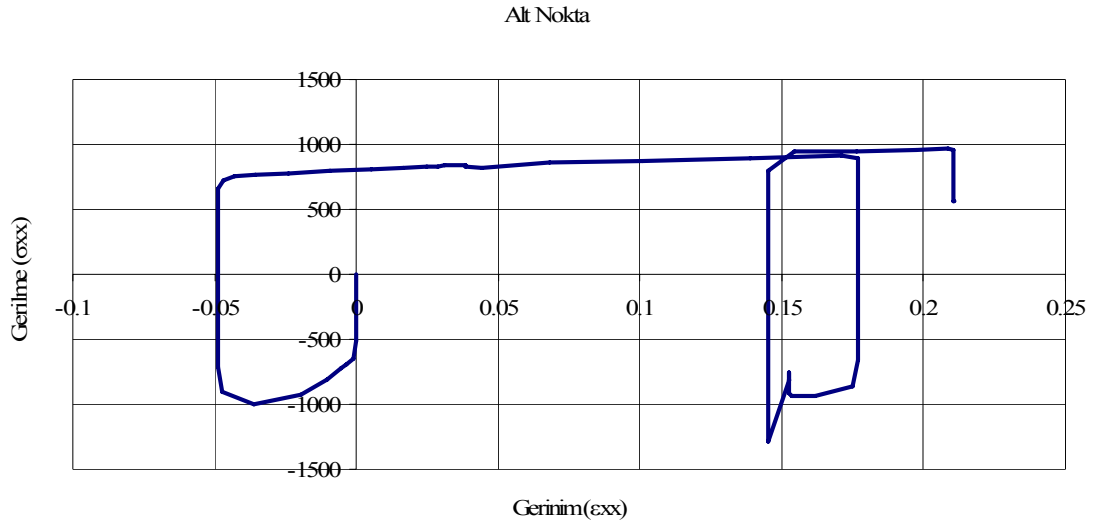


- Sacın çekilmesi işleminin tamamlandığı andaki kayma gerilmesi

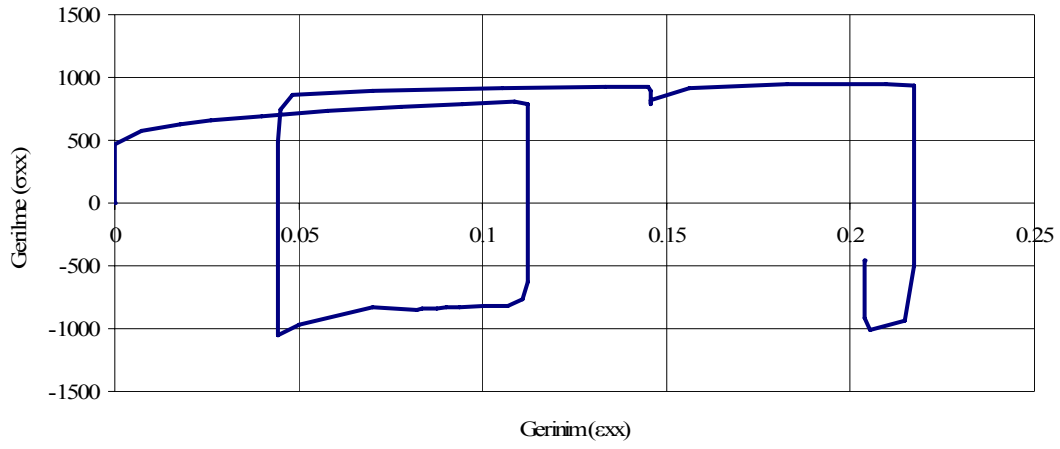


EK B. Ön Gerilmeli Test Koşulu 523 İçin T1 Ve T2 Kesitlerindeki Gerilim Ve Gerinim Değerleri

- T1 Kesiti

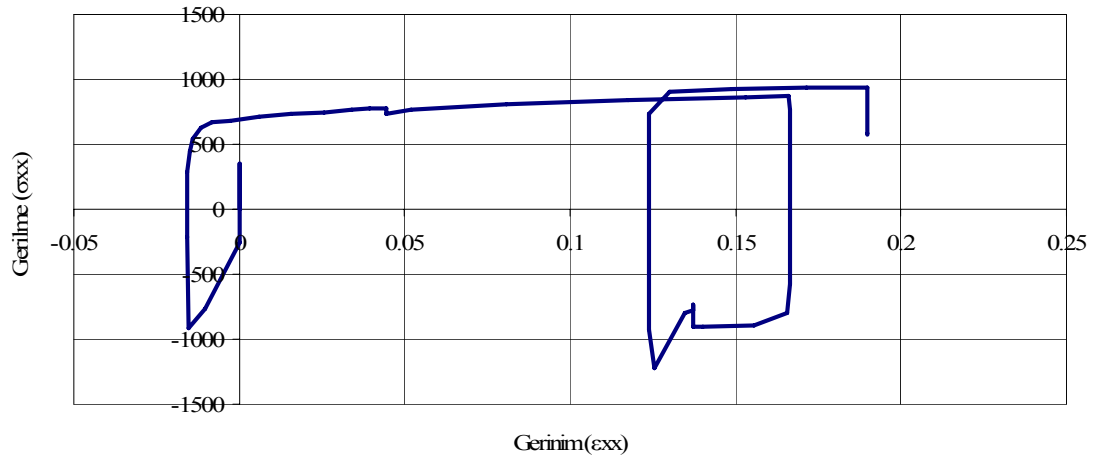


Üst Nokta

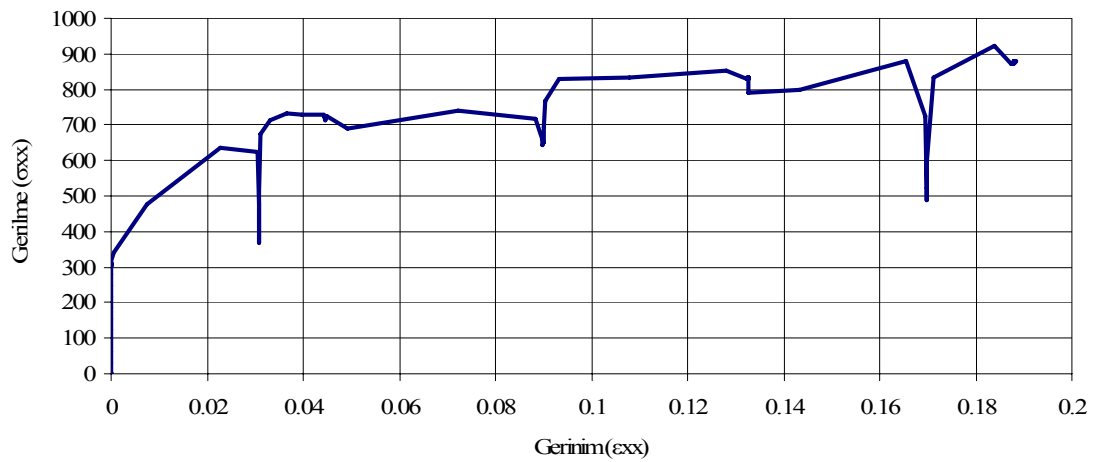


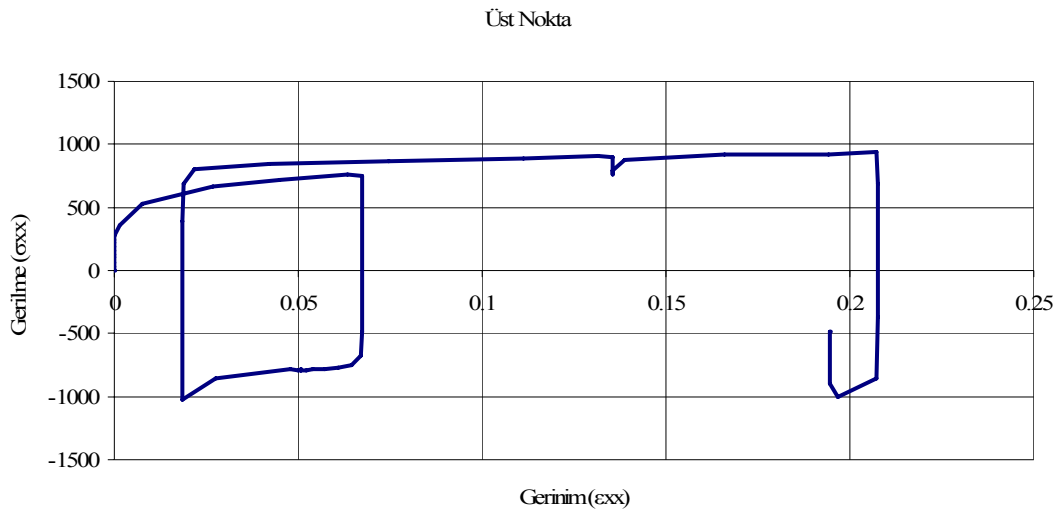
- T2 kesiti

Alt Nokta

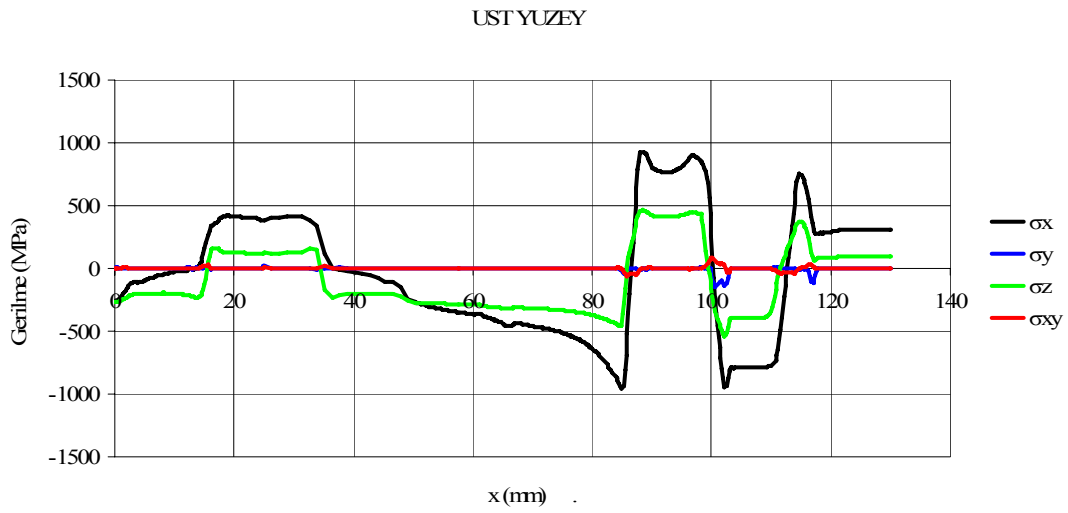


Orta Nokta

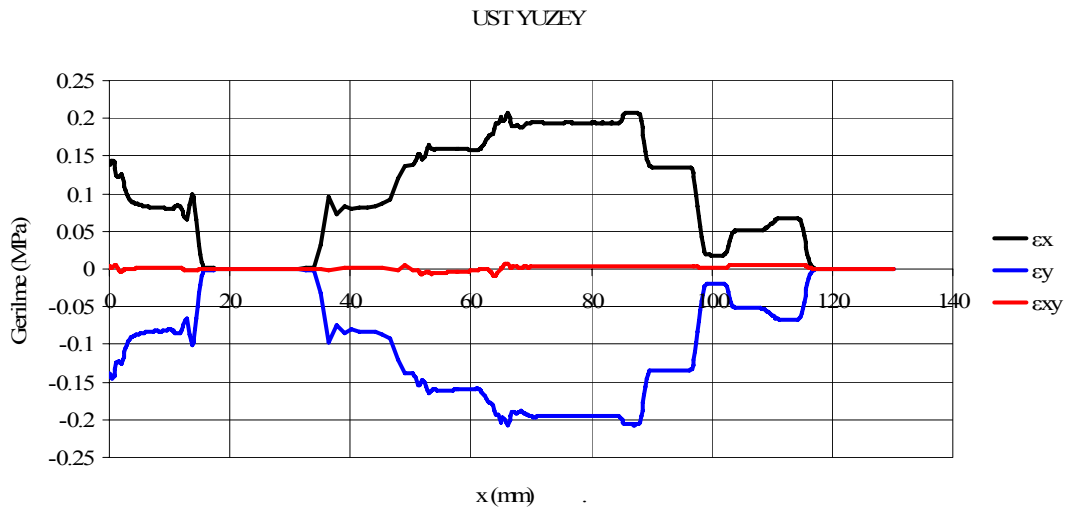




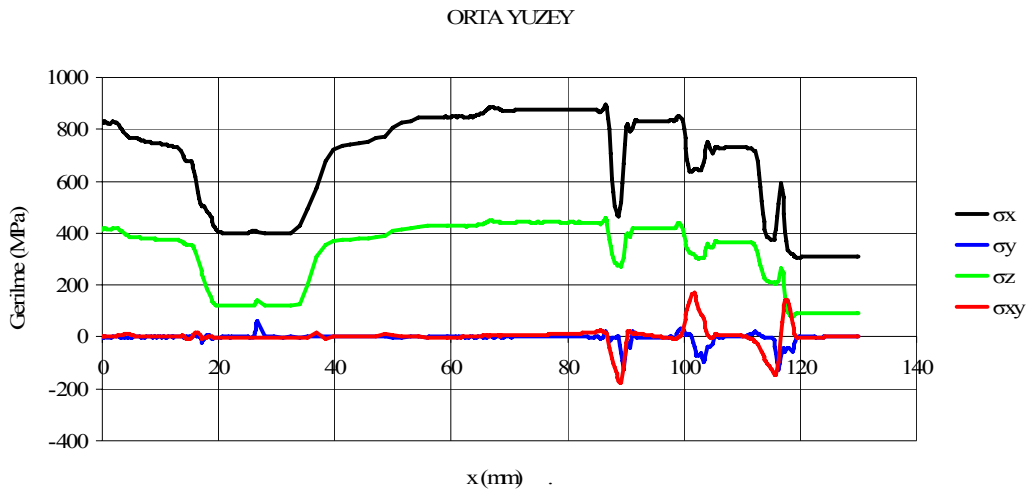
- Üst yüzeydeki gerilme dağılımı



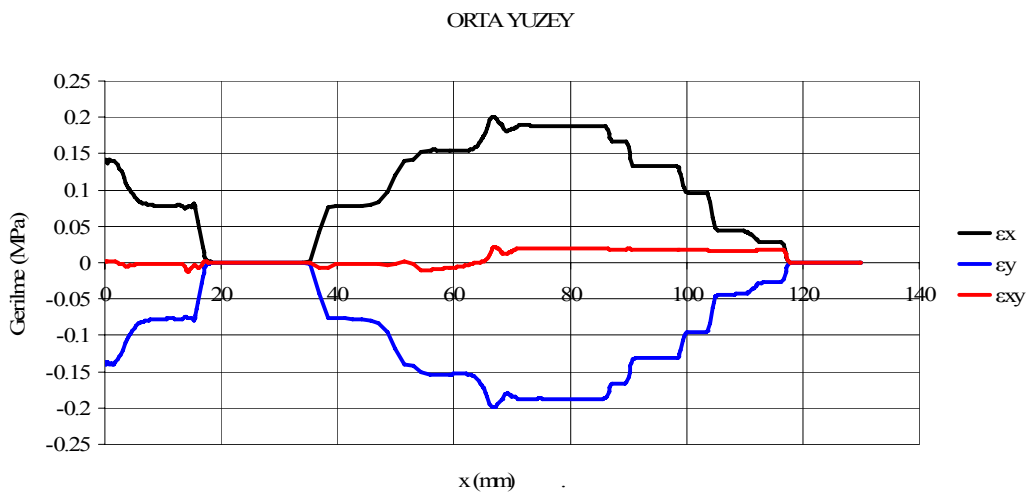
- Üst yüzeydeki gerinim dağılımı



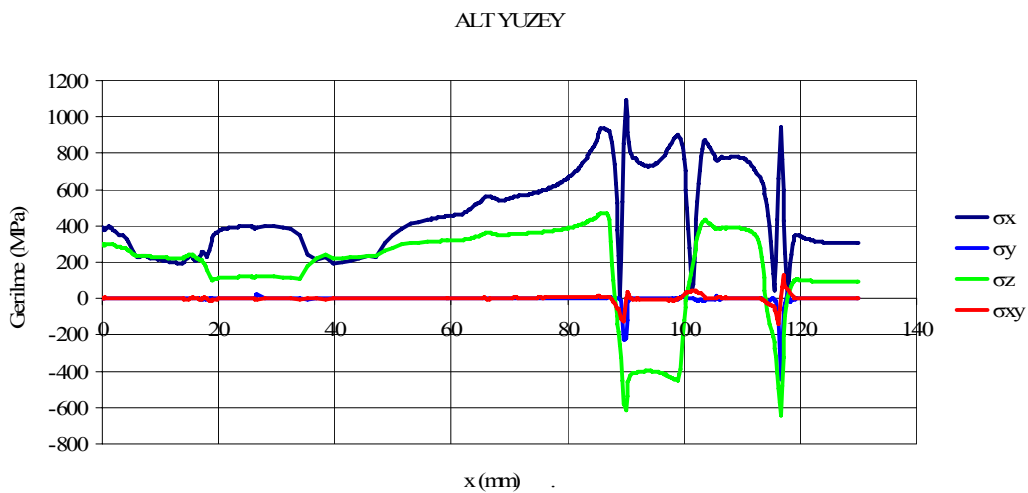
- Orta yüzeydeki gerilme dağılımı



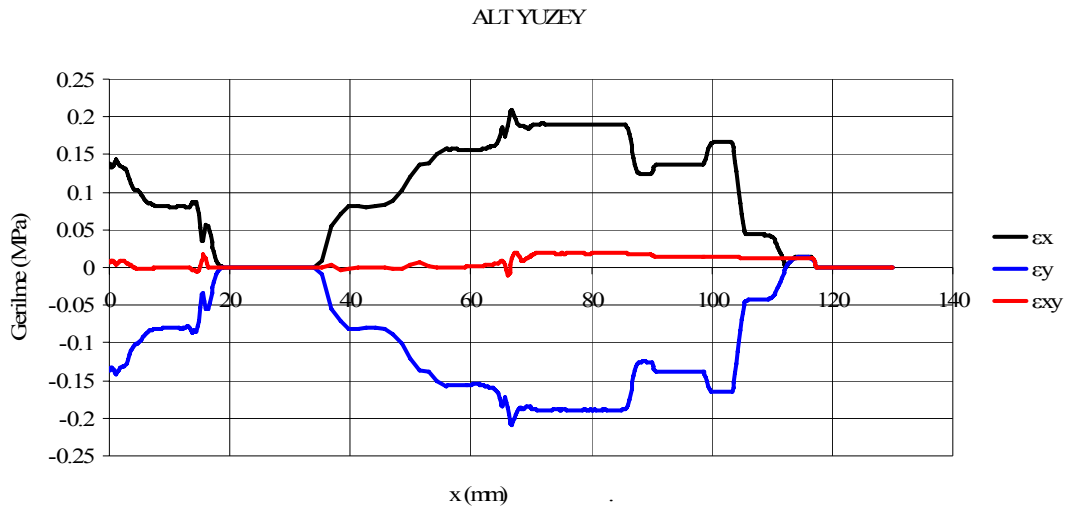
- Orta yüzeydeki gerinim dağılımı



- Alt yüzeydeki gerilme dağılımı

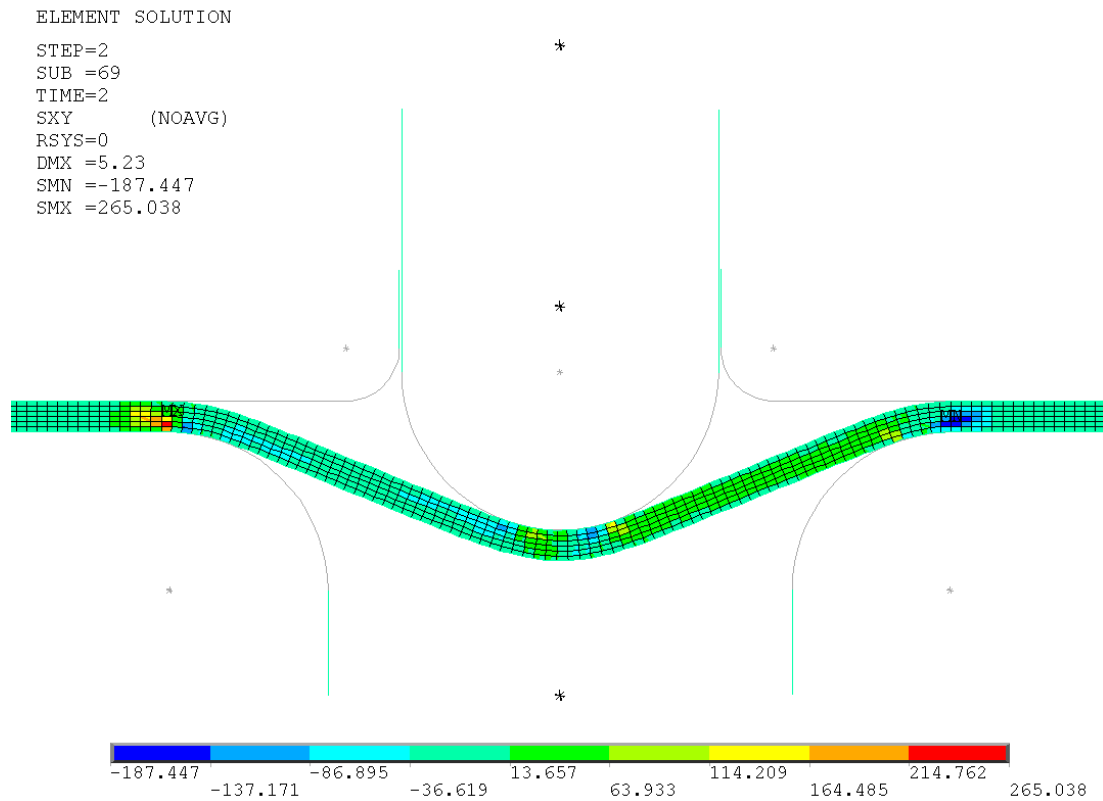


- Alt yüzeydeki gerilim dağılımı

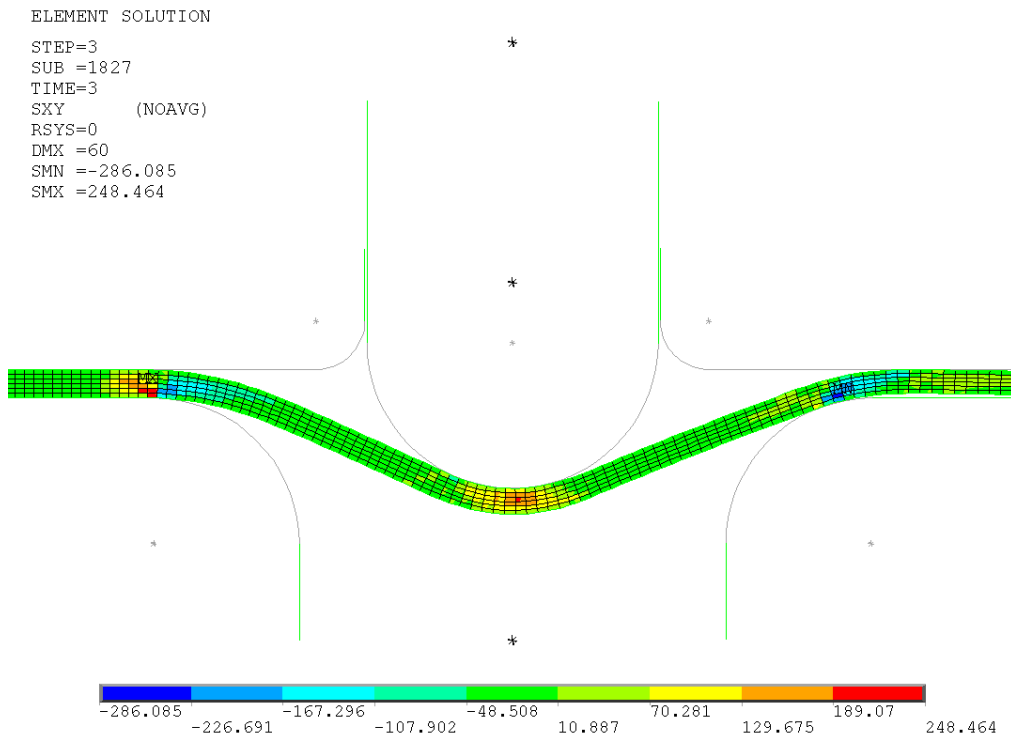


Ön gerilmesiz test koşulu 523 için yapılmış olan sonlu elemanlar analizlerine ait sonuçlar;

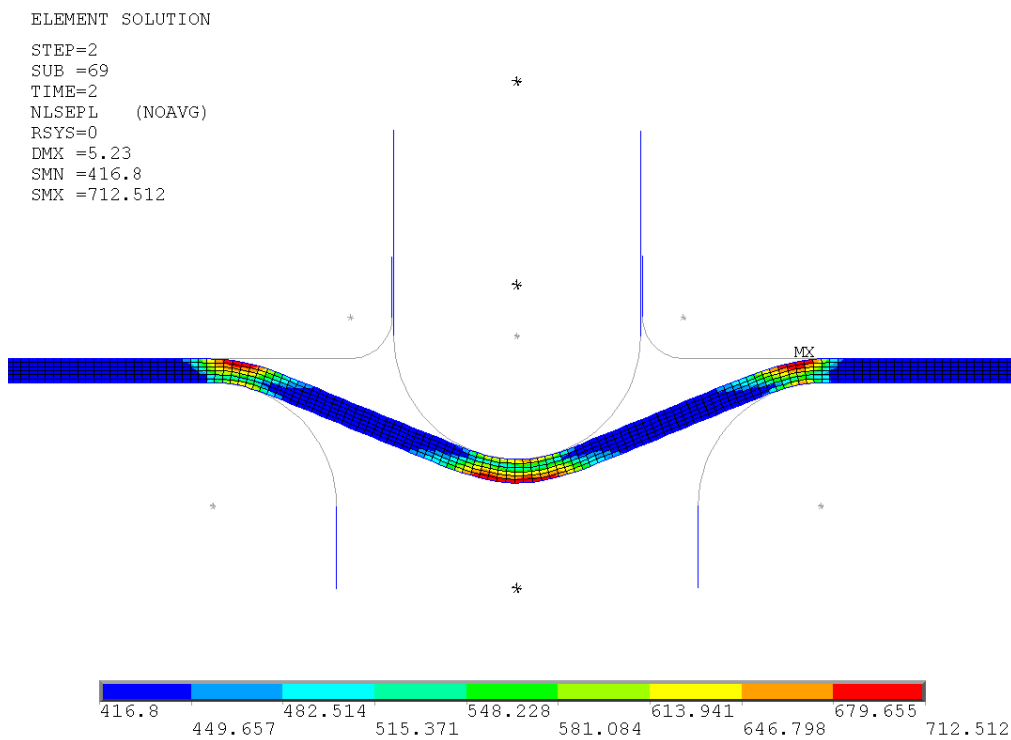
- Süzdürme çubuğunun bastığı andaki kayma gerilmesi



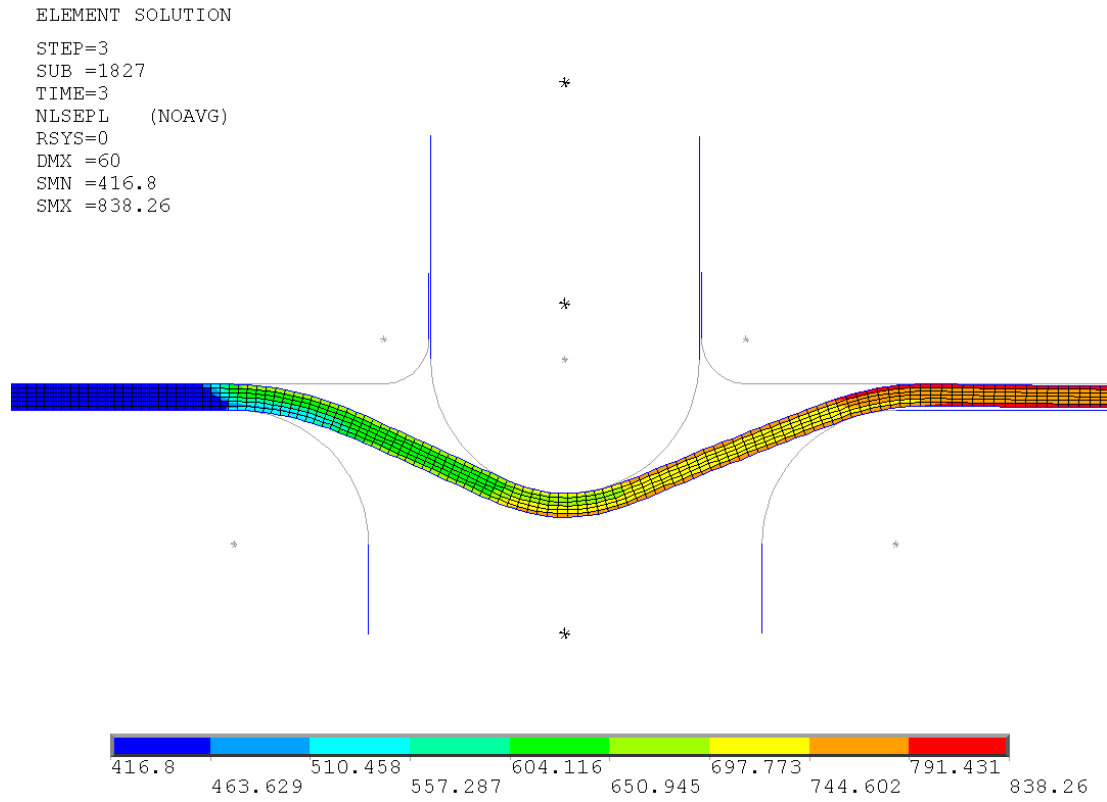
- Sacın çekilmesi işleminin tamamlandığı andaki kayma gerilmesi



- Süzdürme çubuğunun bastığı andaki eşdeğer plastik gerilme



- Sacın çekilmesi işleminin tamamlandığı andaki eşdeğer plastik gerilme



ÖZGEÇMİŞ

Gökhan ASİL 1980 yılında Sakarya' da doğdu. 1998 yılında Arifiye Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun oldu, 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi. 2004 yılı Haziran ayında mezun oldu. 2004 yılı Eylül ayında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesinde Makine Mühendisliği bölümüne kaydoldu. 2004 yılı Ekim ayında İformatik Bilgisayar Sist. Tic. ve San. A.Ş.' de Proje ve Uygulama Mühendisi olarak çalışmaya başladı, halen aynı görevi sürdürmektedir.