

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAK FORMUNUN GERİLME DAĞILIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Sinan AYDIN

980619

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

114192

114192

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYNAK FORMUNUN GERİLME DAĞILIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BÜREK

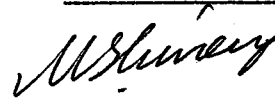
Sinan AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

M. Şemseddin ÇİMEN
(Danışman)

Makine Müh. Yrd. Doç. Dr.
(Bölümü- Ünvanı)


(İmzası)

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu çalışma, Jürimiz tarafından, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

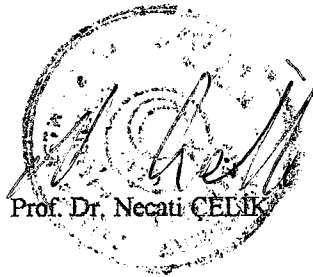
Başkan: Doç. Dr. Hanuiseyn Taşlızade
Üye: Yrd. Doç. Dr. M. Şemseddin CİMEN
Üye: Yrd. Doç. Dr. Burhan SELÇUK
Üye:
Üye:

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...../...../2001

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ


Prof. Dr. Necati ÇELİK

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12. 1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'nce hazırlanan ve yayınlanan “Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiii

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1.Konunun Önemi	1
-------------------	---

BÖLÜM 2 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

2.1.Giriş	4
2.1.1.Tek Boyutlu Elemanlar	5
2.1.2.İki Boyutlu Elemanlar	6
2.1.3.Üç Boyutlu Elemanlar	6
2.1.4.Dönel Elemanlar	7
2.1.5. İzoparametrik Elemanlar	7
2.2.İnterpolasyon Fonksiyonlarının Seçimi	8
2.3.Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi	8
2.4.Sistem Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi	8
2.5.Sisteme Etki Eden Kuvvetlerin Bulunması	9
2.6.Sınır Şartlarının Belirlenmesi	9
2.7.Sistem Denkleminin Çözümü	9
2.8. Koordinatlar ve Şekil Fonksiyonları	9
2.9. İki Boyutlu Problemler	12
2.10. İzoparametrik Elemanlar	13
2.11. Potansiyel Enerji İfadesi	16
2.11.1. Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi	17
2.12. Kuvvet Vektörleri	19
2.12.1.Kütle kuvvetleri	19

2.12.2. Yüzey Kuvvetleri	19
2.13. Yüksek Dereceden Elemanlar	20

BÖLÜM 3

KAYNAK

3.1. Giriş	21
3.2. Kaynak İçin Gerekli Koşullar	22
3.3. Kaynağın Sınıflandırılması	23
3.4. Kaynak Hataları	24
3.4.1. Nüfuziyet Azlığı	24
3.4.2. Birleştirme Azlığı	26
3.4.3 Yanma Olukları	26
3.4.4. Bindirme Dikişlerinde Levha Kenarlarının Erimesi	27
3.4.5. Kaynak Dikişinin Taşması	28
3.4.6. Curuf Kalıntıları	28
3.4.7. Gözenekler	29
3.4.8. Hatalı Kaynak Şekil ve Boyutu	30
3.4.9. Sıçramalar	32
3.4.10. Çarpılma ve Distorsiyonlar	32
3.4.11. Fıskırma	33
3.4.12. Çatlaklar	33
3.5. Kaynaklı İmalatın Özellikleri	34
3.6. Kaynak Dikiş Şekilleri	35

BÖLÜM 4

KAYNAKLI KONSTRÜKSİYON

4.1. Giriş	38
4.2. Kaynaklı Konstrüksiyon Kuralları	38

BÖLÜM 5

ŞEKİL DEĞİŞİMİ (STRAIN)

5.1. Giriş	48
5.2. Strain Gauge (Birim Şekil Değişim Ölçer)	48
5.3. Şekil Değişimi ve Direnç Değişimi	49
5.4. Strain Gauge Yapıştırma İşlemi	50

BÖLÜM 6

AĞ OLUŞTURMA

6.1. Otomatik Ağ Oluşturma	53
6.2. ANSYS Paket Programı Kullanılarak Ağ Oluşturma	57
6.2.1. Giriş	57
6.2.2. Ağ Oluşturma	57
6.2.2.1. Serbest veya Alan Ağ Oluşturma	57
6.2.3. Eleman Özelliklerinin Belirlenmesi	58
6.2.4. Ağ Kontrolleri	58
6.2.4.1. Ağ Kontrol Menüsi	59
6.2.4.2. Eleman Şekli	59
6.2.4.3. Ağ Genişleme Kontrolü	60
6.2.5. Ağ Oluşturma Yöntemlerinde Kontrollerin Kullanılması	61
6.2.5.1. Serbest Ağ Oluşturma	61
6.2.5.2. Alan Ağ Oluşturma	61
6.2.5.3. Hacim Üzerinde Alan Ağ Oluşturma	62
6.2.6. Katı Bir Model Üzerinde Ağ Oluşturma	63
6.2.6.1. XMESH Komutları Kullanılarak Ağ Oluşturma	63
6.2.6.2. Eleman Şekil Kontrolü	64
6.2.7. Ağ Değiştirme	64
6.2.8. Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar	64

BÖLÜM 7

KAYNAK FORMUNUN GERİLME DAĞILIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

7.1. Giriş	67
7.2. Yapılan Çalışmalar	67
7.2.1. Hazırlanan Özel Bilgisayar Programı İle Gerilme Analizi	67
7.2.2. Deneysel Çalışma	70
7.2.2.1. Deney Düzeneği	70
7.2.2.2. Deneyin yapılışı	71
7.2.2.3. Strain gauge kalibrasyon denklemleri	73
7.2.3. Ansys Paket Programı ile Yapılan Çalışmalar	73
7.3. Elde Edilen Değerler ve Grafikler	74

7.3.1. Hazırlanan Özel Bilgisayar Programı Sonuçları	74
7.3.2. Deneysel Sonuçların ve Ansys Sonuçlarının Karşılaştırılması	77
7.3.3. Ansys Paket Programından Elde Edilen Değerler	80
7.3.3.1. İki Boyutlu Çalışmalardan Elde Edilen Değerler	80
7.3.3.2. Üç Boyutlu Çalışmalardan Elde Edilen Değerler	85
7.3.3.2.1. Köşe Kaynağı Değerleri	85
7.3.3.2.2. Alın Kaynağı Değerleri	93
8. TARTIŞMA VE SONUÇ	97
9. KAYNAKLAR	98
10. ÖZGEÇMİŞ	100



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**KAYNAK FORMUNUN GERİLME DAĞILIMINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Sinan AYDIN

Cumhuriyet Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç.Dr. M. Şemseddin ÇİMEN

Köşe ve alın kaynağında kuvvet hatlarına uygun form seçilmediği zamanlarda kaynak bölgesinde gerilme yığılması oluşmaktadır. Kuvvet hatlarının yön değiştirdiği bölgede, gerilme yığılmalarının oluşması konstrüksiyon açısından tehlikeli durumlar oluşturmaktadır.

İş parçasının bir bölümünde gerilme değerlerinin aşırı derecede yüksek olması konstrüksiyon açısından istenmeyen bir durumdur. İç bükey ve dış bükey kaynaklı parçalarda küçük bir bölgede gerilme değerlerinin yüksek olması durumunda parçada çentik etkisi oluşmaktadır ve parçalar yapılan mukavemet hesaplarının altındaki gerilme değerlerinde kırılabilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak formunun gerilme dağılımına etkisinin incelenmesi, için: köşe ve alın kaynaklarında iç bükey ve dış bükey kaynak dikişli iş parçalarına çeşitli kuvvetler uygulanmıştır. Kuvvetlerin yönü ve değerleri değiştirilerek kaynak dikişinde oluşan gerilmelerin dağılımları ve etkileri araştırılmıştır.

Kaynak yapılmış parçalardaki gerilme dağılımlarının, sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik olarak incelenebilmesi için Qbasic ve Fortran programlama dilleri kullanılarak yapılan programlarla, iki boyutlu inceleme yapılmıştır. Ayrıca, aynı kaynak formları, Ansys paket programında da incelenmiştir. Bilgisayar programları ile yapılan nümerik incelemelere ek olarak deney numuneleri ve deney düzeneği hazırlanarak, gerilme dağılımı deneysel olarak incelenmiştir.

Sonuç olarak, köşe ve alın kaynaklarında iç bükey ve dış bükey kaynak dikişli parçalarda elde edilen gerilme dağılım değerleri grafik olarak sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Kaynak / Gerilme analizi / Sonlu Elemanlar Metodu / Ansys

SUMMARY

M. Sc. Thesis

**THE INVESTIGATION OF EFFECTS OF THE WELD NUGGET FORM TO STRESS
DISTRIBUTION**

Sinan AYDIN

Cumhuriyet University

Grade School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. M. Şemseddin ÇİMEN

Stress accumulation is occurred in the some points of the welding region when the suitable form to force lines has not chosen in the corner welding and forehead welding. Occuring stress accumulation where the direction of the force lines changes is caused to dangerous situation according to construction rules.

Occuring the too high stress at the some region of the workpieces is not wanted according to construction rules. In the case, stress is high in the little region of workpieces which are welded with corner welding or forehead welding, notched effect has been happened. So that, workpiece can be broken in the stress values smaller than stress values founded in respect to rules strength of materials.

Various forces have been applied to workpieces which have concave or convex welding seam in corner welding or forehead welding to investigate of the effects of the weld nugget form to stress distribution using finite element methods. Stress distribution in the welding seam and effects of these stress distribution have been researched with changing of the direction and value of the forces.

Two dimensional investigation has been made by using computer programs prepared in Basic and Fortran languages to be able to investigate stress distribution on the welded workpieces by using numerical methods. Same welding forms have also investigated by using Ansys software computer program. Stress distribution has been investigated experimentelly preparing experimental specimen and also experimental mechanism (stand) in addition to numerical investigation made by using computer programs.

As a result of this study, stress distribution in the welded workpieces which have concave or convex welding seam in corner welding or forehead welding were found and illustrated as graphics in figures.

KEY WORDS: Welding / Stress Analysis / FEM / Ansys

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımda her türlü katkıları, yardımları ile beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Şemseddin ÇİMEN'e ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sinan AYDIN

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Tek boyutlu elemanlar	5
Şekil 2.2: Düzlem eleman tipleri	6
Şekil 2.3: Üç boyutlu eleman tipleri	6
Şekil 2.4: İzoparametrik elemanlar	7
Şekil 2.5: Bir elemanın x ve r koordinatında gösterimi	9
Şekil 2.6: Bir elemanda lineer interpolasyon fonksiyonunun değişimi	10
Şekil 2.7: (a) N_1 şekil fonksiyonu (b) N_2 şekil fonksiyonu (c) N_1 ve N_2 kullanılarak elde edilen lineer interpolasyon	11
Şekil 2.8: İki boyutlu problem	12
Şekil 2.9: Dört düğümlü dörtgen eleman	13
Şekil 2.10: Doğal koordinatlarda temel eleman	14
Şekil 2.11: Şekil değiştirmiş dörtgen elemanlar	20
Şekil 3.1: Mikroskobik olarak kübik kristalli bir malzemede kaynağın prensip şeması	21
Şekil 3.2: Kaynakta sertlik ölçme ile süreklilik kontrolünün yapılması	22
Şekil 3.3: Sıcak basınç kaynağının şematik olarak gösterilmesi	23
Şekil 3.4: Soğuk basınç kaynağının şematik olarak gösterilmesi	24
Şekil 3.5: Nüfuziyet azlığının genel olarak gösterilmesi	25
Şekil 3.6: Birleştirme azlığının şematik olarak gösterilmesi	26
Şekil 3.7: Yanma oluşunun şematik olarak gösterilmesi	27
Şekil 3.8: Bindirme dikişlerinde levha kenarlarının erimesinin şematik gösterimi	27
Şekil 3.9: Kaynak dikişi taşmasının şematik olarak gösterimi	28
Şekil 3.10: Curuf kalıntılarının şematik gösterilmesi	28
Şekil 3.11: Gözeneklerin şematik olarak gösterilmesi	29
Şekil 3.12: Köşe kaynağında uygun formun şematik olarak gösterimi	30
Şekil 3.13: Uygun kaynak dikişi yeri şematik gösterimi	31
Şekil 3.14: Kök pasoya çekme gerilmesi gelmemesi durumunun şematik gösterimi	31
Şekil 3.15: Kaynakta sıçramanın şematik olarak gösterimi	32
Şekil 3.16: Köşe kaynağında çarpılmayı önlemenin şematik gösterimi	32
Şekil 3.17: Alın kaynağında çarpılmayı önlemenin şematik gösterimi	33
Şekil 3.18: Fıskırmanın şematik olarak gösterimi	33
Şekil 3.19: Ankastre bağlı parçanın şematik gösterimi	34
Şekil 3.20: Ankastre bağlı parçaların kaynağının şematik olarak gösterimi	34
Şekil 3.21: Kaynak edilecek parçaların konumları	35
Şekil 3.22: Kaynak dikişleri ve sembolik gösterimleri	36

Şekil 3.23: Kaynak yöntemine göre ağız açma	36
Şekil 3.24: Alın dikişlerinde ağız açma	37
Şekil 3.25: Köşe (T) dikişlerinde ağız açma	37
Şekil 4.1: Dış ve iç bükey dikiş	38
Şekil 4.2: Kuvvet çizgilerinin yön değiştirmesi	38
Şekil 4.3: Kaynak dikişinin durumu	39
Şekil 4.4: Dikiş kökünde çekme gerilmesi durumu	39
Şekil 4.5: Kaynak dikişinin işlenecek yüzeydeki durumu	40
Şekil 4.6: Dikişin üst üste durumu	40
Şekil 4.7: a. Ön işlemlili ve işlemsiz kaynak	41
Şekil 4.7: b. Merkezlemeli ve merkezlemesiz dikiş	41
Şekil 4.8: Ekonomik kaynak durumu	41
Şekil 4.9: Kaynakta çarpılma	42
Şekil 4.10: Devamlı ve kesikli dikiş durumu	42
Şekil 4.11: Kaynak dikişinin köşeden içeriye alınması	42
Şekil 4.12: Flanşın açılması	43
Şekil 4.13: İşlenecek yüzeylerde dikiş durumu	43
Şekil 4.14: Parça çevrilmeden kaynak durumu	43
Şekil 4.15: Bindirme ile sağlanan kolaylık	44
Şekil 4.16: Kaynakta keskin köşe durumu	44
Şekil 4.17: Bombenin engellenmesi	44
Şekil 4.18: Kaynak gazlarının sıkışmasının önlenmesi	45
Şekil 4.19: Deformasyonun önlenmesi	45
Şekil 4.20: Kesit değişmesi durumu	45
Şekil 4.21: Göbeklerin kaynak yapılması	46
Şekil 4.22: İki plakanın kaynak yapılması	46
Şekil 4.23: Dikiş ağızı açısının durumu	46
Şekil 4.24: Kaynak dikişlerinin toplanması durumu	47
Şekil 4.25: Delikli yüzeylerin durumu	47
Şekil 5.1: Eksenel çekme uygulanmış parça	48
Şekil 5.2: Strain Gauge	49
Şekil 5.3: Wheatstone Köprüsü	49
Şekil 5.4: Yüzeyin zımparalanması	50
Şekil 5.5: Yüzeye solvent uygulaması	51
Şekil 5.6: Yüzeye yapıştırıcı uygulaması	51
Şekil 5.7: Strain gauge nin yüzeye yapıştırılması	51
Şekil 5.8: Strain gauge tellerinin lehimleme için hazırlanması	52

Şekil 5.9: Bağlantı terminalinin uygulaması	52
Şekil 5.10: Terminal lehimlemesinin yapılması	52
Şekil 6.1: Ortasında delik bulunan dikdörtgen levha için örnek alt blok bölüntüsü	53
Şekil 6.2: Şekil 6.1 için bölge ve blok diyagramı	54
Şekil 6.3: Düğüm, blok ve kenarların numaralandırılması	55
Şekil 6.4: Serbest ve alan ağ yöntemi ile oluşturulmuş ağ yapısı	58
Şekil 6.5: Dejenere eleman şekilleri	59
Şekil 6.6: Farklı eleman büyüklüğüne sahip hacimsel bir yapı	60
Şekil 6.7: Farklı sayıda elemanlara bölünmüş hacimsel yapı	60
Şekil 6.8: Genişlemiş ağ yapısı	61
Şekil 6.9: Alan üzerinde alan yöntemi ile oluşturulmuş ağ yapıları	62
Şekil 6.10: Basit bir alan şekli	62
Şekil 6.11: Farklı elemanlar ile ağ oluşturulmuş hacimsel yapı	63
Şekil 6.12: Keskin köşelerdeki ağ yapıları (a) istenilmeyen yapı (b) istenilen yapı	65
Şekil 6.13: Farklı şekilde eleman geçişi uygulanmış ağ yapıları	65
Şekil 6.14: Eğri bir yüzeydeki ağ yapısı	66
Şekil 7.1: İç bükey kaynak blok şeması	68
Şekil 7.2: Dış bükey kaynak blok şeması	68
Şekil 7.3: İç bükey kaynak ağ yapısı	69
Şekil 7.4: Dış bükey kaynak ağ yapısı	69
Şekil 7.5: Deney düzeneği genel görünümü	71
Şekil 7.6: Deney parçalarındaki strain gauge yapıştırma bölgeleri	71
Şekil 7.7: Kalibrasyon grafiği	72
Şekil 7.8: Kalibrasyon denklem grafiği	72
Şekil 7.9: İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu	74
Şekil 7.10: İç bükey kaynak dikişi için gerilme değerleri	75
Şekil 7.11: Dış bükey kaynak dikişi için gerilme değerleri	75
Şekil 7.12: Kaynak dikişi üst yüzeyindeki σ_x değişimleri	76
Şekil 7.13: Kaynak dikişi üst yüzeyindeki σ_y değişimleri	76
Şekil 7.14: Kaynak dikişi üst yüzeyindeki τ_{xy} değişimleri	77
Şekil 7.15: İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu	78
Şekil 7.16: İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu	80
Şekil 7.17: İç bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımı	80

Şekil 7.18: Dış bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımı	81
Şekil 7.19: İç bükey kaynak dikişinde σ_x değerleri	82
Şekil 7.20: İç bükey kaynak dikişinde σ_y değerleri	82
Şekil 7.21: İç bükey kaynak dikişinde σ_y Dağılımı	83
Şekil 7.22: Dış bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımı	83
Şekil 7.23: İç bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımı	84
Şekil 7.24: Dış bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımı	84
Şekil 7.25: İç bükey kaynak modeli	85
Şekil 7.26: Dış bükey kaynak modeli	85
Şekil 7.27: İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu	85
Şekil 7.28: İç bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları	86
Şekil 7.29: Dış bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları	86
Şekil 7.30: İç bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımları	87
Şekil 7.31: Dış bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımları	87
Şekil 7.32: İç bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımları	88
Şekil 7.33: Dış bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımları	88
Şekil 7.34: İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu	89
Şekil 7.35: İç bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları	89
Şekil 7.36: Dış bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları	90
Şekil 7.37: İç bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımları	91
Şekil 7.38: Dış bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımları	91
Şekil 7.39: İç bükey kaynak dikişi τ_{xy} dağılımları	92
Şekil 7.40: Dış bükey kaynak dikişi τ_{xy} dağılımları	92
Şekil 7.41: İç bükey kaynak modeli	93
Şekil 7.42: Dış bükey kaynak modeli	93
Şekil 7.43: İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu	93
Şekil 7.44: İç bükey kaynak dikişi σ_x dağılımı	94
Şekil 7.45: Dış bükey kaynak dikişi σ_x dağılımı	94
Şekil 7.46: İç bükey kaynak dikişi gerilme değerleri	95
Şekil 7.47: Dış bükey kaynak dikişi gerilme değerleri	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 7.1: Ansys ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması İç Bükey Kaynak (30000 N Basma)	79
Çizelge 7. 2: Ansys ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması Dış Bükey Kaynak (30000 N Basma)	79



SİMGELER DİZİNİ

x, y	= Lokal koordinat sistemi
r, s	= Doğal koordinat sistemi
u, v	= Deplasman vektörünün x, y doğrultularındaki bileşenleri
q	= Düğüm deplasmanı
ε	= Birim şekil değiştirme
$\{\varepsilon\}$	= Şekil değişim matrisi
$[B]$	= Şekil-yer değiştirme matrisi
$\{q\}$	= Eleman yer değiştirme vektörü
E	= Elastisite modülü
$\{\sigma\}$	= Gerilme matrisi
$\{u\}$	= Yer değiştirme vektörü
$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$	= Kartezten koordinatlarda gerilme bileşenleri
$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$	= Kartezyen koordinatlarda şekil değişim bileşenleri
T	= Yüzey kuvveti
dV	= Diferansiyel hacim
t	= Üç boyutlu koordinat sisteminde z yönündeki kalınlık
$[D]$	= Elastisite matrisi
N_i	= Langrange şekil fonksiyonu
$[N]$	= Şekil fonksiyonları matrisi
$[J]$	= Jakobiyen matrisi
A	= Kartezyen koordinatlardaki alan
U	= Elastik enerji
$\{f\}_e$	= Eleman kütle kuvveti
L	= İş parçasının ilk boyu
ΔL	= Kuvvet uygulandıktan sonra iş parçasındaki uzama
R	= Strain gauge direnci
ΔR	= Şekil değişiminden sonra dirençte oluşan değişim
K	= Gauge faktörü
e	= Çıkış voltajı
E_u	= Uyarma gerilimi
Δe	= Çıkış voltajındaki değişim
N_D, N_Y	= Y-D koordinat sisteminde düşeydeki ve yataydaki aralık sayıları
K_D, K_Y	= Aralıkların alt bölümleri
$NNY(KY), NND(KD)$	= Yatay ve düşeydeki toplam aralık sayıları

NNY, NND	= Y ve D yönündeki toplam düğüm sayıları
NNT	= Maksimum düğüm sayısı
X(I), Y(I)	= Temel düğümlerin koordinatları
R ²	= Eğri denklemlerinin yaklaşımı



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1.Konunun Önemi

Köşe ve alın kaynağında kuvvet hatlarına uygun form seçilmediği zamanlarda kaynak bölgesinde gerilme yığılması oluşmaktadır. Kuvvet hatlarının yön değiştirdiği bölgede, gerilme yığılmalarının oluşması konstrüksiyon açısından tehlikeli durumlar oluşturmaktadır.

Konstrüksiyon açısından istenmeyen durumlardan biri olan iş parçasını bir bölümünde gerilme değerlerinin aşırı derecede yüksek olması durumunda, özellikle insan hayatının söz konusu olduğu ortamlarda emniyet azalmaktadır. İç bükey ve dış bükey kaynaklı parçalarda küçük bir bölgede gerilme değerlerinin yüksek olması durumunda parçada çentik etkisi oluşmakta ve yapılan mukavemet hesaplarının çok altındaki gerilme değerlerinde parçalar kırılabilmektedir.

Tüm mühendislik hesaplarının yapılmasında kullanılabilen sonlu elemanlar yöntemi özellikle, karışık sistemlerde oldukça başarılı olmaktadır. Günümüzde her alanda uygulama imkanı bulan sonlu elemanlar yöntemini, tüm mühendislik dalları kendilerine ya da alt birimlerine uygun olan kısımlarını alarak kullanmaktadırlar. Sonlu elemanlar yönteminin uygulama alanını artırmak, mevcut kullanılan formülasyon ve yaklaşımlara ilave yapmak, ya da özel formülasyonlar çıkararak incelenmesi zor sistemlerin kolayca incelenmesini sağlamak için oldukça yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmalara ek olarak hazırlanan paket programlar ile de nümerik sonuçların daha hızlı ve kolay alınması sağlanmıştır. Bu programlar önceden kişisel olarak tasarlanmakta idi. Ancak günümüzde paket programlar daha çok tercih edilmektedir. Programın kullanılması aşamasında ortaya çıkan bir çok problemin çözümü ve elde edilen sonuçların doğruluğundan emin olunması için ilave çalışmalar gerekmektedir. Yaptığımız çalışmada, qbasic ve fortran programlama dillerinde hazırladığımız özel program sonuçları ile Ansys paket programı sonuçları karşılaştırılarak sonuçların doğruluğu gösterilmiştir.

Yamada, Yoshimura ve Sakurai (1967), yaptıkları çalışma ile sürekli elasto-plastik problemlerin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü için bir yöntem geliştirilmişlerdir. Bu yöntem, elasto-plastik problemlerin çözümünü kolaylaştırmakta ve rijitlik matrisi son derece basit bir şekilde elde edilmektedir. Bu yaklaşım Marcal ve King tarafından yapılan çalışmanın devamı niteliğindedir.

Ergatodus, Irons ve Zienkiewicz (1968), yaptıkları çalışmada, izoparametrik elemanların kullanılmasının, eğrisel şekilli sistemlerde istenilen düzeyde iyi bir yaklaşımın sağlanması açısından oldukça uygun olduğunu belirtmişlerdir. İki boyutlu problemlerde dörtgen izoparametrik

elemanların kullanılmasına dair geliştirilmiş teori bilgileri ile çözümün hassasiyetini artırmanın mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Lee ve Kobayashi (1969), yaptıkları çalışma ile düzlem şekil değiştirme ve eksenel simetrik, düz punch çentiğinin elasto-plastik analizi; plastik bölgenin gelişimi, yük-yer değiştirme ilişkileri, gerilme – yer değiştirme durumlarını incelemişlerdir.

Zienkiewicz, Vallhappant ve King (1969), yaptıkları çalışma ile mühendislik problemlerinin çözümü için belirli bir akış kuralı kullanarak, herhangi bir akma yüzeyi için elde edilen gerilmelerin elasto-plastik formülasyonu ile alternatif sonuçlara göre çok daha uygun sonuçlar elde etmişler ve bu yük aralıklarında gerilme dağılımlarını göstermek için elasto-plastik çözümler üretmişlerdir.

Owen ve Salonent (1973), yaptıkları çalışma ile yüksek hızlı bilgisayarlardaki gelişmelere paralel olarak çözüm algoritmalarında yaptıkları yeni düzenlemelerle, problemlerin çözümünü daha pratik hale getirmişlerdir. İzoparametrik elemanların, üç boyutlu elasto-plastik problemlere uygunluğunu nümerik çözümlerle göstermişlerdir.

Lo (1985), yaptığı çalışma ile birden fazla bağlantılı alanlar içerisinde, iç düğüm noktalarını oluşturmak için yeni bir algoritma tanımlanmıştır. Sınırdaki düğüm noktaları ve iç düğüm noktalarını mümkün olan en iyi üçgen elemanlar ile birleştirerek çözüm elde etmiştir.

Gau ve Shabana (1995), yaptıkları çalışma ile sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sıkıştırılmaya zorlanan elastik sistemlerin boylamsal dalgalanmalarını, Fourier metodu kullanarak, hareketlerin çeşitli hız evrelerindeki incelemesini yapmışlar ve formülleri virtüel iş prensibine göre geliştirmişlerdir.

Bussemaker (2000), “Fesa Win 3-d” lineer elastik sonlu elemanlar gerilme analiz programını kullanarak, deformasyonları ve yapılarıdaki iç gerilmeleri, uygulanan dış yükler ve sınır koşullarına bağlı olarak incelemiştir.

Matsunaga (2000), yaptığı çalışma ile, kısa izoparametrik levhaların doğal frekans ve flanbaj gerilmelerini incelemiş, iki parametrelili elastik alanda küçük deformasyonları, kalınlık değişimini ve dönme ataletinin etkilerini hesaba katarak titreşim ve sağlamlık analizi yapmıştır.

Chin, Faris, Bermami ve Kitipornchai (1993), yaptıkları çalışma ile ince plakların lineer ve geometrik rijitlik matrisini, minimum toplam potansiyel enerji ilkesinden yola çıkarak elde etmişler ve flanbaj analizi yapmışlardır.

Yamaguchi, Kanok, Hammadeh ve Kubo (1999), yaptıkları çalışma ile Timoshenko'nun kiriş teorisi ve tasarlanan kiriş elemanlara uygulanan penaltı metodundan yola çıkmış, ve sonuçta geleneksel üç boyutlu analizlerin iki boyuta indirgenmesinden farklı olarak büyük yer değiştirmeler için dejenere formülasyonları elde etmişlerdir.

Çimen (1994), nokta direnç kaynağında, kontak direncini, deneysel ve nümerik olarak incelemiş, nokta kaynağının özellikle ilk periyotlarında ısı oluşumu üzerinde önemli etkisi olan

kontak direncinin, elektrod kuvveti, elektrod uç çapı, parça kalınlığı gibi faktörlere bağılı olarak değişimini grafiklerle göstermiştir.

Çimen (1998), ince levhalarda, nokta direnç kaynağındaki gerilme dağılımını nümerik olarak incelemiştir.

Bu çalışmada, uygulanan kuvvete bağılı olarak tüm iş parçası ve özellikle kaynak bölgesinde oluşan gerilme dağılımı bulunarak, hangi durumda hangi kaynak formunun uygun olduğı belirlenmiştir. Nümerik çalışmalarda, alın ve köşe kaynaklarında kaynak dikişinin dış bükey veya iç bükey olması durumlarında, iş parçalarına değişik kuvvetler uygulanmış ve her biri için kaynak bölgesinde oluşan gerilmeler bulunmuştur. Daha sonra elde edilen gerilme değerleri kıyaslanarak, hangi durumda kaynak formunun uygun olduğı belirlenmiştir. Eğer zorunlu olarak uygun olmayan form seçilecekse sistemi tehlikeye sokmayacak diğer tedbirler alınabilir ya da tehlike oluşturacak bölgeye takviyeler yaparak oluşabilecek kazalar önlenabilir. Parçalar üzerine yapılacak yüklemeler ve bağılantı noktaları elde edilen sonuçlara göre düzenlenerek uygun bir dizayn oluşturulabilir. Yapılan çalışmalarda, tüm parça üzerinde oluşan gerilme dağılımlarının renkli olarak alınabilmesi, incelenenin oldukça kolay bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır.

BÖLÜM 2

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

2.1. Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Metodun üç temel niteliği vardır: İlk olarak geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit bölgelere ayrılır. İkinci olarak her elemandaki sürekli fonksiyonların, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, her eleman içinde düğüm noktalarındaki değerlerin elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli görülmesidir. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları, interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır (Chandrupatla, 1991).

Sonlu elemanlar metodunun kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen birçok makina elemanının (motor blokları, pistonlar vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim sırasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum dizaynın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan üstün kılan başlıca özellikler şu şekilde sıralanabilir.

- Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- Genel rijitlik matrisi kullanılarak cisme etki eden kuvvetler, deplasmanlar cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün hale getirir hem de basitleştirir.
- Sınır şartları kolayca uygulanabilir.

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp, tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir (Zienkiewicz, 1985).

Sonlu elemanlar metodu ile problem çözümünde kullanılacak olan yaklaşım, çözüm işleminde izlenecek yolu değiştirmez. Çözüm yöntemindeki adımlar şunlardır.

- Cismin sonlu elemanlara bölünmesi
- İnterpolasyon fonksiyonlarının seçimi
- Eleman rijitlik matrisinin oluşturulması

- d) Sistem rijitlik matrisinin oluşturulması
- e) Sisteme etki eden kuvvetlerin bulunması
- f) Sınır şartlarının belirlenmesi ve uygulanması
- g) Sistem denklemlerinin çözümü

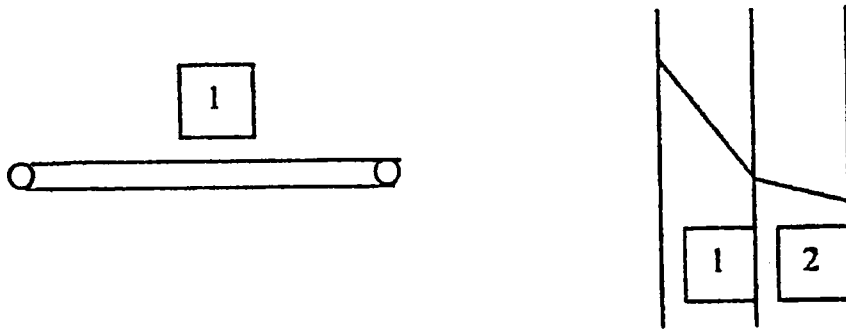
Sonlu eleman probleminin çözümünde ilk adım eleman tipinin belirlenmesi ve çözüm bölgesinin elemanlara ayrılmasıdır. Çözüm bölgesinin geometrik yapısı belirlenerek bu geometrik yapıya en uygun gelecek elemanlar seçilmelidir. Seçilen elemanların çözüm bölgesini temsil etme oranında, elde edilecek sonuçlar gerçek çözüme yaklaşmış olacaktır.

İki boyutlu bir şekil, en basit olarak üçgen elemanlara bölünebilir. Bunun için şekil önce dört kenarlı elemanlara, sonra da bu dörtgen elemanlar üçgenlere ayrılır. İkinci ayırma sırasında, geometrik değişiklikler, yük uygulanan yerler ve malzeme özelliklerinin değişiklik gösterdiği bölgeler göz önünde tutulur. Eğer ele alınan cismin kenarları doğrusal değilse, bu eğrilik küçük elemanlar kullanılarak belli bir yaklaşıklıkla ifade edilebilir (Nath, 1993).

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanlar aşağıda gösterilmiştir.

2.1.1. Tek Boyutlu Elemanlar

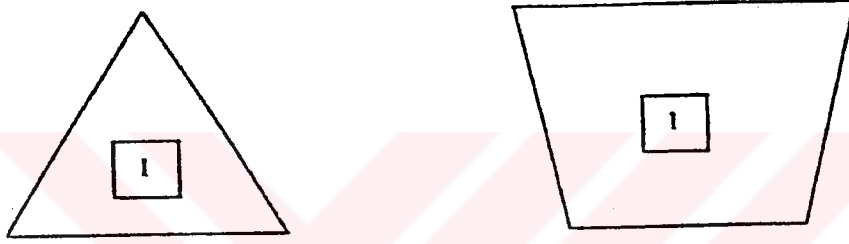
Tek boyutlu elemanlar geometrik olarak diğer iki boyutu tek boyutuna göre ihmal edilebilen geometrik yapıların analizinde ve problemin özelliğinden dolayı tek boyutlu inceleme yapmayı gerektiren durumlarda kullanılır. İlk duruma örnek olarak kafes sistemleri, ikinci duruma örnek olarak da tek boyutlu ısı transferi gösterilebilir. Şekil 2.1'de tek boyutlu eleman gösterilmiştir (Henshow, 1992).



Şekil 2.1. Tek boyutlu elemanlar

2.1.2. İki Boyutlu Elemanlar

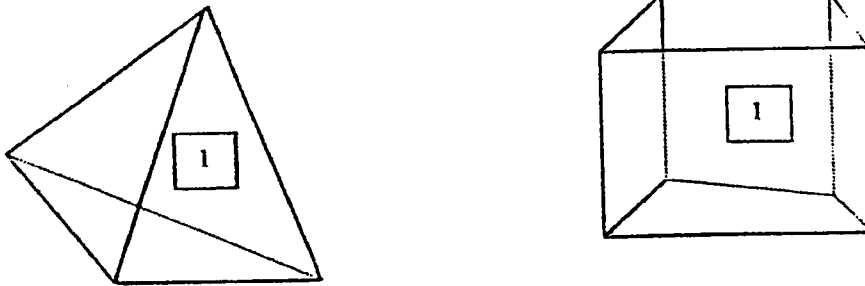
İki boyutlu (düzlem) problemlerinin çözümünde kullanılırlar. Bu grubun temel elemanı üç düğümlü üçgen elemandır. Üçgen elemanın altı, dokuz ve daha fazla düğüm içeren çeşitleri de vardır. Düğüm sayısı seçilecek interpolasyon fonksiyonunun derecesine göre belirlenir. Üçgen eleman, çözüm bölgesini aslına uygun olarak temsil etmesi bakımından kullanışlı bir eleman tipidir. İki üçgen elemanın birleşmesiyle meydana gelen dörtgen eleman problemin geometrisine uyum sağladığı ölçüde kullanışlılığı olan elemandır. Dört veya daha fazla düğümlü olabilir. Dörtgen eleman çoğu zaman özel hal olan dikdörtgen eleman şeklinde kullanılır. Şekil 2.2’de düzlem eleman tipleri gösterilmiştir (Chandrupatla,1991).



Şekil 2.2. Düzlem eleman tipleri

2.1.3. Üç Boyutlu Elemanlar

Bu grupta temel eleman üçgen piramittir. Bunun dışında dikdörtgenler prizması veya daha genel olarak altı yüzeyle elemanlar, üç boyutlu problemlerin çözümünde kullanılan eleman tipleridir (Şekil 2.3).



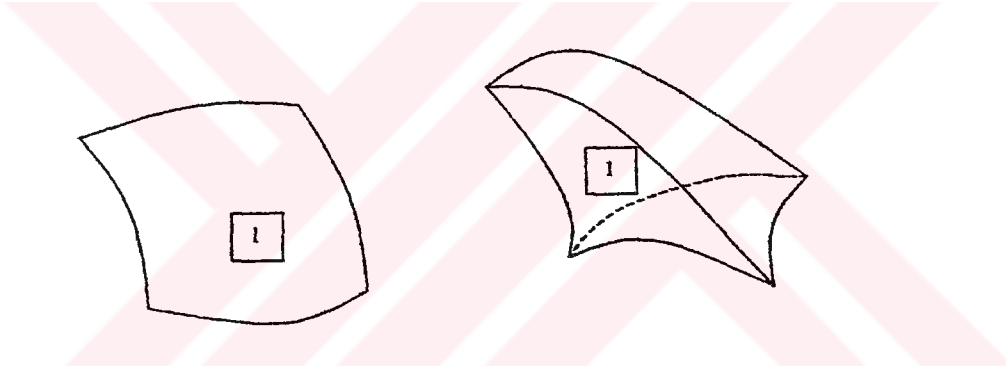
Şekil 2.3. Üç boyutlu eleman tipleri

2.1.4. Dönel Elemanlar

Eksenel simetrik özellik gösteren problemlerin çözümünde dönel eleman kullanılır. Bu elemanlar bir veya iki boyutlu elemanların simetri eksenini etrafında bir tam dönme yapması ile oluşurlar. Gerçekte üç boyutlu olan bu elemanlar, eksenel simetrik problemleri iki boyutlu problem gibi çözüme olanağı sağladığı için çok kullanışlıdır.

2.1.5. İzoparametrik Elemanlar

Çözüm bölgesinin eğri kenarlı olduğu durumlarda gerçeğe yakın olması maksadı ile izoparametrik elemanlar kullanılır. Elemanı geometrik olarak tanımlayan fonksiyon ile alan değişkeninin çözüm bölgesi içerisindeki değişimini tanımlayan fonksiyonun aynı dereceden olmasından dolayı bu tür elemanlara izoparametrik elemanlar denir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. İzoparametrik elemanlar

Sonlu elemanlar yönteminde birbirinden farklı büyüklükte elemanlar kullanılabileceği gibi düğüm noktaları arasındaki uzaklıklarda farklı olabilir. Ani sıcaklık farkları ve gerilmelerin yoğun olduğu yerler gibi değişimleri daha iyi izleyebilmek için böyle değişkenlerin beklenildiği bölgelere daha küçük ve fazla sayıda eleman yerleştirilir. Analizi yapan kişi eleman tipini, eleman geometrisini, sonlu eleman sayısını, düğüm noktalarını yerleşimini ve problemi kaç boyutta göz önüne alacağını kendi bilgi ve tecrübesine dayanarak belirler. Örneğin bir eksene göre simetrik bir parçanın düzgün yayılı bir yük altında gerilmeleri araştırılıyorsa problemi üç boyutta analiz etmeye gerek yoktur (Bathe, 1981).

2.2. İnterpolasyon Fonksiyonlarının Seçimi

İnterpolasyon fonksiyonu, alan değişkeninin eleman üzerindeki değişimini temsil etmektedir. İnterpolasyon fonksiyonunun belirlenmesi seçilen eleman tipine ve çözülecek denklemin derecesine bağlıdır. Ayrıca interpolasyon fonksiyonları şu şartları sağlamalıdır:

- a) İnterpolasyon fonksiyonunda bulunan alan değişkeni ve alan değişkeninin en yüksek mertebeden bir önceki mertebeye kadar olan kısmi türevleri eleman sınırlarında sürekli olmalıdır.
- b) İnterpolasyon fonksiyonunda bulunan alan değişkeninin bütün türevleri, eleman boyutları limite sınıra gitse bile alan değişkenini karakterize etmelidir.
- c) Seçilen interpolasyon fonksiyonu koordinat değişimlerinden etkilenmemelidir.

Hem yukarıdaki şartları sağlamaları hem de türev ve integral almadaki kolaylığından dolayı interpolasyon fonksiyonu olarak genelde polinomlar seçilir. Seçilen polinom yukarıdaki şartların gerçekleşmesi için uygun terimleri ifade etmelidir (Topçu, 1999).

2.3. Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi

Eleman rijitliğinin bulunması, elemana etki eden dış kuvvetler ile alan değişkenleri arasında bir ilişki kurmak anlamına gelmektedir. Eleman rijitliğini elde ederken çözülecek problemin konusu; alan değişkeni, seçilen eleman tipi, seçilen interpolasyon fonksiyonu, eleman özelliklerini elde ederken kullanılan metod gibi pek çok faktör göz önüne alınmak zorundadır. Etki eden bu faktörlere göre de eleman rijitliğinin elde edilmesinde değişik yollar izlenir (Topçu, 1999).

2.4. Sistem Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi

Sistem rijitlik matrisi sistemin düğüm sayısı ve her düğümdeki serbestlik derecesine bağlı olarak belirlenir. Elemanlar için hesaplanan rijitlik matrisleri, eleman üzerindeki düğüm numaralarına bağlı olarak genel rijitlik matrisinde ilgili satır ve sütuna yerleştirilir. Farklı elemanlar tarafından ortak kullanılan düğümlerdeki terimler genel rijitlik matrisinin ilgili satır ve sütununda üst üste toplanmalıdır. Elemanların düğüm numaralaması bir sisteme göre yapılırsa genel rijitlik matrisinde elemanlar köşegen üzerinde üst üste toplanır. Genelde rijitlik matrisi simetriktir (Topçu, 1999).

2.5. Sisteme Etki Eden Kuvvetlerin Bulunması

Bir problemde sisteme etki edebilecek kuvvetler; tekil, yayılı ve kütle kuvvetleri olmak üzere üç gruba ayrılır.

a) Tekil kuvvetler : Tekil kuvvetler hangi elemanın hangi düğümüne ne yönde etki ediyorsa genel kuvvet vektöründe etki ettiği düğüme karşılık gelen satıra yerleştirilir. Problemin cinsine göre tekil yük kavramı değişebilir. Örneğin ısı iletimi probleminde elastisite problemindeki tekil yük yerine noktasal ısı kaynağı veya tanımlı ısı akışı yükleri kullanılmaktadır.

b) Yayılı kuvvetler : Bu kuvvetler bir kenar boyunca ya da sonlu bir alanda etkili olurlar.

c) Kütle kuvvetleri : Eleman hacmi için geçerli olan merkezkaç kuvveti ve ağırlık kuvvetleri gibi kuvvetlerdir (Topçu, 1999).

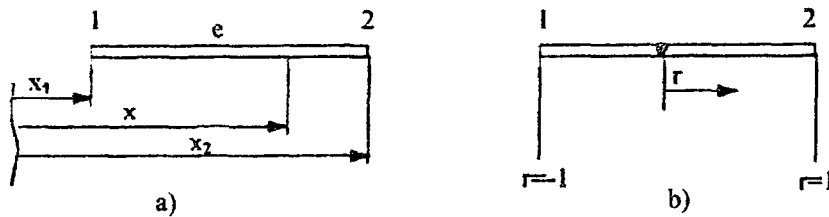
2.6. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Her problemin doğal ya da yapay sınır şartları vardır. Bir cismin çeşitli kısımlarındaki elastik yer değiştirmeler ölçülerek bir referans sağlanır. Sınır şartları cismin belli parçasında yapılan kısıtlamalardır. Bu kısıtlamalar cismin yer değiştirmesine engel olur ve uygulanan dış yüklerin cisim tarafından taşınmasını sağlar. Aynı sınır şartları, problemin cinsine göre sonlu elemanlar metodunun uygulandığı diğer vektörel ve skaler alan problemleri içinde tanımlanır.

2.7. Sistem Denkleminin Çözümü

Çözüm için, sistemin sınır şartları uygulandıktan sonra rijitlik matrisinin tersini almak yeterlidir. Fakat bilgisayar kapasitesi ve zamanı açısından çok büyük matrislerin çözümünü ters alma işlemi ile yapmak yerine, Gauss eliminasyon metodu ile çözümü, daha az kapasite kullanarak daha kısa sürede elde etmek mümkün olmaktadır.

2.8. Koordinatlar ve Şekil Fonksiyonları



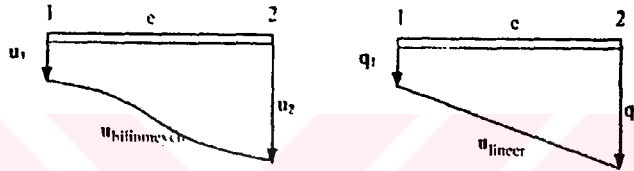
Şekil 2.5. Bir elemanın x ve r koordinatında gösterimi (Belegundu, 1991).

Şekil 2.5a'da ki gibi bir çubuk eleman ele alınırsa lokal numaralandırma ile ilk düğüm numarası 1, diğerininki ise 2 olarak numaralandırılır. Birinci düğümün koordinatı x_1 ve ikinci düğümün koordinatı x_2 dir. Buradan elemanın orta noktasına göre herhangi bir noktanın yerini -1 ile 1 değerleri arasında bulmak için r ile gösterilen bir doğal koordinat sistemi tanımlanır.

$$r = \frac{2}{x_2 - x_1} (x - x_1) - 1 \quad (2.1)$$

Şekil 2.5b'den görüleceği gibi 1. düğümde $r = -1$, ikinci düğümde $r = 1$ değerini almaktadır. Bu koordinat sistemi, şekil fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılmaktadır.

Bir eleman içindeki bilinmeyen yer değiştirmeler lineer bir interpolasyon fonksiyonu ile hesaplanmaya çalışılır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Bir elemanda lineer interpolasyon fonksiyonunun değişimi (Belegundu, 1991)

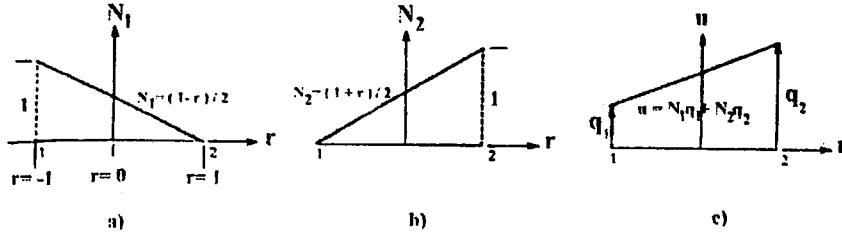
Yaklaşık bir çözüm olan bu yöntemde doğruluk değeri ancak daha fazla sayıda elemana bölmek suretiyle artırılabilir. Bu lineer interpolasyonu uygulamak için aşağıdaki şekilde lineer şekil fonksiyonları tanımlanır.

$$N_1(r) = \frac{1-r}{2} \quad (2.2)$$

$$N_2(r) = \frac{1+r}{2} \quad (2.3)$$

Şekil 2.7a ve 2.7b'de N_1 ve N_2 şekil fonksiyonları gösterilmiştir. N_1 şekil fonksiyonunun grafiği denklem (2.2)'den yararlanılarak çizilmiştir. Burada,

$r = -1$ de $N_1 = 1$ ve $r = 1$ de $N_1 = 0$ değerini almaktadır. İki noktadan bir doğru geçtiği dikkate alınarak Şekil 2.7a çizilmiştir.



Şekil 2.7. (a) N_1 şekil fonksiyonu (b) N_2 şekil fonksiyonu (c) N_1 ve N_2 kullanılarak elde edilen lineer interpolasyon (Belegundu, 1991)

Benzzer olarak, N_2 şekil fonksiyonunun grafiği olan şekil 2.7b, denklem (2.3)'den elde edilir. Şekil fonksiyonları tamamlandıktan sonra elemandaki yer değiştirmeler, düğüm deplasmanları q_1 ve q_2 ye bağlı olarak şu şekilde elde edilir.

$$u = N_1 q_1 + N_2 q_2 \quad (2.4a)$$

veya matris formunda;

$$\{u\} = [N]\{q\} \quad (2.4b)$$

şeklinde gösterilir. Burada,

$$[N] = [N_1, N_2] \quad \text{ve} \quad \{q\} = \{q_1, q_2\}^T \quad (2.5)$$

şeklindedir.

Eleman yer değiştirme vektörü olan $\{q\}$, (2.4a)'da verildiği üzere birinci düğümde $u = q_1$ ve ikinci düğümde $u = q_2$ durumunu sağlamaktadır. Şekil fonksiyonlarının gereği iki düğüm arasında u lineer olarak değişmektedir. Denklem (2.1)'den yararlanılarak global ve lokal koordinatlar arasında dönüşüm şekil fonksiyonları yardımıyla,

$$x = N_1 x_1 + N_2 x_2 \quad (2.6)$$

şeklinde yazılır. Hem deplasmanlar, hem de koordinatlar aynı şekil fonksiyonları yardımıyla ifade edilebilmektedir. Bu durum izoparametrik (eş parametrelili) formülasyon olarak adlandırılır. Bir şekil fonksiyonundan temelde iki şey beklenir.

1. Eleman içerisinde birinci türev sonlu olmalı
2. Eleman sınırlarında deplasmanlar sürekli olmalıdır

Verilen şekil değiştirme-yer değiştirme ilişkisi ($\epsilon = \frac{du}{dx}$) ve zincir kuralı kullanılarak,

$$\epsilon = \frac{du}{dr} \frac{dr}{dx} \quad (2.7)$$

elde edilir. (2.1)'de verilen x ve r arasındaki ilişkiden;

$$\frac{dr}{dx} = \frac{2}{x_2 - x_1} \quad (2.8)$$

olur. Ayrıca; $u = N_1 q_1 + N_2 q_2 = \frac{1-r}{2} q_1 + \frac{1+r}{2} q_2$ olduğundan,

$$\frac{du}{dx} = \frac{-q_1 + q_2}{2} \quad (2.9)$$

elde edilir. (2.7) ifadesinden,

$$\varepsilon = \frac{1}{x_2 - x_1} (-q_1 + q_2) \quad (2.10)$$

olur. Matris formülasyonu ile,

$$\{\varepsilon\} = [B]\{q\} \quad (2.11)$$

şeklinde yazılır. Burada $[B]$ (1×2) , boyutlarında olup eleman şekil değiştirme- yer değiştirme matrisi olarak adlandırılır ve

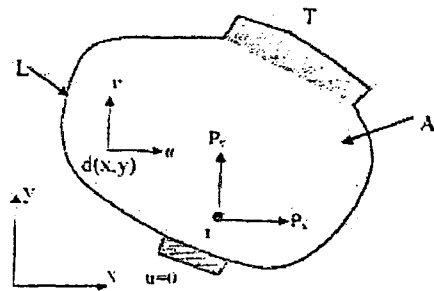
$$[B] = \frac{1}{x_2 - x_1} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

şeklindedir. Lineer şekil fonksiyonları kullanımı sebebiyle $[B]$ sabit bir matristir. Dolayısıyla bir eleman içindeki şekil değiştirmede sabittir. Hooke yasasından gerilme;

$$\{\sigma\} = E [B]\{q\} \quad (2.13)$$

Burada elde edilen gerilmenin elemanın merkezinden geçen eksen üzerindeki gerilme olduğu kabul edilmektedir. (2.4b), (2.11) ve (2.13) ifadeleri sırasıyla, düğümlerdeki deplasman, şekil değiştirme ve gerilme arasındaki ilişkiyi ortaya koyar. Bu ifadeler çubuk eleman için potansiyel enerji ifadesinde yerleştirilerek eleman rijitlik matrisi ve yük vektörünü bulmak için kullanılmaktadır.

2.9. İki Boyutlu Problemler



Şekil 2.8. İki boyutlu problem (Chandrupatla, 1991)

İki boyutlu problemlerde yer değiştirme, yüzey kuvvetleri, yayılı kuvvetler ve tekil kuvvet bileşenleri, (x,y) ile verilen koordinatın fonksiyonlarıdır (Şekil 2.8).

Yer değiştirme vektörü $\{u\}$,

$$\{u\} = [u, v]^T \quad (2.14)$$

şeklinde verilir. Burada u ve v , deplasman vektörünün x, y doğrultularındaki bileşenleridir.

Gerilme ve şekil değiştirme bileşenleri ise,

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}]^T \quad (2.15)$$

$$\{\epsilon\} = [\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}]^T \quad (2.16)$$

şeklinde olup σ gerilme, ϵ ise birim şekil değiştirmedir. şekil 2.8'de genel olarak gösterilen iki boyutlu problemdeki kütle kuvveti, yüzey kuvvet vektörü ve diferansiyel hacim,

$$\{f\} = [f_x, f_y]^T, \quad \{T\} = [T_x, T_y]^T, \quad dV = t.dA \text{ dır.} \quad (2.17)$$

Burada f kütle kuvveti, T yüzey kuvveti, dV diferansiyel hacim, t ise z yönündeki kalınlıktır. Kütle kuvveti birim hacme düşen kuvvet, yüzey kuvveti ise birim yüzey alanına düşen kuvvet olarak alınır. şekil değiştirme- yer ilişkisi,

$$\{\epsilon\} = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] \quad (2.18)$$

olarak verilir.

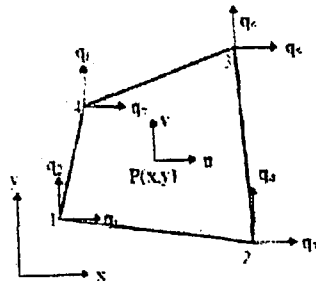
Gerilmeler ve şekil değiştirmeler arasındaki ilişki ise,

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\epsilon\} \quad (2.19)$$

olarak verilir. Burada D elastisite matrisi olup problemin düzlem gerilme veya düzlem şekil değiştirme olmasına göre değişen durumları vardır.

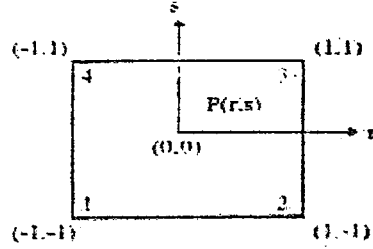
2.10. İzoparametrik Elemanlar

İzoparametrik elemanlar iki ve üç boyutlu problemlerin çözümünde geniş bir uygulama alanı bulmuş ve deneysel verilerle iyi bir uyum sağlayan sonuçlar elde edilmiş bir eleman türüdür. şekil 2.9'da dört düğümlü dörtgen eleman verilmiştir.



şekil 2.9. Dört düğümlü dörtgen eleman (Belegundu, 1991)

Düğüm deplasmanları vektörü, $\{q\}=[q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8]^T$ ve eleman içindeki P noktasının deplasmanları ise, $\{u\}=[u(x,y), v(x,y)]^T$ şeklindedir. Şekil fonksiyonları öncelikle doğal koordinatlardaki bir temel eleman üzerinde geliştirilir. Temel eleman (r,s) doğal koordinatlarında düzgün bir kare olarak tanımlanabilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Doğal koordinatlarda temel eleman (Chandrupatla, 1991)

Langrange şekil fonksiyonları, ($i=1, 2, 3, 4$ sınır numaraları olmak üzere) N_i şeklinde gösterilir. Her şekil fonksiyonu tanımlı olduğu düğümde 1 diğer düğümlerde sıfırdır. Örnek olarak 1. düğüm için,

$$1. \text{ düğümde } N_1=1, \quad 2. \text{ 3. ve 4. düğümde, } N_i=0 \quad (2.20)$$

olarak gösterilir. Buna göre N_1 , $r = 1$ ve $s = 1$ kenarları boyunca sıfır olmak zorundadır. Bu da

$$N_1 = c(1-r)(1-s) \quad (2.21)$$

formunda bir eşitlikle elde edilir. Burada sabit c katsayısı 1 düğümünde $N_1=1$ olması şartından bulunur. Bu durumda 1 düğümünde $r = s = -1$ olduğundan

$$1 = c(2)(2) \quad (2.22)$$

olur. Buradan $c=1/4$ olarak elde edilir. Böylece 1 düğümündeki şekil fonksiyonu,

$$N_1 = \frac{1}{4}(1-r)(1-s) \quad (2.23)$$

olarak elde edilir. Diğer düğümler içinde benzer yoldan

$$N_2 = \frac{1}{4}(1+r)(1-s), \quad N_3 = \frac{1}{4}(1+r)(1+s), \quad N_4 = \frac{1}{4}(1-r)(1+s) \quad \text{olur.}$$

Bilgisayar uygulamasında kolaylık sağlaması için şekil fonksiyonları r_i ve s_i ilgili düğümün doğal koordinatlarda yerini vermek üzere kısaca

$$N_i = \frac{1}{4}(1+rr_i)(1-ss_i) \quad (2.24)$$

şeklinde gösterilebilir. Eleman içinde herhangi bir noktanın yer değiştirmeleri şekil fonksiyonları yardımıyla,

$$\begin{aligned} u &= N_1q_1 + N_2q_2 + N_3q_3 + N_4q_4 \\ v &= N_1q_5 + N_2q_6 + N_3q_7 + N_4q_8 \end{aligned} \quad (2.25)$$

olarak yazılabilir. Matris formunda ise,

$$\{u\} = [N] \cdot \{q\} \quad (2.26)$$

yazılır. Burada $[N]$ şekil fonksiyonları matrisi olup,

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

şeklindedir. İzoparametrik formülasyonda, koordinatlarda aynı şekil fonksiyonları ile gösterilebildiğinden eleman içindeki herhangi bir noktanın koordinatı,

$$\begin{aligned} x &= N_1 x_1 + N_2 x_2 + N_3 x_3 + N_4 x_4 \\ y &= N_1 y_1 + N_2 y_2 + N_3 y_3 + N_4 y_4 \end{aligned} \quad (2.28)$$

olarak yazılabilir. Bundan sonra şekil değiştirmeleri hesaplanır. Bunun için r,s koordinatlarında verilen şekil fonksiyonlarının x,y koordinatlarındaki türevlerine gerek vardır. Buradan zincir kuralı ile herhangi bir $f = f[x(r,s), y(r,s)]$ fonksiyonu için

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \quad \frac{\partial f}{\partial s} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} \quad (2.29)$$

yazılır. Matris formu ile J jakobiyen matrisi olmak üzere,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial r} \\ \frac{\partial f}{\partial s} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (2.30)$$

yazılır. Jakobiyen matrisi ise

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

şeklindedir. (2.24) ve (2.28) numaralı denklemler yardımı ile

$$[J] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-s)x_1 + (1-s)x_2 + (1+s)x_3 - (1+s)x_4 & -(1-s)y_1 + (1+s)y_2 + (1+s)y_3 - (1+s)y_4 \\ -(1-r)x_1 - (1+r)x_2 + (1+r)x_3 + (1-r)x_4 & -(1-r)y_1 - (1+r)y_2 + (1+r)y_3 + (1-r)y_4 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

$$[J] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

elde edilir. f fonksiyonu yerine (2.30) no lu denklemde şekil fonksiyonları yazılırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (2.34)$$

olur. Şekil fonksiyonlarının x ve y ye göre türevi gerektiğinden bu eşitliğin tersi alınarak,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = [J]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (2.35)$$

yazılır. Bu da,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial r} \\ \frac{\partial N}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (2.36)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca doğal koordinatlardaki alan,

$$dA = dx dy = \det J dr ds \quad (2.37)$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu bağıntı eleman rijitlik matrisi hesaplarında kullanılır.

2.11. Potansiyel Enerji İfadesi

Potansiyel enerji, sistemin konumunu belirleyen koordinatlara bağlı olarak bir integralle ifade edilebilir. Bu ifade de iç kuvvetler tarafından meydana getirilen potansiyel enerji ile dış kuvvetlerin oluşturduğu potansiyel enerjinin toplamı şeklindedir. İç kuvvetlerin potansiyel enerjisi şekil değiştirme enerjisinden, dış kuvvetlerinki de uygulanan kuvvet sebebiyle meydana gelen yer değiştirmenin çarpımı (iş) şeklinde bulunur. Yani,

$$\Pi = U + W \quad (2.39)$$

olup U şekil değiştirme enerjisini, W ise iş potansiyelini göstermektedir. Şekil değiştirme enerjisi,

$$U = \int_V \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\varepsilon\} dV \quad (2.40)$$

dir. İş potansiyeli ise, $\{u\} = [u, v, w]$ deplasmanları, $\{f\} = [f_x, f_y, f_z]$ kütle kuvvetlerini, $\{T\} = [T_x, T_y, T_z]$ yüzey kuvvetlerini ve $\{P_i\}$ de tekil kuvvetleri göstermek üzere,

$$W = - \int_V \{u\}^T \{f\} dV - \int_S \{u\}^T \{T\} dS - \sum_i \{u_i\}^T \{P_i\} \quad (2.41)$$

olarak yazılır. Bu durumda toplam potansiyel enerji,

$$\Pi = \int_V \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\varepsilon\} dV - \int_V \{u\}^T \{f\} dV - \int_S \{u\}^T \{T\} dS - \sum_i \{u_i\}^T \{P_i\} \quad (2.42)$$

olarak elde edilir.

2.11.1. Eleman Rijitlik Matrisinin Elde Edilmesi

Dörtgen elemanlar için rijitlik matrisi, (2.40) da ki potansiyel enerji ifadesinden yola çıkılarak elde edilir. Bu eşitlik,

$$U = \int_v \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\varepsilon\} dV \quad (2.43)$$

şeklindedir. Bu bağıntı sabit kalınlıktaki bir eleman için

$$U = \sum_e t_e \int_e \frac{1}{2} \{\sigma\} \{\varepsilon\} dA \quad (2.44)$$

şeklinde yazılabilir. Şekil değiştirme yer ilişkisi ise,

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (2.45)$$

şeklindedir. (2.30) da $f = u$ alınırsa,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (2.46a)$$

olur. Aynı şekilde v için de,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} \\ -J_{21} & J_{11} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (2.46b)$$

yazılır. (2.44) ve (2.46a-b) eşitliklerinden,

$$\{\varepsilon\}=[A] \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (2.47)$$

elde edilir. Burada [A],

$$[A] = \frac{1}{\det J} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

dır. Bu durumda yer değıştirmelerin şekil fonksiyonları cinsinden yazıldığı (2.24) bağıntısı kullanılarak,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{\partial v}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial s} \end{Bmatrix} = [G]\{q\} \quad (2.49)$$

yazılabilir. Burada [G],

$$[G] = \frac{1}{4} \begin{vmatrix} -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) & 0 \\ -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) & 0 \\ 0 & -(1-s) & 0 & (1-s) & 0 & (1+s) & 0 & -(1+s) \\ 0 & -(1-r) & 0 & -(1+r) & 0 & (1+r) & 0 & (1-r) \end{vmatrix} \quad (2.50)$$

şeklinde elde edilir. Şekil değıştirme ve yer değıştirmeler matris formunda $\{\varepsilon\} = [B]\{q\}$ olarak verildiğinden (2.47) ve (2.49) numaralı denklemlerden $[B] = [A][G]$ olarak elde edilir. Diğer taraftan $\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}$ olduğundan eleman içindeki gerilmeler,

$$\{\sigma\} = [D][B]\{q\} \quad (2.51)$$

olur. Bu durumda şekil değıştirme enerjisi ifadesi,

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \{q\}^T \left[\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D][B] \det J dr ds \right] \{q\} \quad (2.52a)$$

şeklinde yazılabilir. Bu da

$$U = \sum_e \frac{1}{2} \{q\}^T [k]_e \{q\} \quad (2.52b)$$

olup eleman rijitlik matrisi olan $[k]_e$.

$$[k]_e = \left[\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D][B] \det J dr ds \right] \quad (2.53)$$

şeklinde dir. Eleman rijitlik matrisi (8x8) boyutundadır. $[B]$ ve $[J]$, r ve s ye bağlı olduklarından gerekli integraller nümerik olarak yapılır.

2.12. Kuvvet Vektörleri

2.12.1. Kütle kuvvetleri

Birim hacimdeki kuvvetler olup toplam potansiyel enerji eşitliğindeki kütle kuvveti teriminden elde edilebilir.

$$\int \{u\}^T \{f\} dV \quad (2.54)$$

$\{u\} = [N]\{q\}$ ve $\{f\} = [f_x, f_y]^T$ açılımları ile ve eleman içindeki kütle kuvvetinin sabit olduğu kabul edilerek,

$$\{f\}_e = t_e \left[\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N]^T \det J dr ds \right] \begin{Bmatrix} f_x \\ f_y \end{Bmatrix} \quad (2.55)$$

elde edilir. Eleman rijitlik matrisinde olduğu gibi kütle kuvveti vektörü de nümerik integrasyonla hesaplanır.

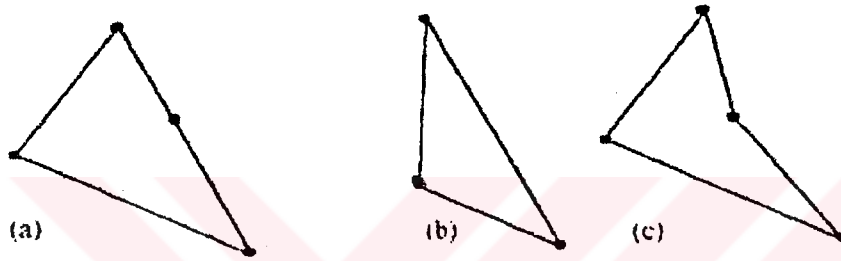
2.12.2. Yüzey Kuvvetleri

Birim yüzey alanına etkiyen kuvvetlerdir. Dörtgen elemanın 2-3 kenarına $\{T\} = [T_x, T_y]$ şeklinde bir yüzey kuvveti etkiyor olsun. Bu kenarda $r=1$ olduğundan bu kenarda şekil fonksiyonları $N_1=N_4=0$, $N_2=(1-s)/2$, $N_3=(1-s)/2$ olacaktır. Böylece potansiyel enerji eşitliğindeki yüzey kuvveti vektörü,

$$\{T\}_e = \frac{t_e l_{2-3}}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & T_x & T_y & T_x & T_y & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

olur. Burada $l_{2,3}$: kenar uzunluğudur. Yüzey yükünün değişken olması durumunda nümerik integrasyonda yapılabilir.

Bazı durumlarda dörtgen elemanların düğüm noktalarının kayması ile üçgen eleman şeklini alması mümkündür (Şekil 2.11). Bu durum hata oranını artırmakla birlikte hesaplamalarda herhangi bir olumsuzluk getirmez. Ancak düğümlerden biri iç bükey kenar meydana getirecek bir konumda bulunursa jakobiye negatif çıkar ve matris işlemlerinin hata vermesine neden olur. Dörtgen elemanlarda en boy oranının çok küçülmesi hatalı sonuçlar vereceğinden bu oranın 0.5'ten küçük olmamasına dikkat edilmelidir (Topçu, 1999).



Şekil 2.11. Şekil değiştirmiş dörtgen elemanlar (a ve b kabul edilebilir c hatalı) (Belegundu, 1991)

2.13. Yüksek Dereceden Elemanlar

Dört düğümlü dörtgen elemanlar için verilen prosedür daha fazla düğüm içeren elemanlar içinde geçerlidir. Dört düğümlü elemanın şekil fonksiyonları lineer formda olmasına karşılık bir kenarında ikiden fazla düğüm içeren elemanların şekil fonksiyonları doğal olarak daha üst mertebendir. Bu da modellemede daha fazla doğruluk sağlamaktadır (Topçu, 1999).

BÖLÜM 3

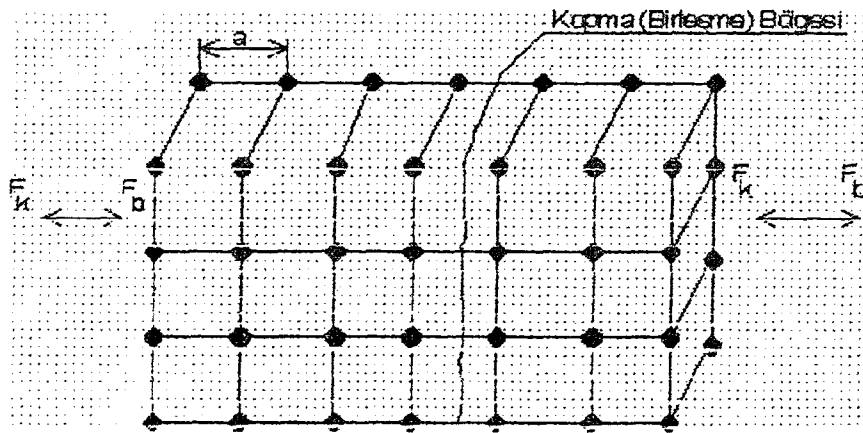
KAYNAK

3.1. Giriş

Kaynak; ısı, basınç veya her ikisinin birden uygulanmasıyla, iş parçalarının birbiriyle sürekliliği sağlayacak şekilde lokal olarak birleştirilmesi işlemidir. Bu işlemde ek bir dolgu malzemesi de kullanılabilir. İki malzeme arasındaki bağ, birleştirilen ana malzeme ile ek malzeme arasındaki kohezyon kuvvetlerine dayanır. Kaynak makroskobik olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

İki parçayı, dışarıdan enerji vererek, bir ilave dolgu malzemesi kullanarak veya kullanamayıp, bir basınç uygulayarak veya uygulamayıp malzemenin sürekliliğini sağlayacak şekilde lokal olarak birleştirmeye kaynak denir. Burada söz edilen süreklilik, kaynak dolgusu ile kaynak edilen iş parçalarının malzemelerinin aynı özelliklere sahip olmasıdır. Aynı zamanda kaynak mikroskobik olarak şu şekilde de tanımlanabilir.

Kaynak, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerindeki atomların karşılıklı olarak birbirlerinin çekme bölgelerine getirilmesidir. Sıvı fazdaki bir malzemenin atomları arasında hemen hemen hiç çekim kuvveti yoktur ve dolayısıyla sıvı malzemenin atomları tamamen hareketlidir. Katı halde ise malzemenin atomları arasında bir çekim kuvveti vardır. Atomlar bu çekim kuvvetlerinin etkisiyle birbirlerine göre belirli bir uzaklıkta dengede bulunurlar ve bu sayede katı bir kütleyi oluştururlar. Şekil 3.1'de mikroskobik olarak kaynağın prensip şeması verilmiştir.



Şekil 3.1. Mikroskobik olarak kübik kristalli bir malzemede kaynağın prensip şeması

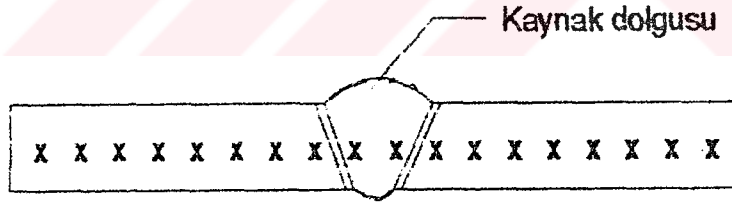
Şekil 3.1'de kübik kristalli bir malzemede atomların dizilişi ve çekim kuvvetleri gösterilmiştir. Burada F_k kopma, F_b basma kuvvetini göstermekte, a ise kafes parametresi, yani atomlar arası mesafedir. Bir malzemeyi koparmak için kopma yerindeki atomlar arası çekme kuvvetini yenerek atomları birbirinden uzaklaştırmak gerekir. Kaynak işleminde ise koparma işleminin tersine iki parça birbirine o kadar yaklaştırılmalıdır ki, parçaların karşılıklı temas eden yüzeylerindeki atomlar arası mesafe a kadar olmalıdır. Böylece atomlar karşılıklı olarak birbirlerini çekmeye başlarlar ve kaynak işlemi, yani birleştirme gerçekleşmiş olur.

3.2. Kaynak İçin Gerekli Koşullar

İyi bir kaynak dikişi elde etmek için gerekli koşullar 4 ana başlık altında özetlenebilir. Bunlar:

1. Birleştirmeyi gerçekleştirebilmek için enerji sağlanmalıdır. (Isı, basınç veya her ikisi birden)
2. Birleşme yüzeylerindeki kir ve pasların temizlenmesi gereklidir.
3. Kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması gereklidir.
4. Kaynak metallurjisinin kontrolü gereklidir.

İdeal kaynaktaki, kaynak dolgusu ve iş parçalarının malzeme özelliklerinin aynı olması yani sürekliliğin tam olması istenir. Süreklilik Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir dizi sertlik ölçümü ile kontrol edilebilir. Bazen bu sertlik ölçümü birkaç sıra halinde yapılır.



Şekil 3.2. Kaynakta sertlik ölçme ile süreklilik kontrolünün yapılması

Pratik olarak kaynak işleminde sürekliliği tam olarak sağlamak mümkün değildir. Ancak uygun kaynak yöntemleri ile yeterli derecede süreklilik sağlanabilmektedir. Malzeme ve birleştirme tipine göre uygun kaynak yöntemi seçilmelidir. Her kaynak yöntemi ile aynı sonucu almak mümkün değildir. Eğer dolgu metali kullanılıyor ise, sürekliliğin sağlanabilmesi için dolgu malzemesi ile iş parçasının malzemeleri aynı olmalı ve kaynak metallurjisi kontrol altında tutulmalıdır. Örneğin yüksek alaşımlı çeliklerde kaynak sonrası soğuma hızı kontrol altında tutulmalı ve gerekli görülürse ön tavlama yapılmalıdır.

Ergitme kaynağında birleşme için ısı enerjisine ihtiyaç duyulur. Isı enerjisi değişik şekillerde sağlanabilir. Bunlar:

- Alev
- Elektrik arkı
- Elektrik akımına karşı gösterilen elektrik direnci
- Radian enerji
- Mekanik enerjidir

Basınç kaynağı gibi bazı kaynak yöntemlerinde basınç enerjisi yardımı ile malzeme eritilmeden birleşme sağlanır. Bu tip kaynaklarda enerji, basınç + ısı olarak verilebildiği gibi yalnız basınçta kullanılabilir. Yukarıda adı geçen ergitme ve erime kelimeleri kaynak tekniğinde eş anlamlı değildir. Ergitme, eriyerek birleşmeyi ifade eder ancak her eriyen malzemede birleşme söz konusu değildir.

3.3. Kaynağın Sınıflandırılması

Kaynak işlemi enerjinin verilmiş şekline göre ikiye ayrılır. Bunlar:

1. Ergitme Kaynağı
2. Basınç Kaynağı

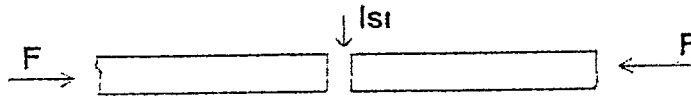
Ergitme kaynağında kaynak yerine ısı enerjisi verilir ve genelde dolgu malzemesi kullanılır. Malzeme burada ergime sıcaklığının üzerine çıkacak şekilde ısıtılır. Burada hızla gerçekleştirilen bir ergitme ve katılaşma işlemi söz konusudur. Ergitme kaynağı iki gruba ayrılır. Bunlar:

1. Gaz Kaynağı
2. Elektrik Ark Kaynağı

Gaz kaynağında bir yanıcı gaz (asetilen) birde yakıcı gaz (oksijen) birlikte yakılır. Ortaya çıkan ısı enerjisinden yararlanılarak kaynak yerinde ergitme yapılır ve kaynak gerçekleştirilir.

Elektrik ark kaynağında elektrik enerjisi, elektrik arkı ile ısı enerjisine çevrilir. Bu ısı ile ergitme yapılarak kaynak gerçekleştirilir. Basınç kaynağı da iki grup altında incelenir. Bunlar:

1. Sıcak Basınç Kaynağı: Kaynak yerine verilen enerji kısmen ısı, kısmen de basınç enerjisidir. Şekil 3.3’de sıcak basınç kaynağı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Sıcak basınç kaynağının şematik olarak gösterilmesi

Sıcak basınç kaynağına örnek olarak sürtünme kaynağı, direnç kaynağı, yanmalı alın kaynağı gösterilebilir. Bu kaynak yöntemlerinde sıcaklık ergime sıcaklığına gelmez. Rekristalizasyon sıcaklığı civarındadır.

2. Soğuk Basınç Kaynağı: Isıtma yoktur. Yalnızca basınç uygulanır (Şekil 3.4). -273°C ' de yalnızca basınç kullanılarak soğuk basınç kaynağı yapmak mümkündür.



Şekil 3.4. Soğuk basınç kaynağının şematik olarak gösterilmesi

Soğuk basınç kaynağı malzemenin kendine gelme sıcaklığının altında gerçekleşir. Örnek olarak patlamalı kaynak gösterilebilir. Patlamalı kaynakta patlayan kısmın verdiği kuvvetle kaynak gerçekleştirilir. Bu kaynak plastik deformasyona dayanır. Burada atomlar kısmi hareketlilik kazanır. Ergitme kaynağında olduğu gibi tam serbestlik kazanmamaktadır.

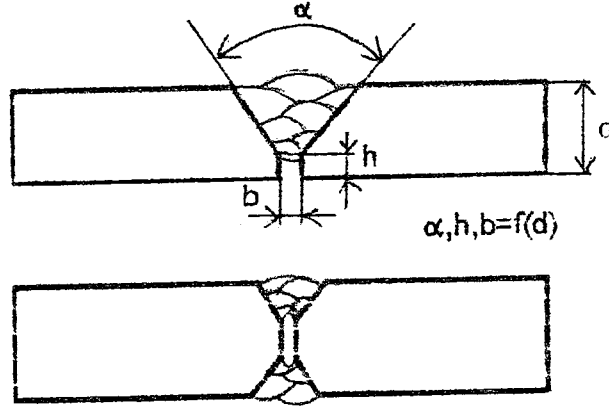
3.4. Kaynak Hataları

Bir kaynak bağlantısının güvenilir olabilmesi için, ideal olarak kaynak dikişinde hiçbir kaynak hatasının bulunmaması gerekir. Ancak pratikte bu mümkün değildir. Kaynak dikişindeki kaynak hatasının kabul edilebilir seviyede olması gereklidir. Bu bakımdan kaynaklı konstrüksiyonlarda, kaynak dikişlerinin kontrolü son derece önemlidir. Kaynak dikişlerinde rastlanan hataları iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi dış hatalar diye adlandırılır ve çıplak gözle veya büyüteçle saptanabilir. İkinci gruba giren hatalar ise göz kontrolü ile saptanması olanaksız olan iç hatalardır. Bunlar ancak X ışınları veya ultrason ile kontrol edilebilir.

Elektrik ark kaynağında karşılaşılan başlıca kaynak hataları ve bunların oluşum nedenleri şu şekilde açıklanabilir.

3.4.1. Nüfuziyet Azlığı

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi kaynak sırasında ergimenin, iş parçası kalınlığı boyunca olmaması sonucunda, iş parçalarının alt kısımlarında birleşme olmaz ve kırılmaya neden olabilecek oyuk ve çentikler oluşur.



Şekil 3.5. Nüfuziyet azlığının genel olarak gösterilmesi

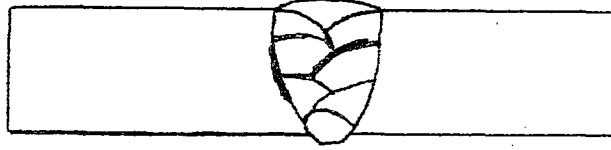
Elektrik ark kaynağında nüfuziyet azlığının nedenleri:

- Akım şiddetinin düşük olması.
- Kaynak hızının fazla olması.
- Konstrüktif konular. α , b , h , hatalı ise, örneğin $b=0$ ise, h değeri fazla büyük ise veya uygun bir kaynak ağızı açılmamışsa nüfuziyet azlığı oluşur. Alyn birleştirmelerinde bu hatanın oluşmaması için kaynak ağızlarının titizlikle hazırlanması ve iki parça arasına uygun bir aralığın bırakılması gereklidir.
- Birleştirme yerinin şekline uygun bir elektrod çapının seçilmemesi. Örneğin köşe kaynağında kalın bir elektrod kullanılması nüfuziyet azlığına neden olabilir. Ancak daha ince çaplı bir elektrodun kullanılması her zaman bu hatayı ortadan kaldırmaz. Parçanın kütlesi ve ısı iletme yeteneğine göre uygun çapta bir elektrodun kullanılması gerekir.
- Kök pasonun kötü çekilmiş olması. Bu tür bir hata sonucunda,
 - Kaynak bölgesinde kesit küçük olacağından mukavemet düşük olur.
 - Çentik etkisi yapar. Dikiş bükülmeye zorlandığında, kökteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini artırır ve kaynak bu bölgeden çatlayarak kolayca kırılır.
- Kuvvet hatları yön değiştirir, üç boyutlu gerilme durumu ortaya çıkar. Bunun sonucunda da çok küçük gerilme değerlerinde, iş parçası kaynak yerinden kopabilir.
- Dikişin yorulma dayanımı ciddi bir şekilde azalır.

Bu tür hatalar oluştuğunda, tam bir nüfuziyet sağlayabilmek için, nüfuziyet azlığı oluşan taraf bir keski veya oksijen rendesi ile temizlenip, sonrada açılan bu oyuk bir kaynak pasosu ile doldurulmalıdır.

3.4.2. Birleştirme Azlığı

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi, kaynak metali ile esas metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen bölgelerin bulunmasıdır.



Şekil 3.6. Birleştirme azlığının şematik olarak gösterilmesi

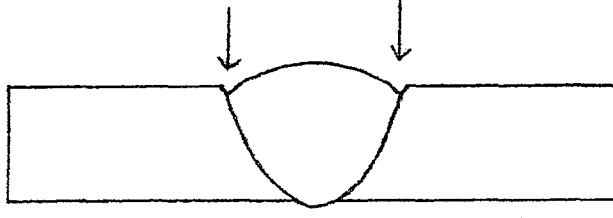
Birleştirme azlığına genellikle curuf, oksit gibi demir olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu yabancı maddeler elektrik akımının o bölgelerden geçmesine engel olarak esas metal veya ilave metalin tamamen ergimemesine neden olurlar. Bu durumda yetersiz ergime durumu olduğundan birleşme gerçekleşmez.

Bu hatanın oluşmaması için, çok pasolu elektrik ark kaynağında, bir sonraki paso çekilmeden önce, curuf iyice temizlenmeli, gerekirse taşlanmalı veya keskilenmelidir. Ayrıca uygun akım şiddeti ve kısa ark boyu ile çalışmak çok önemlidir. Fazla düşük akım şiddeti yetersiz bir birleşme oluşturur. Buna karşın, çok yüksek akım şiddeti de elektrodun çabuk ergimesine yol açar. Bu durumda esas metal yeterli miktarda ergimeye fırsat bulamaz ve yine aynı hata oluşabilir. Elektrod çok çabuk eriyince, kaynakçı daha hızlı kaynak yapma hevesine kapılır ve eriyen kaynak metali, esas metalin ergime derecesine yükselmeden üst üste yığılır, tam bir birleşme gerçekleşmez.

Kaynak kesitindeki birleştirme azlığı, hem statik hem de dinamik zorlamalarda bağlantının dayanımını büyük çapta düşürür. Bu hatayı gidermek için, kaynak dikişindeki hatalı bölgelerin tamamen sökülüp yeniden kaynak edilmesi gerekir.

3.4.3 Yanma Olukları

Bu hata Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarlarında oluk biçiminde görülür. Oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam edebilir. Malzemenin bir kısmı buhar haline geçip ani bir hacim genişlemesine yani patlamaya neden olur. Bu patlama sonucunda oluklar oluşur.



Şekil 3.7. Yanma oluğunun şematik olarak gösterilmesi

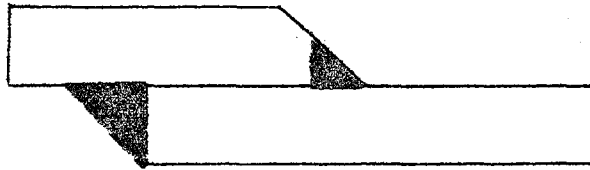
Yanma oluklarının oluşmasının nedenleri şunlardır.

- Akım şiddetinin yüksek olması.
- Kaynakçının aşırı hızlı çalışması.
- Elektroda fazla zigzag hareketi yaptırılması.
- Kaynak sırasında elektrodun yanlış bir açıyla tutulması
- Esas metalin aşırı derecede paslı veya elektrodun rutubetli olması.

Çentikli kaynak dikişlerinin dinamik zorlamalara karşı dayanımı çok zayıftır. Bu nedenle, en ufak bir oluğun bulunmasına izin verilmemelidir. Yanma sonucu oluşan bu oluklar daha sonra ince bir elektrod ile doldurularak onarılabilir. Ancak bu işlemden önce curuf ve pislikler iyice temizlenmelidir.

3.4.4. Bindirme Dikişlerinde Levha Kenarlarının Erimesi

Bu hata Şekil 3.8’de görüldüğü gibi sacın serbest kenarlarının kaynak sırasında erimesi ile oluşur.



Şekil 3.8. Bindirme dikişlerinde levha kenarlarının erimesinin şematik gösterimi

Elektrik ark kaynağında levha kenarlarının erimesine, yanlış el hareketi, yetersiz bindirme, uygun olmayan bir elektrod çapı veya sac kalınlığının seçilmesi neden olmaktadır.

Bindirilen kenarın kaynak sırasında erimesi, dikiş yüksekliğini ve dolayısı ile, dikişin statik ve dinamik dayanımlarını azaltır. Bu hata, tekrar kaynakla doldurulup kaynak dikişi normal kalınlığına getirilerek giderilebilir.

3.4.5. Kaynak Dikişinin Taşması

Kaynak metalinin esas metal üzerine birleşme olmadan taşmasıdır (Şekil 3.9). Bu taşma tek tek noktalar halinde veya tüm dikiş boyunca olabilir.



Şekil 3.9. Kaynak dikişi taşmasının şematik olarak gösterimi

Ark kaynağında yanlış el hareketi, yanlış tutuş açısı, gereğinden fazla kalın çaplı elektrod kullanmak taşmaya neden olur. Taşmanın önlenmesinde, akım şiddetinin uygun seçilmesi ve kısa ark boyu ile çalışılmasının da önemli etkisi vardır. Akım şiddeti yükselince ve ark boyu artınca taşma olayı kendini gösterir.

Taşmalar özellikle dinamik yüklerde önemlidir. Çünkü bu noktalarda gerilme yığılması oluşur. Kaynak kesitinde bir daralma yoksa, taşmalar statik yükler için önemli bir hata olarak görülmez. Taşmalar keski veya taş ile temizlenmeli ancak bu işlem yapılırken esas metal üzerinde derin izler bırakmamaya dikkat edilmelidir.

3.4.6. Curuf Kalıntıları

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi dikiş boyunca yayılmış olarak veya pasolar arasında görülebilir.



Şekil 3.10. Curuf kalıntılarının şematik gösterilmesi

Eğer kaynak banyosu elektrodun önünde giderse curuf kalıntıları görülür. Çünkü katılaştan curuf yalıtıcıdır ve elektrod üzerinden geçerken erimez yani ark bu curufu delemeyebilir. Kaynak dikişi dış bükey ise kaynak pasoları arasında curuf kalıntıları kalabilir. Eğer yanma oluşmuşsa bu oluklarda da curuf kalıntıları kalabilir. Çok pasolu kaynaklarda, bir pasodan diğerine geçerken kaynakçı, curufu iyice temizlememişse yine iki paso arasında curuf kalıntısı kalır.

Curuf kalıntılarını engellemek için:

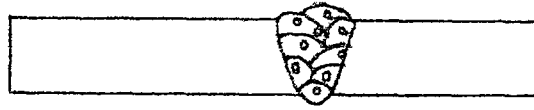
- Gereğinden fazla kalın çaplı elektrod kullanılmamalıdır.
- Ağız açısı doğru seçilmelidir.
- Kaynak yaparken elektroda uygun bir hareket verilmelidir.
- Elektrod ile iş parçası arasındaki açı uygun seçilmelidir.
- Kök paso dikkatli çekilmelidir.

Kaynak dikişi içerisinde düzgün sıralar halinde veya dağınık bir şekilde bulunan curuf artıkları bağlantının homojenliğini bozduğu gibi mukavemeti de düşürür. Bu kalıntılar bazen kılcal çatlaklara neden olabilir. Ancak, bazı seyrek dağılmış ufak ve küresel curuf kalıntıları, birleştirmenin statik mukavemetini önemli derecede etkilemediğinden dikkate alınmayabilir.

Curuf kalıntısı içeren bölümler boşaltılarak tekrar kaynakla doldurulmalıdır.

3.4.7. Gözenekler

Kaynak işlemi sırasında, kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan gazların, erimiş metal içerisinde sıkışıp kalması ile Şekil 3.11’de görüldüğü gibi gözenekli bir yapı oluşur.



Şekil 3.11. Gözeneklerin şematik olarak gösterilmesi

Gözenek oluşmasına etki eden birçok faktör vardır. Bunlardan başlıcaları şunlardır:

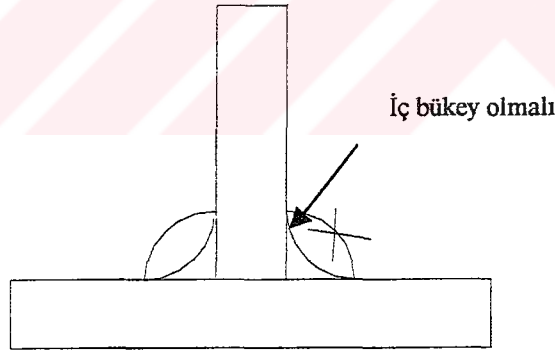
- Esas metalin kimyasal bileşimi
- Esas metal ve kaynak metalinin içerdikleri kükürt miktarı. Kükürt miktarı arttıkça gözenek miktarı artar.
- Elektrod örtüsünün nemli olması
- Düşük akım şiddeti ile çalışma.

- Ark boyunun çok kısa veya çok uzun olması.
- Kaynak banyosunun çabuk katılaşması.
- Kaynak bölgesinin kirli olması.
- Çıkan gaz miktarının fazla olması.

Bir kaynak dikişi içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından mukavemet değeri düşer. Ayrıca, gözenekler yerel gerilme birikimlerine neden olurlar. Bu durum bağlantının mekanik özelliklerini kötüleştirir. Gözenekler, özellikle yorulma dayanımını azaltıcı etki yaparlar. Gözeneklerin çapı küçük, şekli küresel ise ve belirli bir hacimde belirli bir miktarın altında gözenek bulunuyorsa müsaade edilebilir. Ancak yüksek dinamik mukavemet istenen yerlerde fazla miktarda gözenek varsa bu durumda kaynak dikişi sökülerek kaynak işlemi tekrar yapılmalıdır.

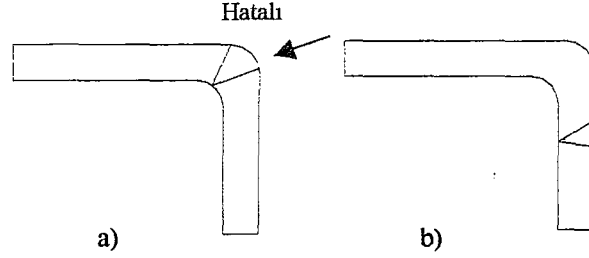
3.4.8. Hatalı Kaynak Şekil ve Boyutu

Köşe kaynağında kaynak dikişinin, kuvvet hatlarının yön değiştirmesine uygun form sağladığı için iç bükey kaynak dikişi formu istenir. Bu durum Şekil 3.12' de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Köşe kaynağında uygun formun şematik olarak gösterimi

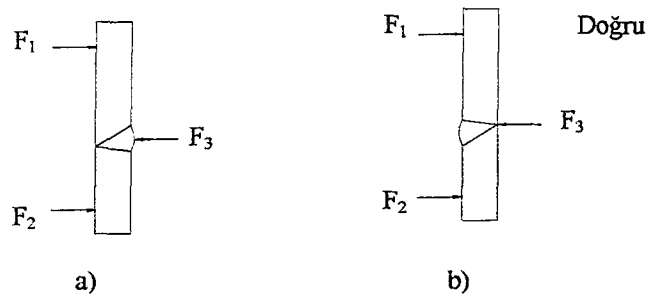
Kuvvet hatlarının yön değiştirdiği köşe noktalarına kaynak dikişinin gelmemesi gerekir. Bu duruma örnek Şekil 3.13' de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Uygun kaynak dikişi yeri şematik gösterimi

Kaynak dikişi yeri seçiminde Şekil 3.13’de (a) gösterilen durum, maliyet açısından daha ucuz olmasına rağmen emniyet söz konusu olduğunda, uygun değildir. Kaynak yapılırken emniyetin önemli olmadığı yerlerde tercih edilebilir. Şekil 3.13’de (b) gösterilen durum ilave işçilik gerektirdiğinden maliyet açısından daha pahalıdır ancak emniyet söz konusu olduğunda uygundur. Kaynaklı konstrüksiyonlarda emniyet daima ön planda tutulduğu için, (b)’de ki gibi kaynak yapılmalıdır.

Kaynak dikişinin emniyeti için kök pasının çekme gerilmesine maruz kalmaması gereklidir. Bu durum Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



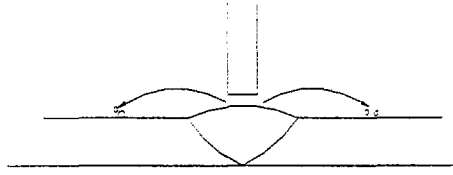
Şekil 3.14. Kök pasoya çekme gerilmesi gelmemesi durumunun şematik gösterimi

Şekil 3.14 (a)’da verilen kuvvetlerin durumundan dolayı kök pasoda çekme gerilmesi oluşmaktadır. Şekil 3.14 (b)’de ise kök pasoya basma gerilmesi etkiğinden dolayı kaynak dikişi fazla zorlanmamakta ve bu durum tercih edilmektedir.

3.4.9. Sıçramalar

Sıçrama hatası, ergimiş sıvı metal damlalarının sağa sola sıçramasıdır. Şekil 3.15’ de gösterilen sıçrama hatasını oluşturan sebepler şunlardır:

- Akım şiddetinin yüksek olması
- Kullanılan elektrodun nemli olması

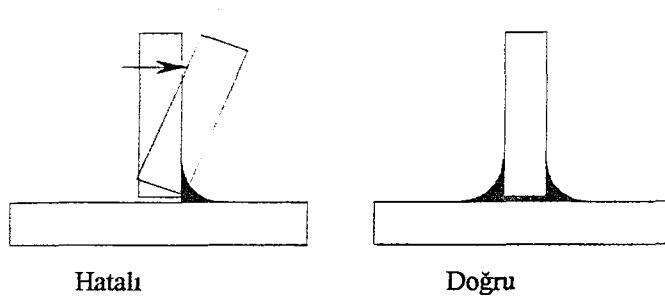


Şekil 3.15. Kaynakta sıçramanın şematik olarak gösterimi

Sıçrama bir malzeme kaybıdır diğer yandan kaynak sırasında sıçrayan malzemeler sıcak olduğu için düştüğü yeri yakarak zarar vermektedir.

3.4.10. Çarpılma ve Distorsiyonlar

Çarpılmalar nötr eksene simetrik kaynak yapılmazsa oluşmaktadır. İdeal yöntem iki dikişin aynı anda yapılmasıdır. Bu durum Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Köşe kaynağında çarpılmayı önlemenin şematik gösterimi

Alın kaynağında ise V kaynak ağzı açılmışsa çarpılmayı engellemek için X kaynak ağzı açmak ve tercihen iki yandan aynı anda kaynak yapmak gereklidir. Bu durum Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Alın kaynağında çarpılmayı önlemenin şematik gösterimi

Çarpılmaya uğramış ince saclarda, kaynak dikişinin altından ısıtıp su serpererek (ani soğutarak) çarpılma azaltılabilir. Ancak bu yöntem iş parçalarında artık gerilmelerin oluşmasına yol açar.

3.4.11. Fıskırma

Hızlı katılaşmadan dolayı olur. Ark sırasında çıkan gazlar yüzeye gelince bir boşluk oluşturur. Yandaki sıvı metal bu boşluğu dolduramadan katılaşma olduğunda yüzeyi girintili çıkıntılı bir yapıda olur (Şekil 3.18). Parça dinamik zorlamaya maruzsa ve kaynak dolgusu yeterliyse taşlamayla düzeltilir. Kaynak dolgusu yeterli değilse, ince çaplı bir elektrod ile doldurulur.



Şekil 3.18. Fıskırmanın şematik olarak gösterimi

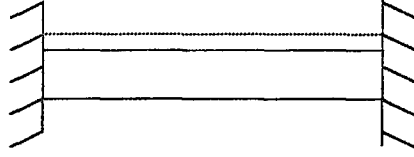
3.4.12. Çatlaklar

Çatlak, çentik etkisi yaparak parçanın zamanla kırılmasına neden olur. Kaynak yerinde çatlak olmamalıdır. Eğer çatlak varsa, kaynak sökülüp tekrar yapılmalıdır.

Çatlağın oluşma nedenleri:

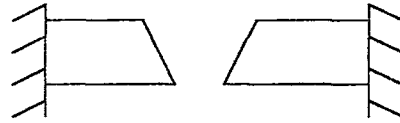
a) Makroskobik nedenler

- Ankastre bağlı parça üzerine kaynak yapılırsa, arktaki sıcaklıktan dolayı parça uzar ve plastik şekil değişimine girer. Kaynak işleminden sonra parça soğurken boyuda kısalır. Şekil değişimi plastik olduğundan basma gerilmeleri oluşarak zamanla parçanın çatlamasına neden olur. Parça eski haline gelemez (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Ankastre bağlı parçanın şematik gösterimi

Şekil 3.20’de gösterilen durumda, kaynak işleminden sonra soğuma tamamlanınca parçada çekme gerilmeleri oluşur. Malzeme rahatça genişler. Kaynak bitip katılaşma olunca eski haline dönemez ve malzeme içinde kalan iç gerilmeler çatlamaya neden olur.



Şekil 3.20. Ankastre bağlı parçaların kaynağının şematik olarak gösterimi

b) Mikroskopik nedenler:

Aşırı sert bir dikiş olduğunda kendiliğinden çatlamalar olur. Kaynak yerinde aşırı derecede iç gerilmeler varsa, bu da çatlamalara neden olur.

3.5. Kaynaklı İmalatın Özellikleri

a) Üstün yönleri:

- Lehimden farklı olarak, aynı türden ek malzeme kullanıldığı için hem ısıl yönden hem de mekanik yönden mukavemeti yüksek bir birleştirme elde edilir.
- Dökme veya dövme ile imalata göre, kalınlıklar tam yüke uygun şekilde, optimum düzeyde seçilebildikleri için malzemeden, dolayısıyla ağırlıktan tasarruf sağlanır.
- Perçin ve civataya göre, perçin ve civata başları ortadan kalktığı için daha hafif konstrüksiyon imkanı doğar. Perçinli bağlantıda olduğu gibi saçları birbirine bindirme zorluğu da yoktur.
- Saç tabakalarının birbirine kaynak edilmesiyle gemi gövdesi, kazan, tank gibi büyük alanlı, büyük hacimli konstrüksiyonların imalatı kolaylıkla sağlanabilir.
- Profil, çelik döküm ve dövme parçaların saçlara kaynağı ile farklı elemanları bir araya getiren karmaşık konstrüksiyonlar gerçekleştirilebilir.
- Az sayıdaki üretimde, döküm ve dövme gereksinimi olmadığından, hem zaman, hem de maliyet yönünden tasarruf sağlar.
- Bir makinede, rijitliği arttırmak amacı veya başka bir amaçla değişiklikler, ekler öngörülüyorsa, kaynak ile bu sonradan da yerine getirilebilir ; örneğin, dökümde bu yapılamaz.

b) **Sakıncaları:** En önemli sakıncaları ergitme kaynağında parçaların üstlendiği yüksek ısı yükten kaynaklanır. Kaynak sırasında oluşan artık gerilmelerden dolayı mukavemet düşer. Kaynak sonrası soğuma esnasında büzülmeden dolayı sistemde oluşan kalıcı gerilmelerin giderilebilmesi için tavlama işlemi yapılması, ilave bir masraf gerektirir. Geçiş bölgesinde iç yapı değişir, kısmen kimyasal reaksiyonlar oluşabilir ki bunlar sürekli mukavemeti azaltırlar. Dikişe yakın bölgelerde korozyon tehlikesi büyür.

3.6. Kaynak Dikiş Şekilleri

Kaynak yöntemiyle birleştirilecek parçaların birbirlerine göre konumları uygulanacak kaynak dikiş şeklini belirler. Parçaların birbirlerine göre konumlarının kaynak teknolojisi açısından önemli olanları Şekil 3.21'de görülmektedir. Sık uygulanan kaynak dikiş şekilleri; alın, köşe, ve bazı özel dikişlerdir.

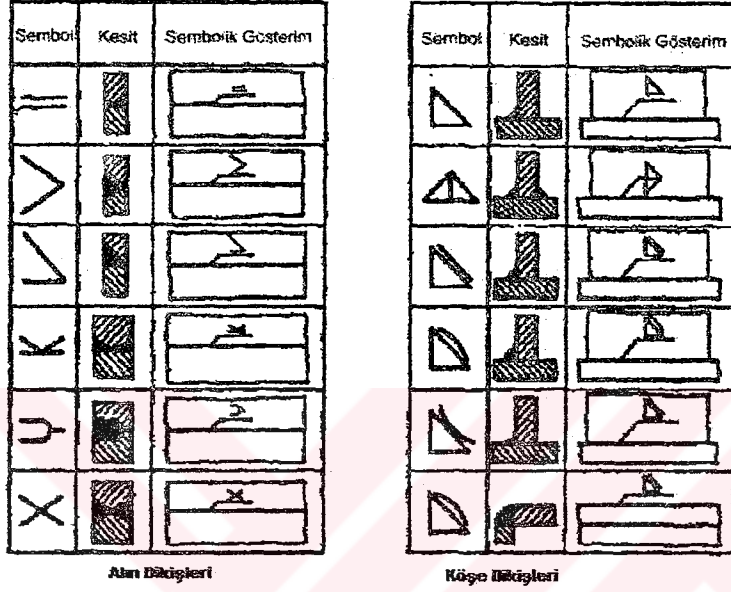
Konum	Sembol	Özellikler
Alın		Yüksek Mukavemet
Bindirme		Kuvvet yön değiştiriyor
Paralel		Sık rastlanır
T		Orta parça en az 6 mm kalınlıkta olmalı
Çapraz		Açı > 45°
Eğik		
Köşe		Çeşitli açılar mümkün
Çoklu		Uygun değil, dikiş çakışması

Şekil 3.21. Kaynak edilecek parçaların konumları

Alın kaynağı; düzgün, kalınlığı değişmeyen aynı düzlemdeki saçların birbirine kaynak edilmesinde tercih edilir. Alın dikişi; kalınlığı 3 mm ve daha küçük olan saçlarda herhangi bir ağız açma işlemine gereksinim duymadan, kalınlığı 3 ile 20 mm arasında olanlarda tek yönlü, 12 ile 40 mm arasında olanlarda ise iki yönlü ağız açma işleminden sonra yapılır. Eğer alın kaynağı hatasız yapılmışsa, statik yükleme halinde dikiş malzeme ile aynı mukavemete sahiptir. Dinamik yüklemede ise mukavemet kaybı diğer dikiş türlerine göre daha azdır. Alın kaynağında dikkat edilmesi gereken husus saçın tüm kalınlığının kaynak edilebilmesidir, eğer kaynak tabanı iyi kaynak edilmezse, çentik etkisi oluşturacağından mukavemet çok azalır.

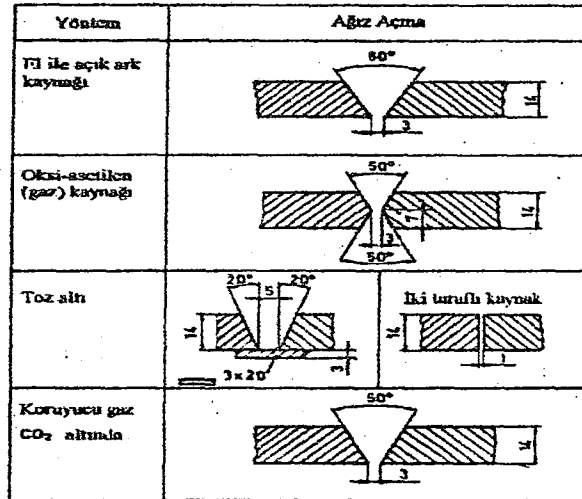
Köşe kaynağı genelde birbirine dik konumdaki parçaların kaynağında kullanılır. Kaynak

ağzını hazırlamak için bir ön işleme gerek yoktur. Kuvvet iletiminde kuvvetin tam kaynak dikişinde yön değiştirecek olması ve kaynak tabanına ulaşmaktaki zorluk bu dikiş türünün zayıf yönleridir. Kaynak tabanının iyi kaynak edilememesi olasılığı dikkate alındığında, kaynak tabanının çekiye zorlanmaması gerektiği genel kuralının önemi daha iyi anlaşılır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Kaynak dikişleri ve sembolik gösterimleri

Alın ve köşe kaynağı kaynak uygulamalarının çok büyük bir kısmını kapsar. Ağız açma işlemlerinde uygulanan şekiller kaynak yöntemine göre Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Kaynak yöntemine göre ağız açma

Tanım	Sembol	Ağız Şekli	s [mm]	α	b [mm]
I - Dikiş			1...3	—	2
V - Dikiş (yatay)	∇		3...20	60°	2...3
V - Dikiş (dikey)	>		8...20	60°	2
Dar Ağız	∩		≥ 20	< 30°	5...10
2/3 X	X		12...40	60°	3

Şekil 3.24. Alın dikişlerinde ağız açma

Tanım	Sembol	Ağız Şekli	s [mm]	α	b [mm]
IV	✓		3...18	50°	2...3
HV	∧		5...16	50°	3
Çift HY	∩		12...40	45°...50°	2...4
Çift HV	K		6...30	50°	2

Şekil 3.25. Köşe (T) dikişlerinde ağız açma

BÖLÜM 4

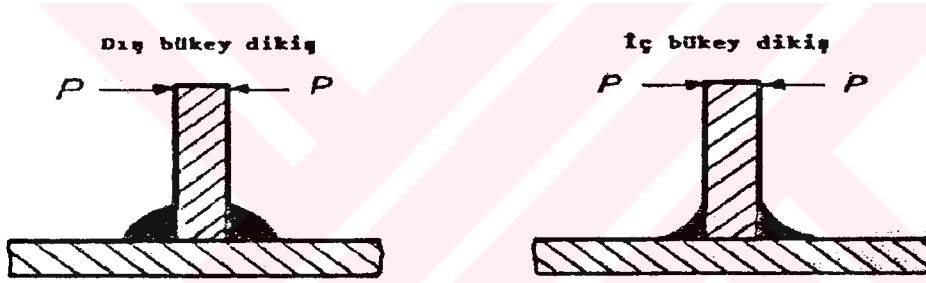
KAYNAKLI KONSTRÜKSİYON

4.1. Giriş

Kaynak konstrüksiyonunun başarısı kaynak tekniğinde uygun şekillendirmeye bağlıdır. Aşağıdaki kurallar çeşitli tecrübelerden edinilmiş özetlerdir (Bengisu, 1991).

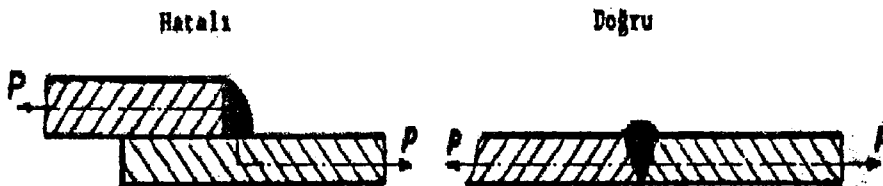
4.2. Kaynaklı Konstrüksiyon Kuralları

1-) Dinamik gerilmelere maruz iç köşe dikişleri çentik etkisine engel olacak şekilde iç bükey tasarlanmalıdır. Aksi halde dinamik zorlamalar sonucu kaynak dikişi kısa sürede çatlayabilir (Şekil 4.1). Bu iki şekilden iç bükey olan daha uygundur.



Şekil 4.1. Dış ve iç bükey dikiş (Bengisu, 1991)

2-) Dikiş kesiti içinde kuvvet çizgilerinin yön değiştirmemesi veya zorunlu oluşumlarda uygun bir radius ile yön değiştirmesi daha uygundur. Kuvvet iletiminin fonksiyon olarak daha önemli olduğu durumlarda alın kaynağı tercih edilmeli ve üst üste bindirme yapılmamalıdır. Bindirme kaynağında kesme gerilmesi oluşacağından dikiş kesiti içerisinde kuvvet çizgileri yön değiştirirler; bu da parça mukavemetini düşürür (Şekil 4.2).



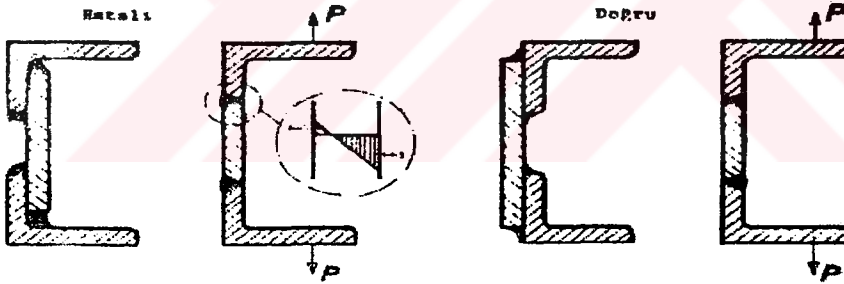
Şekil 4.2. Kuvvet çizgilerinin yön değiştirmesi (Bengisu, 1991)

3-) Kaynak dikişleri yapılması kolay yerlere konulmalıdır. Bu durum gerek kaynak sırasında kaynak işçiliğinin azalması ve daha kaliteli kaynak yapılması, gerekse kaynak sonrası yapılacak işlemlere kolaylık olması açısından gereklidir. Alın kaynaklarında zorunlu olmadıkça iç köşe kaynağı yapılmamalıdır (Şekil 4.3).



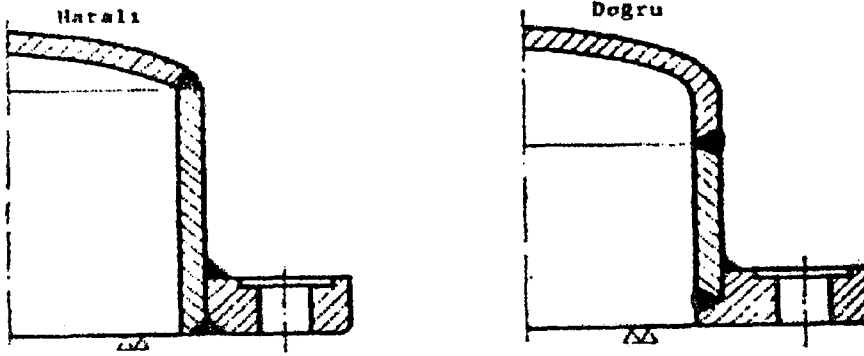
Şekil 4.3. Kaynak dikişinin durumu (Bengisu, 1991)

4-) Eğilmeye karşı zorlamalarda dikiş köklerine çekme gerilmesi gelmemesine dikkat edilmelidir. Kaynak kökü, kaynağın kalitesi yönünden en zayıf olduğu yerdir. Bu nedenle çekmeye karşı çok zayıftır. Basma gerilmesi taşıyacak şekilde kaynak ağzı açılmalıdır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Dikiş kökünde çekme gerilmesi durumu (Bengisu, 1991)

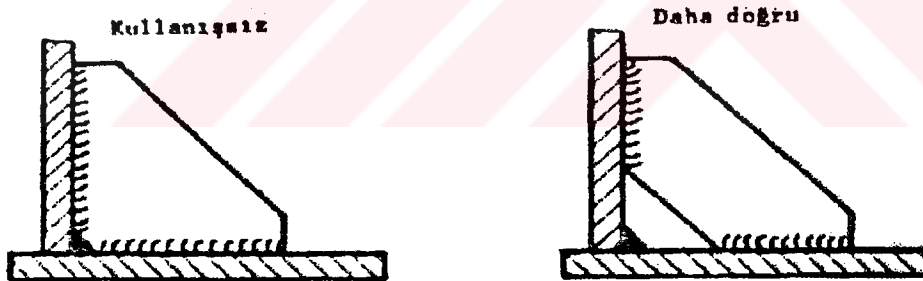
5-) Kaynak dikişleri en büyük gerilmelerin bulunduğu yerlere koyulmamalıdır. Kaynağın dikiş mukavemeti ana malzemeninkinden düşük olduğu için Şekil 4.5.'de ki yanlış örnekte, iç basınç etkisinde bir konstrüksiyonda üç eksenli gerilme halinin söz konusu olduğu, aynı zamanda max gerilmenin olduğu yerde kaynak dikişinin konulması çok sakıncalıdır. Doğru örnekte olduğu gibi kaynak dikişi biraz daha aşağıya konarak yalnızca çekmeye zorlanabilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Kaynak dikişinin işlenecek yüzeydeki durumu (Bengisu, 1991)

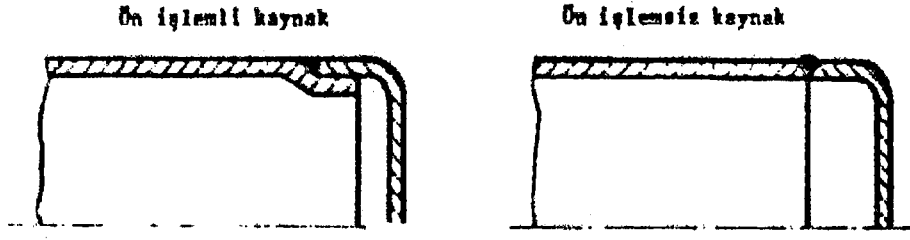
6-) Kaynak dikişleri işlenecek yüzeylere konulmamalıdır. Aksi halde hem fazladan işleme masrafları ortaya çıkar hem de kaynak dikişinin işlenmesi güç olduğundan talaşlı imalat zorlaşır (Şekil 4.5).

7-) Dikişlerin üst üste gelmesinden kaçınılmalıdır. Dikişlerin üst üste gelmesi malzemenin yanmasına yol açtığı gibi iç gerilmelerin artmasına da neden olabilir (Şekil 4.6).

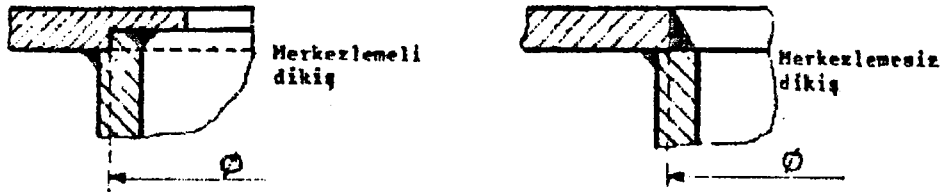


Şekil 4.6. Dikişin üst üste durumu (Bengisu, 1991)

8-) İş parçalarına gerektiği zaman ön işleme yapılmalıdır. Ön işlemler montajı kolaylaştırır da imalat masraflarını artırır. Bu iki etken birlikte göz önünde tutularak optimum çözümün gerektirdiği kadar ön işlem yapılmalıdır (Şekil 4.7a ve 7b).

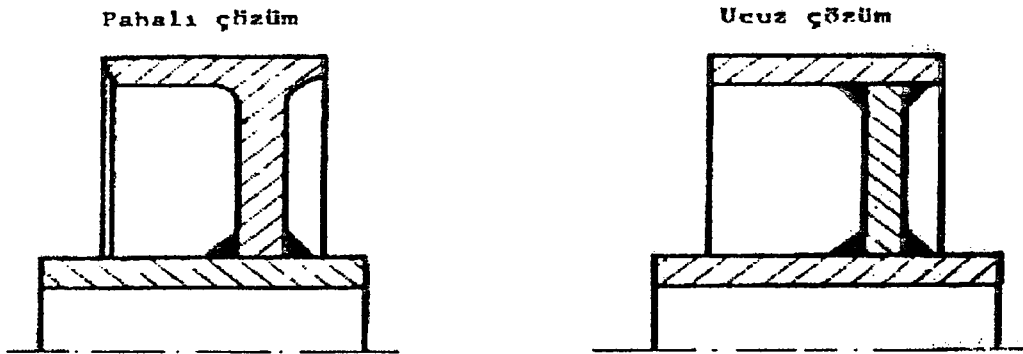


Şekil 4.7a. Ön işlemlili ve işlemsiz kaynak



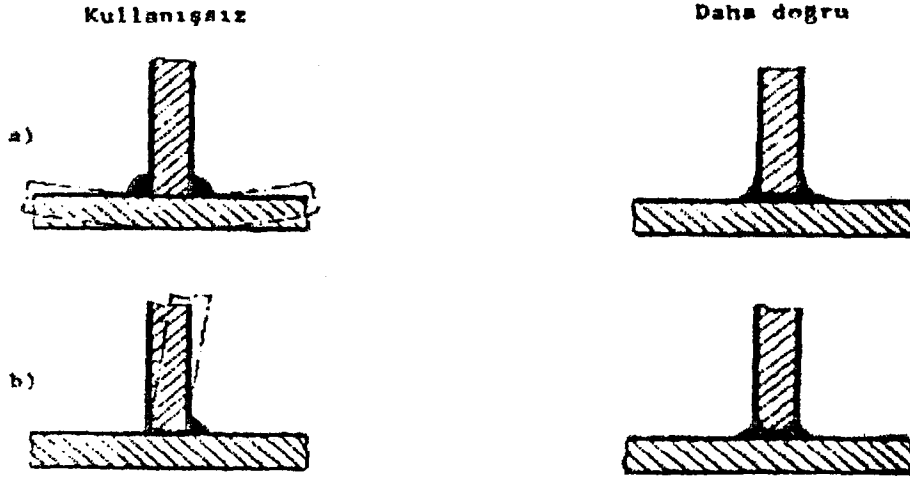
Şekil 4.7b. Merkezlemeli ve merkezlemesiz dikiş (Bengisu, 1991)

9-) Kaynakta mümkünse profil çelik, yassı çelik boru veya kenarı düzeltilmiş sac kullanılmalıdır. Bu durum malzeme masraflarının azalmasına yol açar; ancak yine aynı durumun kaynak işçiliğini artırdığı gözden uzak tutulmamalıdır. Bu konuda da optimum çözümü verecek şekilde profil çelik, yassı çelik boru veya kenarı düzeltilmiş sac kullanılmalıdır (Şekil 4.8).



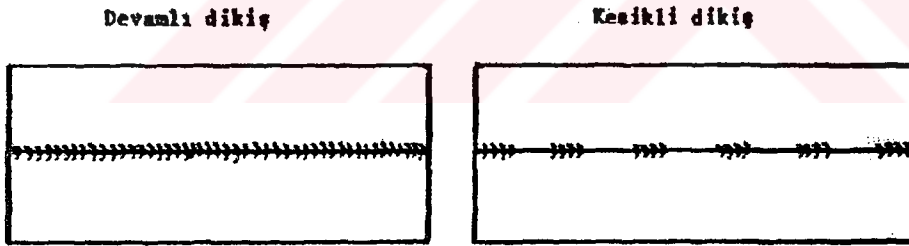
Şekil 4.8. Ekonomik kaynak durumu (Bengisu, 1991)

10-) Kaynak sırasında oluşan, farklı soğuma ve çekmenin doğurduğu büzülme gerilmelerine ve şekil değiştirmelerine dikkat edilmelidir. İç köşe dikişleri mümkünse iki dikiş yapılmalıdır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Kaynakta çarpılma (Bengisu, 1991)

11-) Kaynak dikişlerinin boyu, sayısı ve kesit alanı mümkün oldukça küçük tutulmalıdır. Kaynak dikişlerinin boyu, sayısı ve kesit alanının azaltılması gerek kullanılan kaynak malzemesinin, gerekse kaynak işçiliğinin azalmasına yol açar. Ayrıca gereksiz yere yapılacak kaynaktan dolayı parçanın tahrip edilmesi önlenmiş olur (Şekil 4.10).



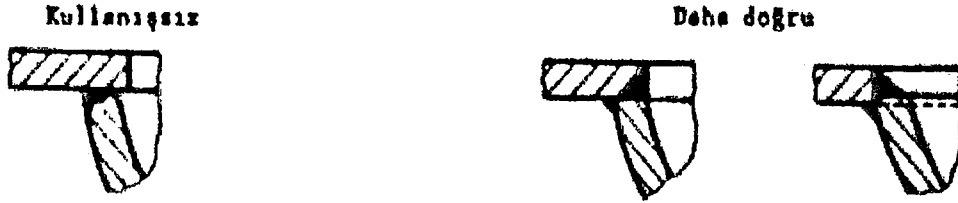
Şekil 4.10. Devamlı ve kesikli dikiş durumu (Bengisu, 1991)

12-) Kaynak dikişi mümkünse köşeden içeriye alınmalıdır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Kaynak dikişinin köşeden içeriye alınması (Bengisu, 1991)

13-) Flanşların gövdeye bağlandığı konstrüksiyonlarda kaynak ağızlarının gövde yerine flanşa açılması daha uygundur. Flanşa kaynak ağzı açılması imalat masraflarını düşürür ayrıca ön işleme sırasında yapılabilecek yanlışlıklar, kaynak ağzının gövdeye açılması durumunda daha büyük zararlara yol açar (Şekil 4.12).



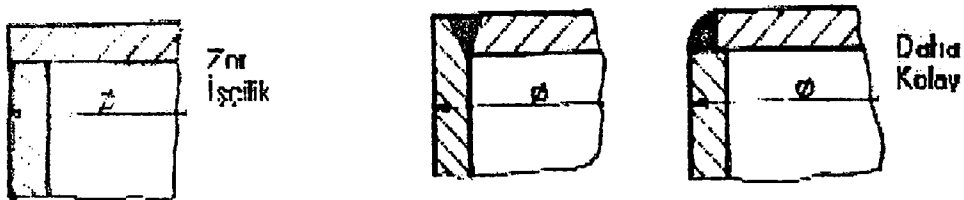
Şekil 4.12. Flanşın açılması (Bengisu, 1991)

14-) Yüksek kaliteli yüzeyler veya düşük toleranslı ölçülerle çalışan yüzeyler kaynak dikişi ile tahrip edilmemelidir (Şekil 4.13).



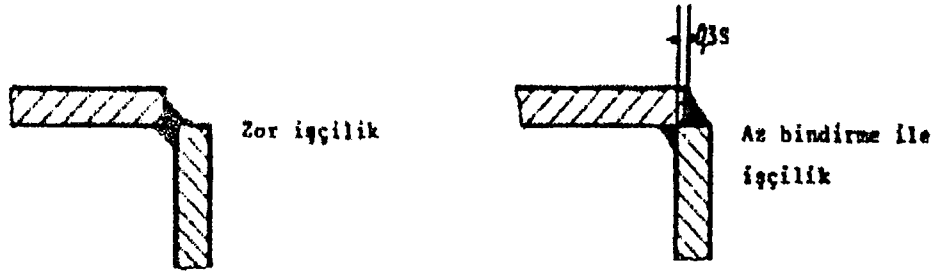
Şekil 4.13. İşlenecek yüzeylerde dikiş durumu (Bengisu, 1991)

15-) Dairesel parçaların üst üste kaynaklanmasında dikişler imkanlar sınırında parça çevrilmeden yapılabilmelidir (Şekil 4.14).



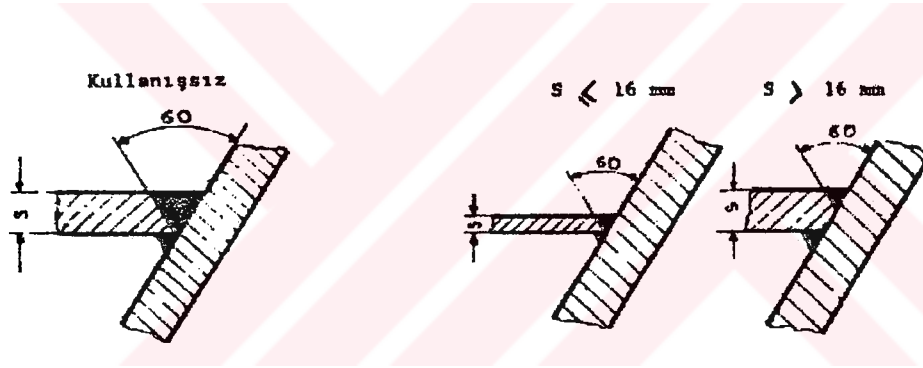
Şekil 4.14. Parça çevrilmeden kaynak durumu (Bengisu, 1991)

16-) Saç parçaların köşe kaynağında bindirme olmaksızın kaynak yapmak çok zor olabilir. 0.3 s kadar bindirme yapılabilir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Bindirme ile sağlanan kolaylık (Bengisu, 1991)

17-) Eğimli birleştirmelerde kaynak ağzından ötürü keskin köşe oluşmasından kaçınılmalıdır. $S \leq 16 \text{ mm}$ ise keskin köşe kullanılabilir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Kaynakta keskin köşe durumu (Bengisu, 1991)

18-) İnce plakalar kaynak sonrası oluşan gerilmelerden dolayı dışa doğru bombe yaparlar. Bu nedenle bombenin olmaması istenilen yerlerde kalın plakalar kullanılmalıdır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Bombenin engellenmesi (Bengisu, 1991)

19-) İşlenmiş yüzeylerin üst üste kaynaklanmasında kaynak gazlarının iki yüzey arasına sıkışması, delik açılarak önlenmelidir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Kaynak gazlarının sıkışmasının önlenmesi (Bengisu, 1991)

20-) Büyük işlenmiş yüzeylerde deformasyonu önleyici şekilde alttan büyük delik açarak kaynak yapılmalıdır (Şekil 4.19).



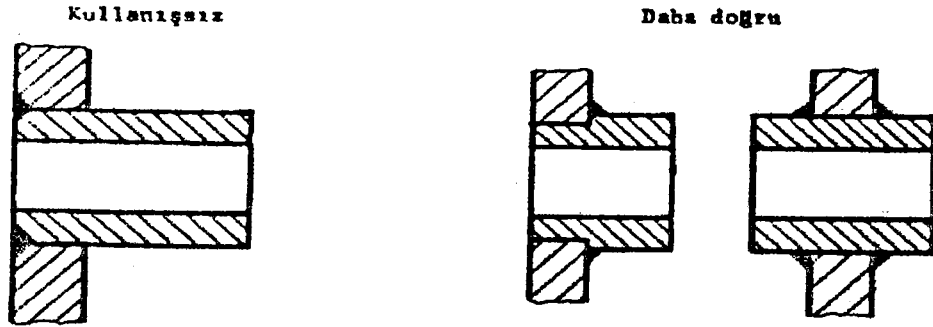
Şekil 4.19. Deformasyonun önlenmesi (Bengisu, 1991)

21-) Keskin kesit değişmesinin olduğu yerlerde kaynak dikişlerinden kaçınılmalıdır. Kaynak ağzından sonra kesitin yavaş yavaş değişmesi sağlanmalıdır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kesit değişmesi durumu (Bengisu, 1991)

22-) Göbeklere, yerine getirdikleri fonksiyonun çeşidine uygun şekilde kaynak yapılmalıdır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Göbeklerin kaynak yapılması (Bengisu, 1991)

23-) İki plaka kaynak edilirken göbek içine de dikiş konulabilir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. İki plakanın kaynak yapılması (Bengisu, 1991)

24-) Dikiş ağzı açısının küçük olması önlenmelidir. Özellikle silindirik parçalar düz parçalara zor kaynak edilirler. Ağız açısı büyütülecek şekilde değişik formlar verilmelidir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Dikiş ağzı açısının durumu (Bengisu, 1991)

25-) Kaynak dikişlerinin bir noktada toplanması önlenmelidir. Bir noktada en çok üç dikişin bulunmasına izin verilmelidir. Çok eksenli gerilmeden ötürü parça kırılabildiği gibi kaynak kalitesi de büyük ölçüde düşer ve malzemede yanma olur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Kaynak dikişlerinin toplanması durumu (Bengisu, 1991)

26-) İşlenmiş delikli yüzeylerin eğimli birleştirilmelerinde konstrüksiyon, işleme yüzeyleri birbirine dik gelecek şekilde seçilmelidir. Ayrıca deliğin tek bir parçada öngörülmesi ve diğer parçaya yanlardan kaynak edilerek tutturulması en uygun çözümdür (Şekil 4.25).



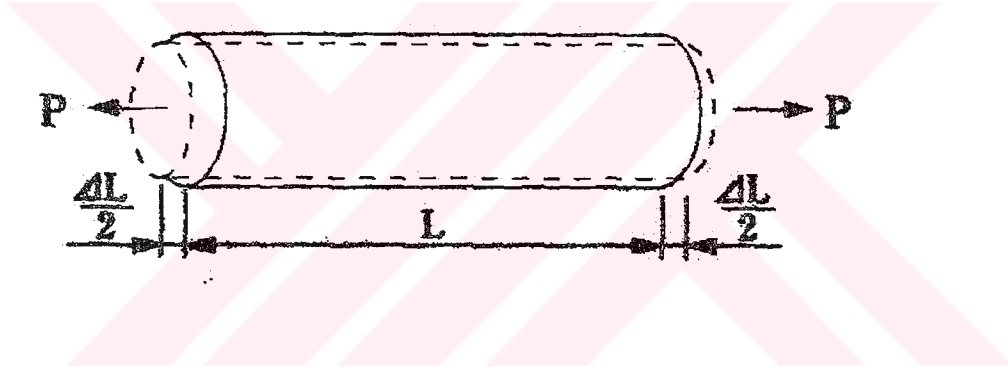
Şekil 4.25. Delikli yüzeylerin durumu (Bengisu, 1991)

BÖLÜM 5

ŞEKİL DEĞİŞİMİ (STRAIN)

5.1. Giriş

Eksenel kuvvet uygulanmış elastik malzemelerde, gerilmeler ve bu gerilmelere bağlı olarak da deformasyonlar oluşur. Şekil 5.1’de ki gibi L uzunluğundaki bir iş parçasına eksenel olarak çekme kuvveti uygulandığında parça boyutunda ΔL kadar uzama meydana gelerek parçanın boyu $(L + \Delta L)$ olur. Eğer parçaya basma kuvveti uygulanırsa, bu defa parçada ΔL kadar kısalma meydana gelir ve parçanın son boyu $(L - \Delta L)$ olur.



Şekil 5.1. Eksenel çekme uygulanmış parça

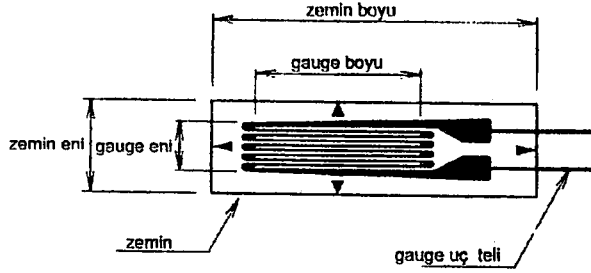
Bu durumda parçadaki şekil değişimi,

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad (5.1)$$

olarak hesaplanır. Burada ε : Şekil değişimi, L: Parçanın ilk uzunluğu, ΔL : P kuvveti uygulandıktan sonra meydana gelen uzama miktarıdır. (TML strain gauge ktlg.,2000)

5.2. Strain Gauge (Birim Şekil Değişim Ölçer)

Çok ince epoksi elektriksel izolasyon zemini üzerine, fotoğrafı metoduyla klişelenmiş 0.003-0.007 mm kalınlıkta metalik alaşım (Cu-Ni) direnç folyosunun yapıştırılması ile imal edilmiştir. Genellikle (metal, cam ve seramik türü malzemelerde) kullanıma uygundur. Dirençleri çoğunlukla 120 Ω dur. Şekil 5.2’de Strain gauge şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Strain Gauge (TML kataloğu,2000)

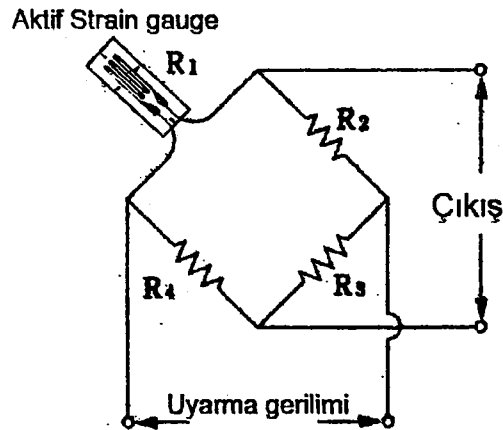
5.3. Şekil Değişimi ve Direnç Değişimi

Şekil değişimi sonucunda malzemenin direncinde de çok küçük değişimler meydana gelir. Şekil değişimi ile direnç değişimi arasında aşağıdaki gibi bağıntı mevcuttur.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R / R}{K} \quad (5.2)$$

Burada: ϵ : Şekil değişimi, R: Gauge direnci, ΔR : Şekil değişiminden sonra dirençte olan değişim, K: Gauge faktörü (her strain gauge için paket üzerinde belirtilmiştir.)

Genellikle dirençte oluşan değişim çok küçük olduğundan, bu değeri almak için Wheatstone köprüsü kullanılır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Wheatstone Köprüsü

Çıkış voltajı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$e = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E_u \quad (5.3)$$

Burada; e : çıkış voltajı, E_u : uyarma gerilimi, R_1 : gauge direnci, R_2, R_3, R_4 : sabit dirençlerdir. Şekil değişiminden dolayı dirençte değişim olacağından bu değişim çıkış voltajına da etki edecektir. Çıkış voltajındaki değişim, $R=R_1=R_2=R_3=R_4$ alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta e = \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R} E_u \quad (5.4)$$

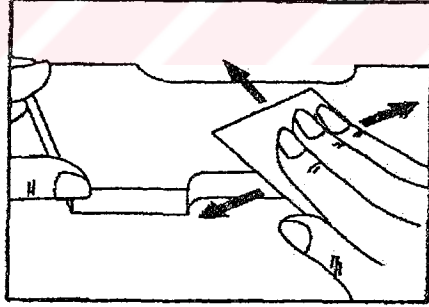
$\Delta R \ll R$ olduğunda,

$$\Delta e = \frac{\Delta R}{4R} E_u = \frac{E}{4} K \varepsilon \quad (5.5)$$

olur. Strain metre içerisinde Wheatstone köprüsü ve uyarma gerilimi verebilme imkanı mevcuttur. Strain gauge, strain metreye bağlanarak dijital yada analog olarak ekranda şekil değişim miktarı görülebilmektedir.

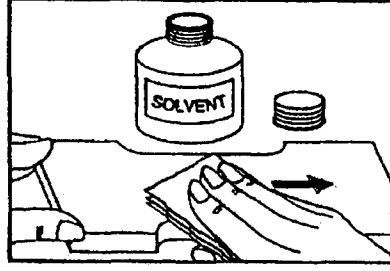
5.4. Strain Gauge Yapıştırma İşlemi

Şekil değişiminin alınacağı bölgelere strain gaugeler yapıştırılır. Yapıştırma işlemi çok dikkat ve hijyen isteyen bir işlemdir. Yapıştırılacak yüzey öncelikle gözle görülebilen yağ, kir, pas v.s. gibi tabakalardan temizlenmelidir. Bunun için genellikle sıfır zımpara kullanılır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Yüzeyin zımparalanması (TML kataloğu, 2000)

Zımparalama işleminden sonra, yüzeyin hassas olarak temizlenmesi için solvent kullanılır. Strain gauge kutularında bulunan özel yapılmış kağıtlar ile solvent dökülerek temizleme yapılır (Şekil 5.5).



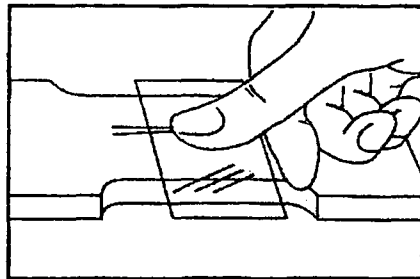
Şekil 5.5. Yüzeye solvent uygulanışı (TML kataloğu, 2000)

Yüzeyler temizlendikten sonra, özel yapılmış yapıştırıcılar strain gauge ye uygulanır. Bu yapıştırıcılar tek olarak yada duruma göre belli oranlarda karıştırılarak kullanılırlar (Şekil 5.6).



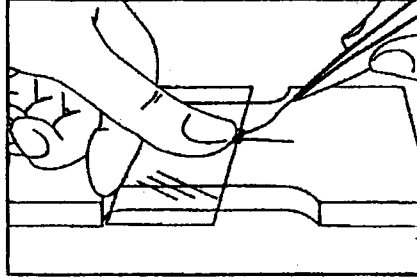
Şekil 5.6. Yüzeye yapıştırıcı uygulanışı (TML kataloğu, 2000)

Yapıştırıcı sürüldükten sonra strain gauge yapıştırılacağı yüzeye yerleştirilir. Strain gauge kutularında hazır bulunan özel plastik levha ile üzerine 20-60 saniye basınç uygulanır. Yapıştırıcının özelliğine göre, kurumanın tam anlamıyla gerçekleşip strain gauge nin yapışması için hiçbir müdahale edilmez (Şekil 5.7).



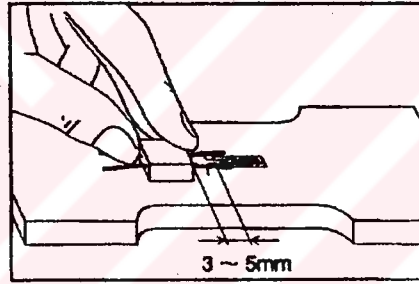
Şekil 5.7. Strain gauge nin yüzeye yapıştırılması (TML kataloğu, 2000)

Kuruma gerçekteştikten sonra bir cımbız yardımıyla strain gauge nin uç telleri dikkatlice yukarı kaldırılarak lehimlemeye hazırlanır (Şekil 5.8).



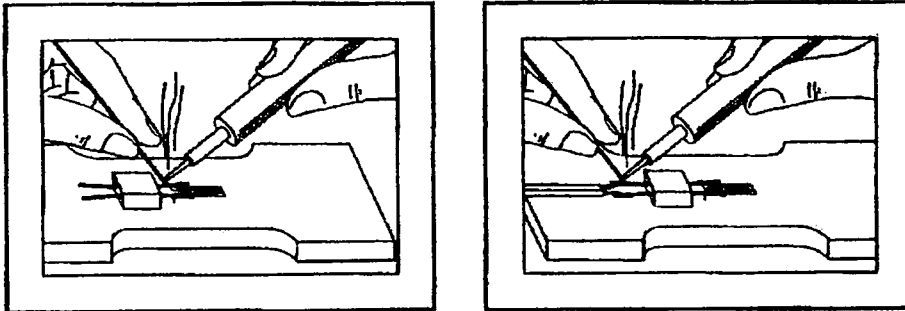
Şekil 5.8. Strain gauge tellerinin lehimleme için hazırlanması (TML kataloğu, 2000)

Bağlantı terminali tellerin arasına yerleştirilerek lehimleme için son işlem yapılır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Bağlantı terminalinin uygulanışı (TML kataloğu, 2000)

Terminal yeri ayarlandıktan sonra strain gauge nin uçları terminale, sonra terminale uzatma telleri lehimlenir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Terminal lehimlemesinin yapılması (TML kataloğu, 2000)

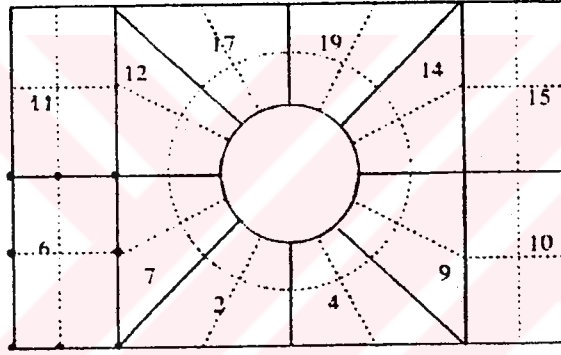
BÖLÜM 6

AĞ OLUŞTURMA

6.1. Otomatik Ağ Oluşturma

Ağ oluşturma işleminin temel mantığı, az sayıdaki anahtar noktalar için girilmiş olan elemanların süreklilik ve düğüm koordinat bilgilerinden yola çıkarak işlem yapılan bölgenin istenen incelikte elemanlara ayrılması olarak tanımlanabilir (Nath, 1993).

Bu yöntemde genel olarak kompleks bir bölge, küçük dikdörtgen bloklardan oluşmuş, dikdörtgen model olarak ele alınır. Dikdörtgen bloklardan bazıları boşaltılır ve bazı kenarlar birleştirilerek istenen şekil elde edilir. Şekil 6.1’de verilen bölgenin, blok şemasını oluşturmak için daha küçük dikdörtgen bloklardan oluşan dikdörtgen blok modeli, Şekil 6.2’de görüldüğü gibi elde edilir.



Şekil 6.1. Ortasında delik bulunan dikdörtgen levha için örnek alt blok bölüntüsü (Topçu, 1999)

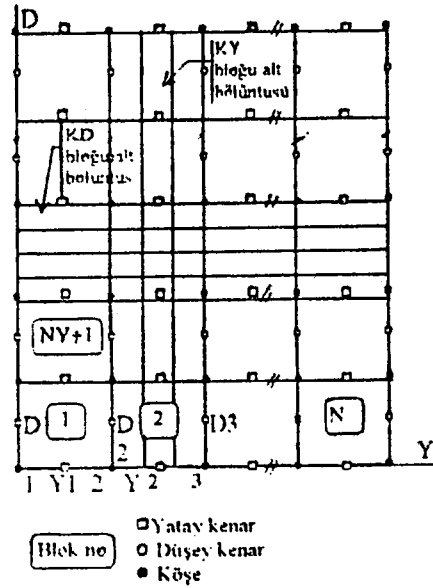
Bölgelerin tanımlanabilmesi için ana şekil üzerinde numaralanmış bloklarda komşu blokların yan yana gelmesini sağlamak için verilen 1,3,5,8,13,16,18 ve 20 numaralı bloklar boş blok alınmalı ve koyu çizgi ile belirtilen kenarlar karşılıklı olarak birleştirilmelidir.

D					
25	26	27	28	29	30
16	17	18	19	20	
	D21		D22		
19	20	21	22	23	24
11	12	13	14	15	
	D15		D16		
13	14	15	16	17	18
6	7	8	9	10	
	D9		D10		
7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	Y
	D5		D4		
1	2	3	4	5	6

Şekil 6.2. Şekil 6.1 için bölge ve blok diyagramı (Topçu, 1999)

Şekil 6.3’de dikdörtgen bloklardan oluşmuş bir tüm dikdörtgen modelin genel konfigürasyonu görülmektedir. Model yatay (Y) - düşey D eksen takımına yerleştirilmiştir. Aralık numaraları düşeydeki aralık sayısı (ND) ve yataydaki aralık sayısı (NY) olarak adlandırılmıştır. Ağ oluştururken her aralık alt bölümlere ayrılır. Aralıkların alt bölümleri KD ve KY olmak üzere düşeydeki toplam aralık (NND(KD)) olarak ve yataydaki toplam aralık (NYD(KY)) olarak adlandırılmıştır.

Düğüm numaranırlırken ilk noktadan başlanarak Y yönünde ilerlemek şartıyla numaralar verilir. İlk sıra bittiğinde D yönünde sonraki sıranın ilk düğümünden itibaren aynı işlem tekrar edilir. Sonlu eleman modeli koordinat eksenine yerleşirken dikkat edilecek nokta, aralık sayısı az olan tarafın Y eksenı üzerinde olmasıdır. Bunun nedeni, bir blok üzerinde bulunan düğümlerin numaraları arasındaki farkın minimum olmasını ve buna bağlı olarak bant genişliğinin küçük olmasını sağlamaktır. Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar için hesaplanmış rijitlik matrisleri genel rijitlik matrisi içine yerleştirilirken düğüm numaralarına bağlı sistematik içinde yerleştirilmektedir. Bir elemanın düğümleri arasındaki farkın büyümesi, genel matriste yerleştirilen değerlerin dağınık ve bant genişliğinin büyük olmasına sebep olmakta, bu da bilgisayar kapasitesinin artmasını gerektirmekte ve çözüm zamanının uzamasına yol açarak yapılacak hesapları zorlaştırmaktadır. Program numaralandırmayı yatay eksenden başlayarak yaptığından az sayıda düğüm bulunan kenarın yatay eksene yerleştirilmesi elde edilecek matrisin daha düzgün olmasını sağlamaktadır.



Şekil 6.3. Düğüm, blok ve kenarların numaralandırılması (Topçu, 1999)

Y ve D yönündeki toplam düğüm sayıları

$$NNY = 1 + \sum_{KY=1}^{NY} NYD(KY) \quad (6.1)$$

$$NND = 1 + \sum_{KD=1}^{ND} NDD(KD) \quad (6.2)$$

Bağıntıları kullanılarak elde edilir.

Mümkün olan maksimum düğüm sayısı ise

$$NNT = NNY * NND \quad (6.3)$$

olarak tanımlanır.

Problemdeki düğümlerin ve blokların tanımlanması içinde birer dizi tanımlanmaktadır. Blokları tanımlayan dizi, blokların malzeme numaralarını içermektedir. Eğer blok için bu değer sıfır olursa o blok boşaltılmış anlamına gelmektedir. Normalde mevcut bloklar için bu değer 1' dir. Farklı özelliklerdeki malzemelerden oluşmuş bir bölge üzerinde inceleme yapılıyorsa, farklı bölgeler için farklı malzeme numaraları verilmesi gerekmektedir.

Blok şeması üzerinde tanımlanmış olan tüm blok köşe düğümlerinin, koordinatları ile alt blokların her birinde bulunması muhtemel eğri kenarların orta nokta koordinatlarının verilmesi gerekmektedir. İlk olarak tüm kenarların orta düğümleri, köşe düğümleri arasındaki doğrunun orta noktasında bulunan doğrusal kenarlar olarak kabul edilerek, orta düğümlerin x ve y koordinatları hesaplanır. Daha sonra eğrisel kenarlar için orta düğüm koordinatları girildiğinde, bu gerçek

değerler dizideki daha önceden kabul edilmiş bulunan değerlerin yerini alır. Daha sonra birleştirilecek kenarlar önceden verilen bilgilere göre işlenir.

Düğüm noktalarının numaralandırılmasında düğüm numaralarını içeren dizideki her değişkene önce -1 değeri verilir. Bunun anlamı her düğümün mevcut ve bağımsız olduğudur. Daha sonra boş blok üzerinde mevcut olmayan noktalar varsa, bu noktaların dizideki yerlerin sıfır konur, yani bu düğümlerin dizideki yerleri sıfırlanır. Birleştirilmiş kenarların varlığı kontrol edilir. Eğer böyle kenarlar varsa, birleştirilecek iki kenardan düğüm numaraları büyük olan kenar üzerindeki düğüm noktalarına, karşı düğümün numarası verilir. Düğüm numaraları küçük olan kenar için hiçbir işlem yapılmaz. Sonuç olarak düğüm numaraları büyük olan kenar, diğeri üzerine taşınmış olur.

Düğümlerden bazıları yok edildiği için düğüm numaraları arasındaki ardışıklık bozulmaktadır. Bu yüzden mevcut düğümlerin yeniden numaralandırılması gerekmektedir. Numaralandırma işlemine 1 'den başlanır, düğüm numaraları dizisinde değeri negatif olan düğümler 1 'er artırılarak numaralandırılır. Eğer düğümün değeri sıfır ise o düğüme numara verilmez, dizideki yeri sıfır olarak kalır. Değeri pozitif olan düğümün ise birleştirilmiş (taşınmış) bir düğüm olduğu bilindiğinden karşı düğümün dizideki değeri verilir. Numaralandırma işlemi bu şekilde tamamlanır.

İncelenen bölge üzerindeki herhangi bir blok alt bloklara ayrıldığında oluşan kesişim noktalarındaki alt düğümlerin koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir. İncelenen bir bloğun n adet temel düğümlerinin koordinatları kullanıcı tarafından girildiği için bilinmektedir. Y-D koordinat sisteminde blok üzerinde bulunan bir N_1 alt düğümünün diğer düğümlerle olan ilişkisi biliniyorsa, şekil fonksiyonları yardımıyla bu düğümün X ve Y koordinatları bulunabilir. Bölge üzerindeki bir blok alt bölümlere ayrıldığında, alt bölümler Y-D düzleminde eşit aralıklarla oluşturulur. Bu bilgi, düğümlerin X ve Y koordinatlarının hesaplanması için yeterlidir. Bu veriler doğrultusunda N_1 düğümünün X ve Y koordinatları,

$$X = \sum_{i=1}^n SH(I).X(I) \quad (6.4)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n SH(I).Y(I) \quad (6.5)$$

Bağıntıları yardımıyla bulunabilir. Burada $SH(I)$ şekil fonksiyonlarını, $X(I)$, $Y(I)$ ise temel düğümlerin koordinatlarını göstermektedir. Alt bölümlerden dolayı oluşan alt düğümlerin X ve Y koordinatlarının hesaplanmasıyla, bölge üzerindeki tüm düğümlerin koordinatları bulunmuş olur. Son işlem olarak ilgili noktalar birleştirilir ve ağ oluşturulur.

6.2. ANSYS Paket Programı Kullanılarak Ağ Oluşturma

6.2.1. Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak mühendislik problemlerinin çözümü için geliştirilmiş Ansys paket programı ile ağ oluşturma aşamaları aşağıda verilmiştir.

6.2.2. Ağ Oluşturma

Ansys' de ağ oluşturma üç ana adımdan meydana gelir.

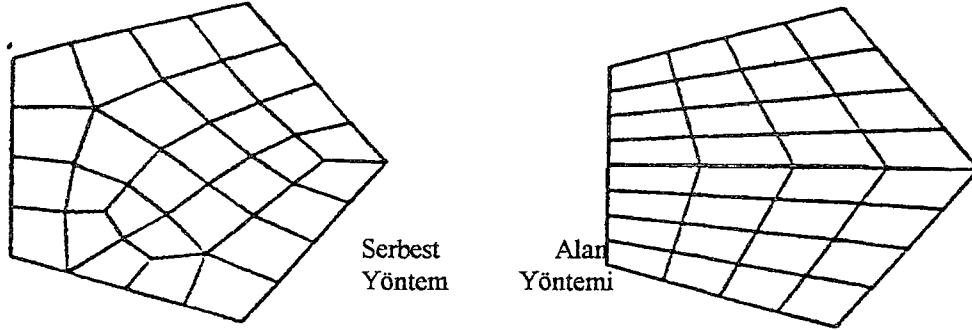
- Elemanların özelliklerini belirlemek
- Ağ kontrolünü belirlemek. Program, kullanıcıya ihtiyacına göre seçeceği geniş, bir ağ kontrol olanağını sunmaktadır.
- Ağ oluşturmak

İkinci adım olan ağ kontrolünü belirlemek çok fazla önemli bir adım değildir. Çünkü önceden tanımlanmış ağ kontrolleri bir çok modeller için uygun bir yapıdadır. Eğer özel bir kontrol yoksa, program serbest ağ yöntemi için DESIZE üzerinden önceden tanımlanmış olan kontrol sistemini kullanır.

6.2.2.1. Serbest veya alan ağ oluşturma

Model üzerinde ağ oluşmadan, hatta modeli oluşturmadan önce, öncelikle düşünülmesi gereken olay yapacağımız analize uygun bir ağ oluşturma yöntemine karar vermektir. Serbest ağ yönteminde, eleman şekilleri içerisinde herhangi bir kısıtlama ve özel bir desen uygulaması yoktur.

Alan ağ oluşturma yöntemi serbest ağ oluşturma yöntemi ile karşılaştırılacak olunursa alan ağ yönteminde eleman şekillerinde kısıtlama vardır. Alan ağ yöntemi ile ağ oluşturulacak modelde eleman olarak üçgen veya dörtgen elemanlar kullanılır (ANSYS Modeling, Meshing, and Operation Guide , 2000).



Şekil 6.4. Serbest ve alan ağ yöntemi ile oluşturulmuş ağ yapısı (ANSYS Modeling, Meshing, and Operation Guide Release 5.6, 2000)

6.2.3. Eleman Özelliklerinin Belirlenmesi

Ağ oluşturmadan önce uygun eleman özelliklerinin tanıtılması gerekmektedir.

- Eleman tipi (örneğin BEAM3 SHELL 61 gibi)
- Gerçek sabitler (kalınlık, alan gibi)
- Malzeme özellikleri (Elastiklik modülü, yoğunluk gibi)
- Eleman koordinat sistemi

Eleman tipini belirlemek için ilk önce tablo yapılmalıdır. Tabloyu oluşturmak için program menüsünden,

Main Menu > Preprocessor > Element type - Add / Edit / Delete

gerçek sabitler için,

Main Menu > Preprocessor > Real constant

ve malzeme özellikleri için,

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Options

komutları sırası ile seçilir.

6.2.4. Ağ Kontrolleri

Programda mevcut olan ağ kontrolleri modelin analizi için ağ oluşturma sırasında ağ kontrol sistemlerini çalıştırır. Bu nedenle özel bir ağ kontrollerine gerek yoktur. Ağ kontrolleri, eleman şekli gibi bazı faktörlerin saptanmasına olanak sağlar.

6.2.4.1. Ağ kontrol menüsü

Ağ kontrol menüsü (Main Menu > Preprocessor > Mesh tool) oldukça sık kullanılan ağ kontrollerini içerir. Ağ kontrol menüsü sayesinde fonksiyonel kontrollere ulaşılır.

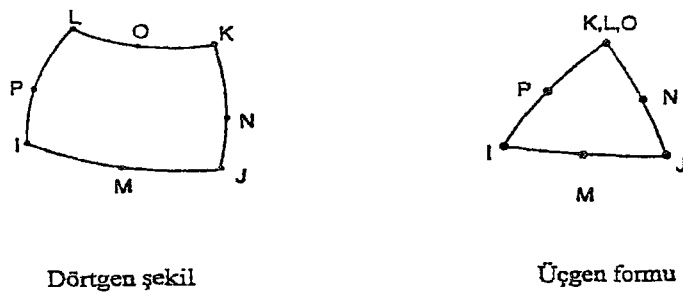
Ağ kontrol menüsünde şu özellikler mevcuttur.

- Smartsiz kontrol seviyeleri
- Eleman büyüklük kontrolü
- Özel eleman şekli
- Ağ tipleri
- Ağ silme
- Ağı yeniden tanımlama

6.2.4.2. Eleman şekli

Ağ oluşturma işlemi sırasında modelin analizine, yapısına ve büyüklüğüne uygun olan ve model ile eleman topolojisinin uyum içinde kalmasını sağlayan eleman şekillerinin seçilmesi oldukça önemli bir konudur. Genelde üçgen ve dörtgen elemanlar aynı ağ alanı içerisinde kullanılabilir.

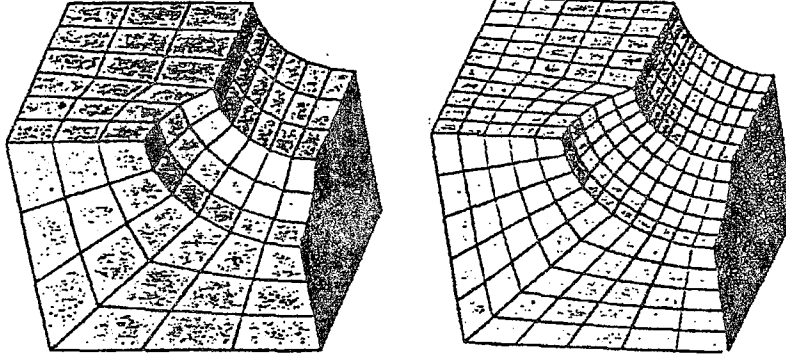
Hacim elemanlarda ise dört yüzlü veya altı yüzlü elemanlar kullanılır. Özellikle iki boyutlu yapıdaki sekiz düğüm noktalı yapısal katı eleman hem dörtgen hem de üçgen formunda olabiliyorsa bu tür elemanlara dejenere olmuş elemanlar denir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Dejenere eleman şekilleri (Ansys MMOG, 2000)

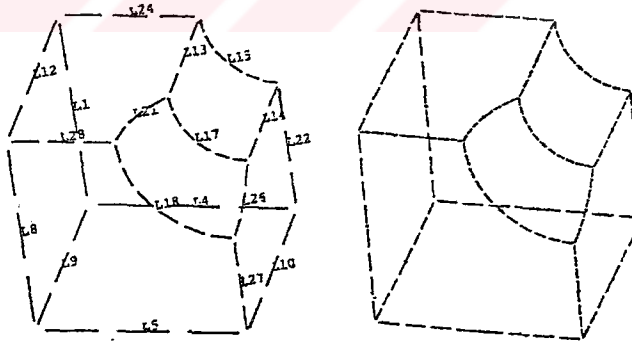
DESIZE komutu, ağ yoğunluğunu değiştirmeye veya başka bir ifade ile eleman büyüklüğüne müdahaleye imkan verir. Minimum ve maksimum elemanların sayısı bu komut sayesinde analize uygun olarak değiştirilebilir. Bu komut genellikle alan ağ yöntemi için eleman kontrol büyüklüğü olarak kullanılır. Şekil 6.6'da gösterildiği gibi düz taraflardaki ağ yoğunluğu

ile iç bükey taraftaki ağ yoğunluğu birbirinden farklıdır. İç bükey taraftaki ağ minimum eleman sayıları ve her eleman için maksimum uzanım açısı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 6.6. Farklı eleman büyüklüğüne sahip hacimsel bir yapı (Ansys MMOG, 2000)

Aşağıdaki Şekil 6.7 ise Şekil 6.6'da gösterilen ağ yapısının ön aşamasıdır. Ağ kontrol menüsünden çizgi oluşturma (Line set) komutunu kullanarak elemanlara bölünen model üzerindeki çizgiler istenilen uzunlukta tutularak ağ yoğunluğuna dolayısıyla eleman büyüklüğüne dışardan müdahale edilebilir.



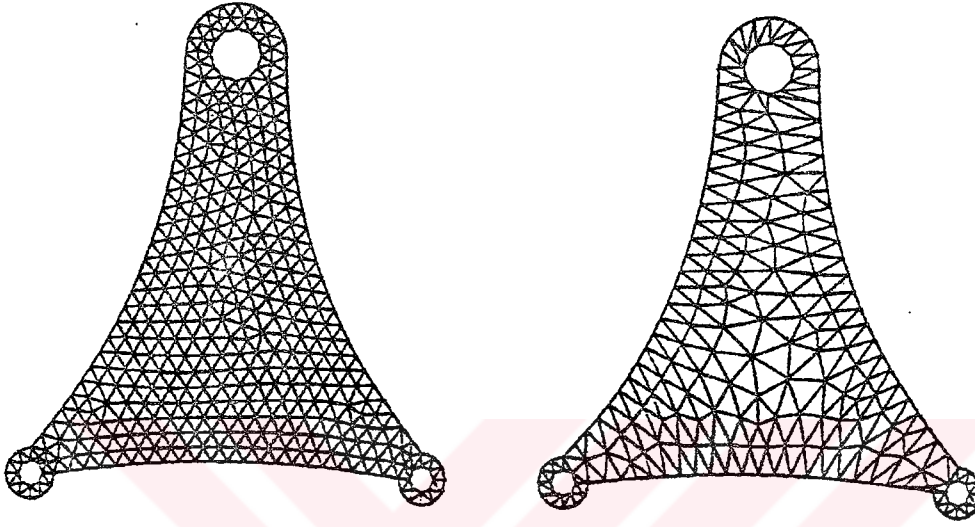
Şekil 6.7. Farklı sayıda elemanlara bölünmüş hacimsel yapı (Ansys MMOG, 2000)

6.2.4.3. Ağ genişleme kontrolü

Bu kontrol şekli, Şekil 6.8 ile açıklanacak olunursa; şeklin sol tarafındaki ağ yapısı temel olarak ESIZE komutu üzerinden oluşturulmuştur. Elemanlar her bölgede oldukça düzgün

yerleşmiştir. Genişleme opsiyonu kullanılarak ağ ilkinden daha az ve farklı büyüklüklere sahip elemanlardan oluşmuştur.

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Size Controls > Global -Size



Şekil 6.8. Genişlemiş ağ yapısı (Ansys MMOG, 2000)

6.2.5. Ağ Oluşturma Yöntemlerinde Kontrollerin Kullanılması

6.2.5.1. Serbest ağ oluşturma

Serbest ağ oluşturma işlemi sırasında ağ oluşturulacak modeli sınırlamaya gerek yoktur. Herhangi bir model, modelin düzenli olup olmamasında önemi pek yoktur. Bu yöntem ile rahatça ağ oluşturulabilir.

Eleman şekli, ağ oluşturulacak alan veya hacime bağlıdır. Belli bir alan üzerinde ağ oluşturmak için dörtgen veya üçgen elemanlar veya her ikisi birlikte kullanılır. Hacim üzerinde ağ oluşturmak için genellikle dört yüzlü veya altı yüzlü elemanlar kullanılır.

Serbest ağ oluşturma işleminde eleman büyüklükleri DESIZE veya SMARTSIZE komutu üzerinden ESIZE, KESIZE ve LESIZE komutları ile oluşturulur. Bütün bu ağ kontrol üniteleri:

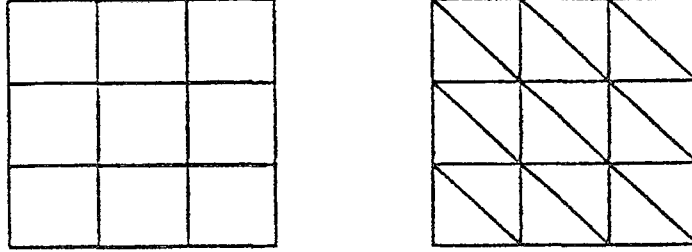
Main Menu > Preprocessor > Mesh Tool ve

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Size - Contrls komutları altında bulunur.

6.2.5.2. Alan ağ oluşturma

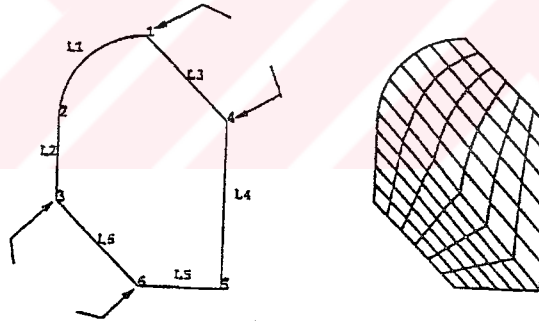
Alan ağ oluşturmak için dörtgen, üçgen ve brick eleman tipleri kullanılır. Alan ağ oluşturma yönteminin uygulanması için alanın veya hacmin düzenli olması gerekir. Alan üzerinde

ağ oluşturmak için bu yöntemin kullanılması halinde alanı sınırlayan kenarların karşılıklı olarak eşit sayıya bölünmesi gerekmektedir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Alan üzerinde alan yöntemi ile oluşturulmuş ağ yapıları (Ansys MMOG, 2000)

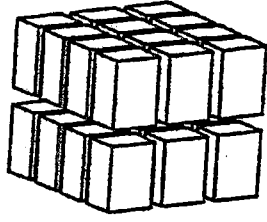
AMAP komutu, alan ağ oluşturma yönteminin gözlenebilmesi için kolay bir yol sunar. Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Areas - Mapped > By Corner komutu ile Şekil 6.10 üzerinde gösterilen noktalar işaretledikten sonra alanda otomatik olarak dörtgen veya üçgen elemanlar ile ağ oluşturulur.



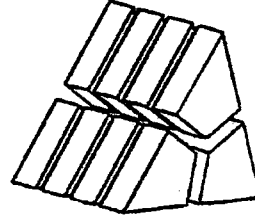
Şekil 6.10. Basit bir alan şekli (Ansys MMOG, 2000)

6.2.5.3. Hacim üzerinde alan ağ oluşturma

Bir hacim üzerinde ağ oluşturmak için altı yüzlü veya dörtyüzlü elemanlar kullanılır. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi, şekillerde farklı elemanlar ile alan ağ uygulaması mümkün olmaktadır.



a) Brick şekil



b) Prizma şekil

Şekil 6.11. Farklı elemanlar ile ağ oluşturulmuş hacimsel yapı (Ansys MMOG, 2000)

6.2.6. Katı Bir Model Üzerinde Ağ Oluşturma

Katı bir model üzerinde ağ oluşturmak için şu adımların izlenmesi gerekmektedir.

- Önce katı bir model oluşturulur
- Eleman özellikleri belirlenir
- Ağ kontrolleri saptanır
- Ağ oluşturulur

6.2.6.1. XMESH komutları kullanılarak ağ oluşturma

Ağ oluşturmak için, ağ operasyonları kullanılmalıdır. Aşağıdaki şekilde alanlar, hacimler, çizgiler (line) ve anahtar noktalar (keypoint) kullanılarak ağ oluşturulur.

- Nokta elemanlar oluşturmak (MASS 21 gibi)

KMESH

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Keypoints

- Çizgiler üzerinde çizgisel eleman oluşturmak (LINE 31 gibi)

LMESH

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Lines

- Alanlar üzerinde alan eleman oluşturmak (PLANE 82 gibi)

AMESH , AMAP

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Areas - Mapped > 3 or 4 sided

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Areas - Free

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Areas - Target Surf

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Areas - Mapped > By Corner

- Hacimler içinde hacim eleman oluşturmak

VMESH

Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Volume - Mapped > 4 to 6 sided Main Menu > Preprocessor > Meshing - Mesh > Volume - Free

6.2.6.2. Eleman şekil kontrolü

İstenmeyen şekilde oluşmuş elemanlar oldukça zayıf analitik sonuçlar verirler. Bu sebepten dolayı program, zayıf şekilli elemanların oluşması durumunda kullanıcıyı uyarır. Zayıf şekilli elemanların tanınması için birkaç, universal kriterler vardır. Bir analizde zayıf şekilli eleman kötü sonuç verebildiği gibi, bir başka analizde iyi sonuç verebilmektedir.

6.2.7. Ağ Değiştirme

Oluşturulan ağ yapılan analizde eğer uygun değilse, aşağıdaki adımlar takip edilerek kolayca değiştirilebilir.

a) İlk önce yeni eleman özellikleri için remesh yapılır.

Yeniden ağ oluşturma (remesh) komutu, önceden ağ oluşturulmuş bir model üzerinde yeniden ağ oluşturma en kolay yoldur. Fakat bazı kısıtlamalar vardır. Eleman büyüklük özellikleri KESIZE, ESIZE, SMARTSIZE ve DESIZE komutları kullanılarak kontrol edilir.

b) Daha sonra kabul / red ikonu ile bir önce oluşturulmuş ağ reddedilir.

Kabul / red ikonu aktif hale geçtiği zaman, her bir ağ oluşturma operasyonundan sonra kullanıcıya oluşturulmuş olan ağ kabul veya red imkânını verir. Eğer ağ oluşturma işlemi kabul edilmezse, bütün noktalar ve elemanlar silinir.

c) Önceki ağ, ağ temizleme (clear mesh) komutu ile silinir. Ağ kontrolleri yeniden tanımlanır.

Bu komut yeniden ağ oluşturma işlemi öncesinde her zaman gerekli değildir.

d) Ağ alanı tanımlanır.

Belli bir bölge civarında daha fazla elemanın olması isteniyorsa, seçilen düğüm noktaları etrafında yeniden ağ oluşturma işlemi tanımlanır.

e) Yeni oluşturulacak ağın geliştirilmesi (Sadece dörtgen elemanlarda)

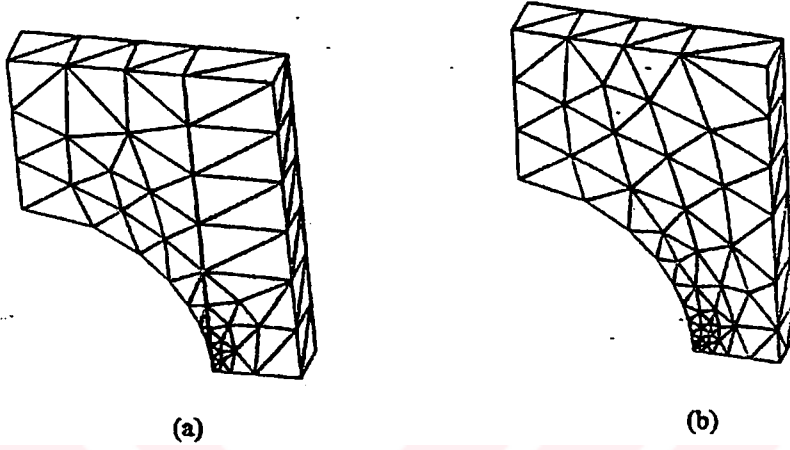
Program bu yöntem ile yüzeyin değişmesini, düğüm noktalarının daha düzenli dağılmasını ve zayıf şekilli olan dörtgen elemanların gelişmesini ve özelliklerinin geliştirilmesini sağlar. Eleman ve düğüm noktası numaralarını düzenler.

6.2.8. Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar:

Oluşturulan model üzerinde iyi bir ağ oluşturulması isteniyorsa, aşağıdaki kurallara uyulmalıdır.

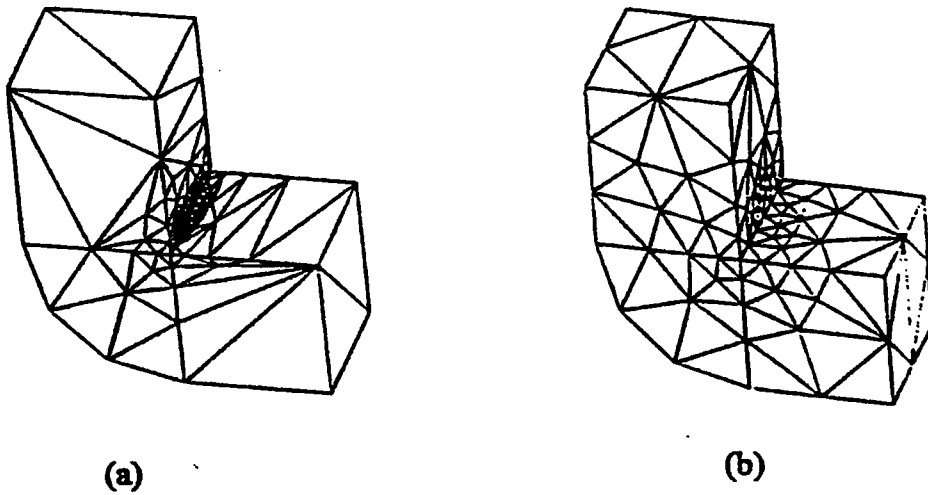
a) Keskin köşe ve yüzeylerden kaçınılmalıdır.

Alan veya hacim üzerinde çok fazla keskin köşe veya yüzey varsa istenilen derecede ağ oluşturulamaz.



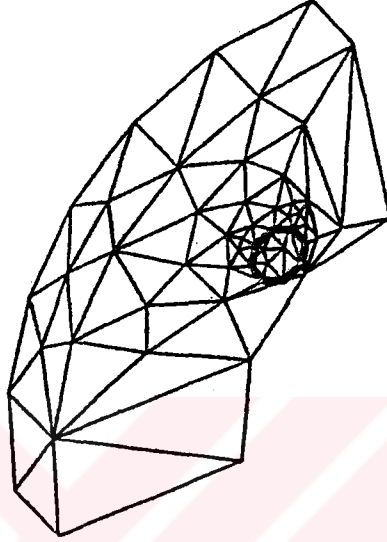
Şekil 6.12. Keskin köşelerdeki ağ yapıları (a) istenilmeyen yapı (b) istenilen yapı
(Ansys MMOG, 2000)

b) Çok fazla eleman büyüklük geçişlerinden kaçınılmalıdır. Bazen elemanın kalitesinin kötü oluşu bu sebepten kaynaklanmaktadır. Şekil 6.13(a)'da eleman büyüklük geçişi problemi yüzünden dört yüzlü eleman kalitesinin istenilen sınırlarda olmadığını göstermektedir. (b)' de ise hafif bir geçiş ile dört yüzlü eleman kalitesindeki değişim açıkça görünmektedir.



Şekil 6.13. Farklı şekilde eleman geçişi uygulanmış ağ yapıları (Ansys MMOG, 2000)

Aşırı derecede eleman eğriliklerinden kaçınılmalıdır. Çünkü en fazla gerilmeler bu eğri yüzeyler üzerinde oluşmaktadır. Bu nedenle oluşturulacak modellerde bu kurala dikkat etmek gerekir. Mümkün olduğu ölçüde ağ yoğunluğu model boyunca eşit olmalıdır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Eğri bir yüzeydeki ağ yapısı (Ansys MMOG, 2000)

BÖLÜM 7

KAYNAK FORMUNUN GERİLME DAĞILIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

7.1. Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak formunun gerilme dağılımına etkisinin incelenmesi, için köşe ve alın kaynaklarında iç bükey ve dış bükey kaynak dikişli iş parçalarına çeşitli kuvvetler uygulanmıştır. Kuvvetlerin yönü ve değerleri değiştirilerek kaynak dikişinde oluşan gerilme dağılımları incelenmiştir.

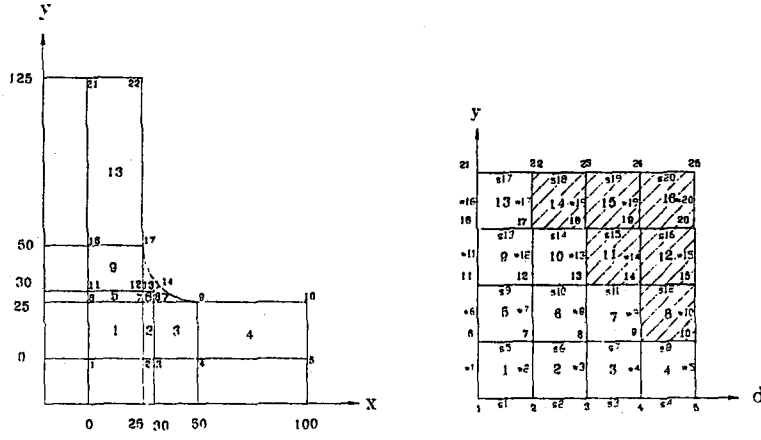
Kaynak yapılmış parçaların, sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik olarak incelenebilmesi için Qbasic ve Fortran programlama dilleri kullanılarak yapılan programlarla, iki boyutlu inceleme yapılmış ayrıca aynı kaynak formları, Ansys paket programında oluşturulmuştur. Bilgisayar programları ile yapılan nümerik incelemelere ek olarak deney numuneleri ve deney düzeneği hazırlanarak, gerilme dağılımı deneysel olarak incelenmiştir.

7.2. Yapılan Çalışmalar

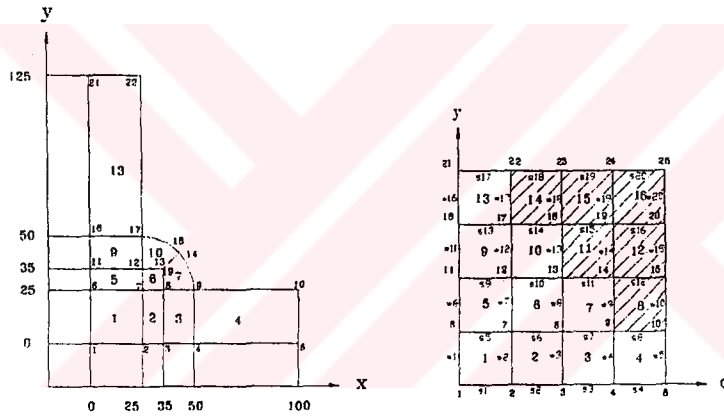
7.2.1. Hazırlanan Özel Bilgisayar Programı İle Gerilme Analizi

Kaynak formunun incelenmesi için özel bir mesh (ağ oluşturma) programı hazırlanmıştır. Hazırlanan veri dosyaları ile kaynaklı parçalar bölümlere ayrılmıştır. Bu bölümler de istenilen sayıda alt bölümlere ayrılabilir. Kaynak bölgesinin hassas bir biçimde incelenmesi için bu bölgedeki bölme sayısı ve dolayısıyla incelenecek eleman sayısı artırılmıştır. Program çalıştığında, incelenecek elemanlara ve bu elemanların köşe noktalarına sıra ile numaralar verilmektedir. Programda üç veya dört düğüm noktalı elemanlar kullanılabilir. Eğrisel yüzeylerin incelenmesinde üç düğüm noktalı (üçgen) elemanların kullanılması ile daha hassas sonuçlar elde edilmektedir. Bunun sebebi eğrisel yüzeylerde hesaba katılmayan alanların daha az olmasıdır. Programa veri olarak; elemanların tipi (üçgen yada dörtgen eleman), alt bölme sayıları, boş bloklar, yatay ve düşey düzlemlerdeki eğrisel kenarların orta nokta koordinatları ve çıktı dosyasının adı verilmektedir.

Mesh programına veri hazırlamak için öncelikle incelenecek parça, ölçekli olarak çizilip ardından kabaca bölümlere ayrılmaktadır. Her bir elemana ve köşe noktalarına birer numara verilerek yeni bir koordinat sistemi tanımlanır ve blok şeması oluşturulur. Blok şemasında da elemanlara, orta noktalarına ve köşelerine numaralar verilmektedir. İncelenen parçada eğrisel kenarlar varsa bu kenarların orta noktalarının yatay veya düşey ekseninde olduğunu anlamak için blok diyagramından yararlanılır. Şekil 7.1'de iç bükey, Şekil 7.2'de dış bükey kaynak dikişli parçalar için blok şemaları gösterilmiştir.



Şekil 7.1. İç bükey kaynak blok şeması

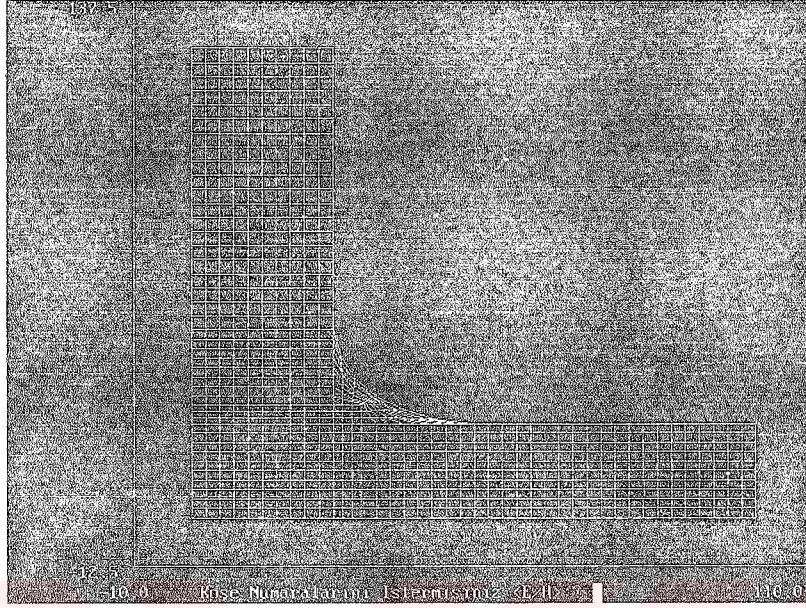


Şekil 7.2. Dış bükey kaynak blok şeması

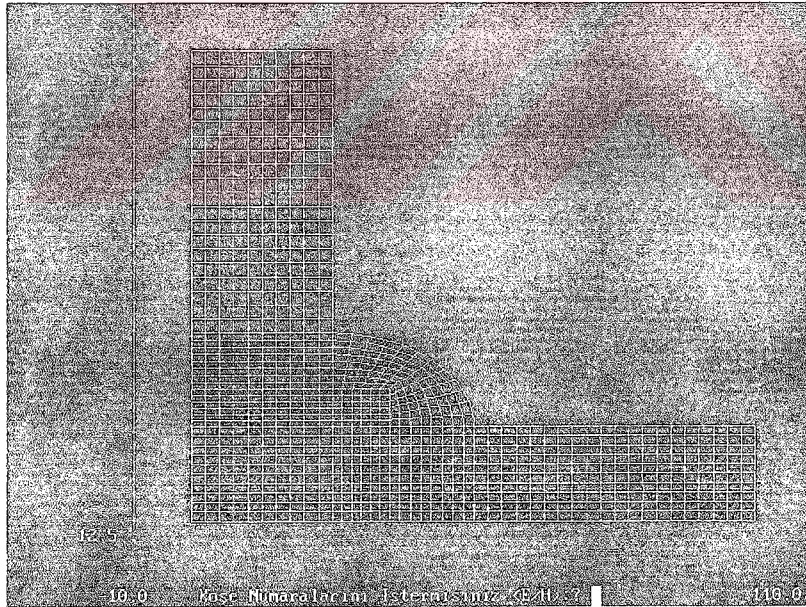
Blok diyagramları oluşturulduktan sonra diyagramdan yararlanarak inceleme yapılacak şekiller için veri dosyaları hazırlanmaktadır.

Mesh programı çalıştırıldıktan sonra oluşturulan çıktı dosyasında; elde edilen eleman sayısı, sistemdeki toplam düğüm noktası sayısı, malzeme numarası, problemin boyutu (1,2,3), her bir elemanın kaç düğümünden oluştuğu ve düğüm noktalarının koordinatları elde edilmektedir.

Yapılan çizim programı ile oluşturulan mesh bilgisayar ekranına çizdirilebilmektedir. Şekil 7.3'de iç bükey, Şekil 7.4'de dış bükey kaynak için oluşturulmuş ağ yapıları gösterilmiştir.



Şekil 7.3. İç bükey kaynak ağ yapısı



Şekil 7.4. Dış bükey kaynak ağ yapısı

Şekillerde dört düğümlü dörtgen eleman kullanılarak oluşturulan ağ yapısı görülmektedir. Kaynak bölgesinde daha hassas inceleme yapmak için bu bölgede ağlar daha sık oluşturulmuştur.

Çizim programı ile hassas inceleme yapılacak yerlerde mesh'in gerçekte sık olup olmadığını tespiti yapılabilmektedir. İkinci olarak oluşturulan mesh ile inceleme bölgesinin kaç adet elemandan oluştuğu ve bu elemanların düğüm noktalarının numaraları görülebilmektedir. Düğüm numaralarının görülebilmesi çok önemlidir. İncelenecek parçalara gelen kuvvetlerin, hangi düğümlere etki ettirileceği ve parçanın sınır koşullarının hangi düğüm noktalarına uygulanacağı belirlenmektedir.

Eğer ekranda çıkan şekilde bozukluk yoksa mesh oluşturma işleminin doğru olarak yapıldığı anlaşılmaktadır. Böylece hızlı bir biçimde inceleme yapmak mümkün olmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme hesaplarının yapılabilmesi için gerekli ilk adım olan mesh oluşturma ve elemanlara numara verme işlemlerinden sonra, inceleme yapılacak parçanın malzeme özellikleri, sınır koşulları ve uygulanacak yüklerin yerlerini belirlemek ve düzenlemek için ayrı bir bilgisayar programı (veri düzenleme programı) yapılmıştır. Bu program çizim programı gibi mesh programının çıktılarını kullanarak çalışmaktadır.

Gerilme hesapları için son program olan gerilme analiz programı, veri düzenleme programının çıktı dosyasını kullanarak çalışır ve istenilen hesapları yaparak sonuçları isteğe bağlı olarak ekrana yada çıktı dosyasına yazar. Sonuçlar oldukça uzun olduğu için ekran yerine çıktı dosyası kullanımı tercih edilmiştir.

Çıktı dosyasında önceki programlarda verilen bilgilerin tamamı ve sistemdeki elemanları oluşturan düğümlerin koordinatları ve numaraları, düğümlerin x ve y yönündeki yer değiştirmeleri, mesnet tepkileri ve elemanlarda oluşan gerilme değerleri bulunmaktadır.

Elde edilen sonuçlardan, inceleme alanındaki elemanlara ait gerilme değerleri seçilip grafik haline getirilmiştir. Gerilme hesapları köşe kaynağında, iç bükey ve dış bükey kaynak formu için yapılmıştır.

7.2.2. Deneysel Çalışma

7.2.2.1. Deney düzeneği

Deneysel çalışmada incelenecek modellere iç bükey ve dış bükey kaynak yapılmış ve kaynak bölgesine strain gaugeler (birim şekil değişim ölçer) yapıştırılmıştır. Deneylerde 3 farklı tip strain gauge kullanılmış ve kalibrasyonlarının yapılabilmesi için deney malzemeleriyle aynı özellikte olan basit bir parça kullanılmış, bu parçaya çekme-basma deney cihazında çeşitli kuvvetler uygulanmıştır. Deneyler için özel olarak tasarlanan bir komütatör, strain gaugelere bağlanmış ve komütatörün diğer uçlarında bilgisayar kontrollü digital bir multimetreye bağlanmıştır. Deney düzeneği Şekil 7.5'de gösterilmiştir.



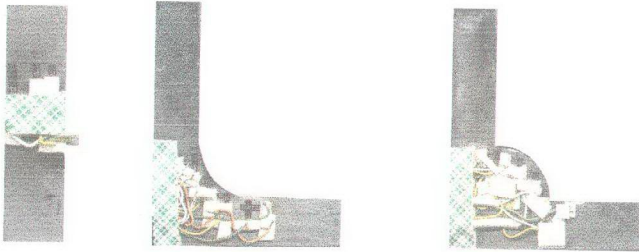
Şekil 7.5. Deney düzeneği genel görünümü

7.2.2.2. Deneyin yapılışı

İç bükey ve dış bükey kaynak edilmiş parçalar, çekme-basma deney cihazında incelemeye alınmıştır. Bilgisayar programlarında, yatay olarak verilen kuvvetleri mevcut deneysel ortamda vermek mümkün olmadığı için parçalara basma kuvveti uygulanmıştır. Deneyler sabit oda sıcaklığında yapılmıştır.

Uygulanan kuvvetlerin etkisiyle parçada oluşan şekil değişimine bağlı olarak strain gaugelerden gelen voltaj değerleri (mili volt) okunmuştur. Okunan bu değerlere bağlı olarak strain gaugeler için kalibrasyon grafikleri çizilmiştir. Elde edilen grafik eğrilerini en uygun tanımlayacak şekilde eğri denklemleri çıkarılmıştır. Strain gaugeler, deney parçalarına yatay ve düşey olarak yapıştırılmıştır. Yatay olanlar yataydaki, düşey olanlar ise düşeydeki şekil değişimini ölçmektedirler.

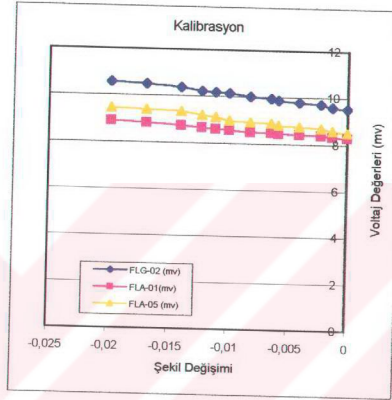
Kalibrasyon parçası, iç bükey ve dış bükey kaynaklı parçalardaki strain gauge pozisyonları Şekil 7.6'da verilmiştir.



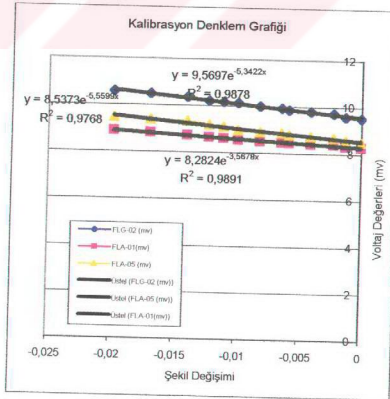
Şekil 7.6. Deney parçalarındaki strain gauge yapıştırma bölgeleri

Dency parçalarına 3 çeşit; büyük, orta ve küçük tip strain gauge yapıştırılmıştır. Büyük tip TML'ye ait FLA-05, orta tip FLA-01 ve küçük tip FLG-02 modelindedir.

Kalibrasyon parçasından elde edilen sonuçlarla Şekil 7.7'de ki grafik ve bu grafikten yararlanılarak Şekil 7.8'de ki kalibrasyon denklem grafiği çizilmiştir.



Şekil 7.7. Kalibrasyon grafiği



Şekil 7.8. Kalibrasyon denklem grafiği

Şekil 7.8'de en uygun eğilim çizgisi oluşturulmuş ve eğri denklemleri alınmıştır. Grafik üzerindeki R^2 değeri eğri denklemlerinin yaklaşımını göstermektedir. Bu değer 1 (bir)'e ne kadar yakın olursa elde edilen denklemde grafik eğrisi o derece iyi tanımlanmış olmaktadır.

7.2.2.3. Strain gauge kalibrasyon denklemleri

Şekil 7.8'den alınan denklemlerden X değerleri çekilerek yeni bir denklem elde edilmiştir. Burada Y değeri okunan voltaj değerini, X ise şekil değişimini vermektedir.

$$\text{FLG-O2} : Y = 9,5697e^{5,3422 X} \rightarrow X = (\ln Y - \ln 9,5697) / 5,3422 \quad (7.1)$$

$$\text{FLA-O1} : Y = 8,2824e^{3,5678 X} \rightarrow X = (\ln Y - \ln 8,2824) / 3,5678 \quad (7.2)$$

$$\text{FLA-O5} : Y = 8,5373e^{5,5599 X} \rightarrow X = (\ln Y - \ln 8,5373) / 5,5599 \quad (7.3)$$

Deney parçasına kuvvet uygulandığında, yatay olarak yapıştırılan herhangi strain gauge için multimetreden okunan voltaj değeri Y değeri olarak kabul edilip, strain gauge modeline göre elde edilen denklemde yerine koyulduğunda hesaplanan değer X doğrultusundaki şekil değişimini (ϵ_x) vermektedir. $\sigma = \epsilon.E$ denkleminde E ve ϵ değerleri yerine yazıldığında σ_x olarak, X doğrultusundaki gerilme değeri bulunmaktadır. Benzer işlemler düşey olarak yapıştırılan strain gaugeler için multimetreden okunan voltaj değeri Y değeri olarak kabul edilip, strain gauge modeline göre elde edilen denklemde yerine koyulduğunda hesaplanan değer Y doğrultusundaki şekil değişimini (ϵ_y) vermektedir. Bu değer $\sigma = \epsilon.E$ denkleminde yerine yazılırsa Y doğrultusundaki gerilme değeri σ_y olarak bulunmaktadır.

7.2.3. Ansys Paket Programı ile Yapılan Çalışmalar

Ansys paket programı ile kaynak formunun gerilme dağılımına etkisini belirlemek için köşe ve alın kaynaklarında iç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için iki ve üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Modeller için Solid 95 eleman tipi kullanılmıştır.

Gerilme analiz programında elde edilen sonuçlar, Ansys de 2 boyutlu modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Ansys paket programından elde edilen sonuçlarda sadece kaynak bölgesi değil tüm parça üzerindeki gerilme dağılımı renkli olarak alınabildiğinden inceleme yapmak daha da kolay olmaktadır.

7.3. Elde Edilen Değerler ve Grafikler

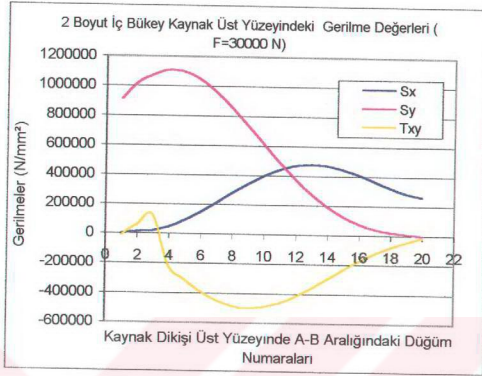
7.3.1. Hazırlanan Özel Bilgisayar Programı Sonuçları

İş parçalarına parça üst bölümünden kaynak dikişinin başlangıcına kadar, yatay kuvvetler uygulanmıştır. Kuvvetlerin etkisini tam olarak parçalara yansıtmak için yatay düzlemde kaynak bölgesi başlangıcından parçaların sonuna kadar olan bölgede sabitlemeler yapılmıştır. Bağlantı noktalarında, yatay ve düşey doğrultudaki deplasmanlar 0 (sıfır) olarak verilmiştir. Şekil 7.9'da İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu gösterilmiştir.

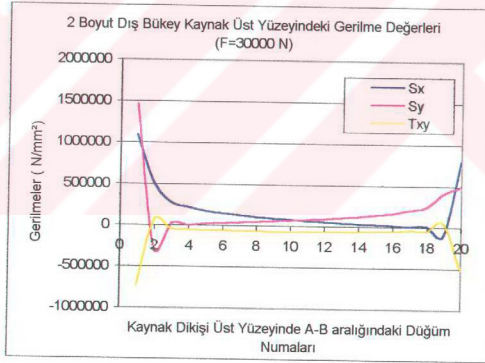


Şekil 7.9. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu

Gerilme analiz programından elde edilen sonuçlar ile inceleme alanı olan kaynak üst yüzey bölgesindeki elemanlara ait gerilme değerleri alınıp, grafikleri çizilmiştir. Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'de yan olarak uygulanan 30000 N luk kuvvet etkisinde oluşan gerilme değerleri verilmiştir. Grafiklerde $S_x = \sigma_x$, $S_y = \sigma_y$, $T_{xy} = \tau_{xy}$ gerilme değerlerini temsil etmektedir.



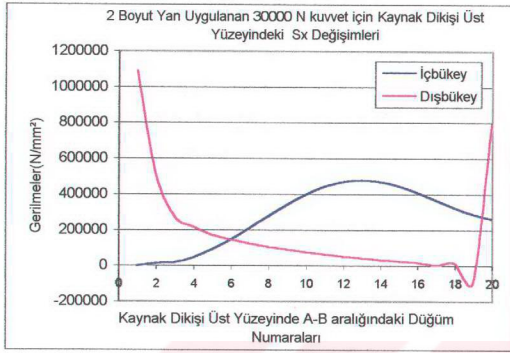
Şekil 7.10. İç bükey kaynak dikişi için gerilme değerleri



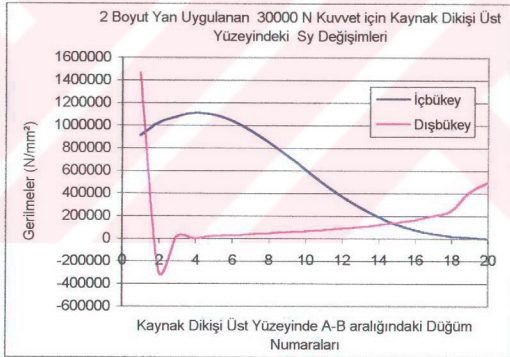
Şekil 7.11. Dış bükey kaynak dikişi için gerilme değerleri

Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'deki grafiklerde σ_x : x doğrultusundaki normal gerilme, σ_y : y doğrultusundaki normal gerilme ve τ_{xy} : Kayma gerilmesini göstermektedir. St 60 için Elastisite modülü, $E = 200000 \text{ N/mm}^2$, ve poisson oranı, $\nu = 0.25$ olarak alınmıştır.

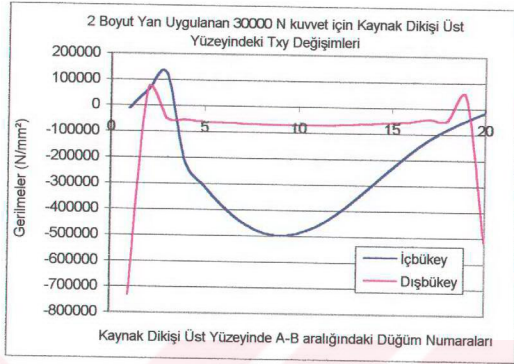
İç bükey ve dış bükey kaynak dikişi için inceleme bölgesinde elde edilen gerilme değerleri, Şekil 7.12, Şekil 7.13 ve Şekil 7.14' de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Kaynak dikişi üst yüzeyindeki σ_x değişimleri



Şekil 7.13. Kaynak dikişi üst yüzeyindeki σ_y değişimleri

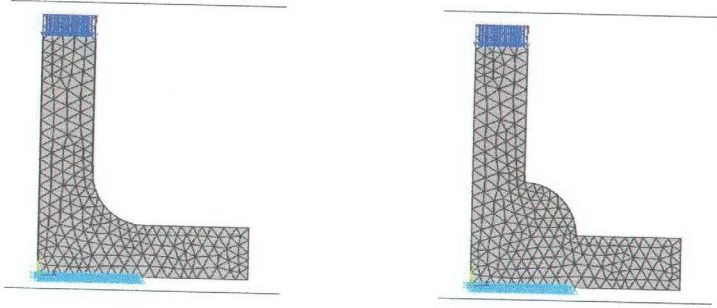


Şekil 7.14. Kaynak dikişi üst yüzeyindeki τ_{xy} değişimleri

Şekil 7.12’de görülebileceği gibi, σ_x değerleri dış bükey kaynağa kaynağın başlangıç ve bitiş bölgelerinde oldukça yüksek değerler almakta iken orta bölgelerde gerilme yok denecek kadar azdır. İç bükey kaynağa kaynağın başlangıcında ve son bölümlerinde gerilme değeri az iken orta bölgede gerilme en yüksek değere ulaşmaktadır. Şekil 7.13’de dış bükey kaynağın için elde edilen σ_y değerlerinde, kaynağın başlangıç bölgesinde yüksek değerlere ulaşılmış sonradan gerilme değeri aniden azalma göstermiş, orta noktalarda sıfır değerine yaklaşmış ancak son bölgelerde ise yine artış göstererek iç bükey kaynağa göre yüksek değere ulaşmıştır. İç bükey kaynağa, başlangıca göre kararlı bir azalma söz konusu olup kaynağın sonunda gerilme sıfıra düşmüştür. Şekil 7.14’de τ_{xy} değerlerine bakıldığında dış bükeyde ve iç bükeyde gerilmelerin büyük bir bölümü (-) negatif değer almakta ancak diğer gerilme çeşitlerinde olduğu gibi dış bükeyde köşelerde, iç bükeyde ise orta bölümlerde gerilme yığılması oluşmakta ve bu bölümlerde gerilmelerin yüksek değerlerine ulaşmaktadır.

7.3.2. DeneySEL Sonuçların ve Ansys Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneylerle, Ansys sonuçları karşılaştırmak için incelenecek parçalara 30000 N’luk basma kuvveti uygulanmıştır. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu Şekil 7.15’de gösterilmiştir. Deney cihazına parçaları bağlama imkanı kısıtlı olduğu için, bağlama parçaların alt bölümünün yarısına kadar yapılmıştır.



Şekil 7.15. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu

30000 N luk basma kuvveti etkisiyle deney parçaları üzerindeki strain gaugelerden okunan voltaj değerleri ve bu değerlerden elde edilen şekil değişim ve gerilme değerleri hesaplanmış ve Ansys den elde edilen değerlerle birlikte Çizelge 7.1’de iç bükey kaynak için Çizelge 7.2’de ise dış bükey kaynak için verilmiştir.

Çizelgelerde verilen uygulanan kuvvet etkisiyle multimetreden okunan voltaj değerleri her strain gauge ye ait Bölüm 7.2.2.3’de verilen kalibrasyon denklemlerinde yerine konarak, şekil değişim değerleri elde edilerek, Bölüm 7.2.2.3’de anlatıldığı gibi gerilme değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere bakıldığında deneysel ve nümerik sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülebilmektedir. Aradaki küçük farklar ise deney ortamından ve dış etkenlerden oluşmaktadır.

Çizelge 7.1. Ansys ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması İç Bükey Kaynak (30000 N Basma)

DENEY SONUCU				ANSYS SONUCU
Strain Gauge	Okunan voltaj (mv)	Şekil Değişimi	Gerilme (N/mm ²)	Gerilme (N/mm ²)
(X1) FLA-05	8,387	$\epsilon_X = -0,0030$	$\sigma_X = -647,508$	$\sigma_X = -637,567$
(X2) FLG-02	9,605	$\epsilon_X = 0,00068$	$\sigma_X = 137,842$	$\sigma_X = 142,719$
(X3) FLG-02	9,657	$\epsilon_X = 0,00169$	$\sigma_X = 339,97$	$\sigma_X = 353,07$
(X4) FLA-05	8,556	$\epsilon_X = 0,00039$	$\sigma_X = 78,706$	$\sigma_X = 88,676$
(Y1) FLA-05	7,176	$\epsilon_Y = -0,0312$	$\sigma_Y = -6248,41$	$\sigma_Y = -6247,52$
(Y2) FLA-01	8,037	$\epsilon_Y = -0,03007$	$\sigma_Y = -1686,01$	$\sigma_Y = -1698,93$
(Y3) FLA-01	8,306	$\epsilon_Y = 0,00077$	$\sigma_Y = 159,50$	$\sigma_Y = 170,755$
(Y4) FLA-05	8,566	$\epsilon_Y = 0,00060$	$\sigma_Y = 120,724$	$\sigma_Y = 124,315$

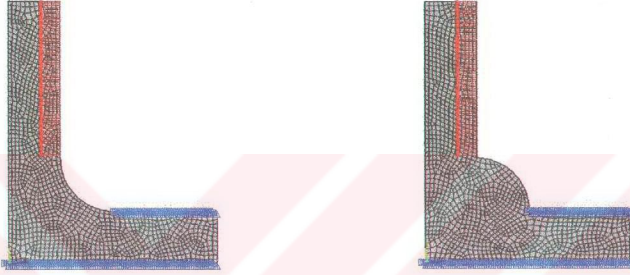
Çizelge 7. 2. Ansys ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması Dış Bükey Kaynak (30000 N Basma)

DENEY SONUCU				ANSYS SONUCU
Strain Gauge	Okunan voltaj (mv)	Şekil Değişimi	Gerilme (N/mm ²)	Gerilme (N/mm ²)
(X1) FLA-05	8,518	$\epsilon_X = -0,0004$	$\sigma_X = -81,41$	$\sigma_X = -94,468$
(X2) FLG-02	9,618	$\epsilon_X = 0,0009$	$\sigma_X = 176,80$	$\sigma_X = 190,463$
(X3) FLG-02	9,605	$\epsilon_X = 0,0007$	$\sigma_X = 137,843$	$\sigma_X = 150,332$
(X4) FLG-02	9,585	$\epsilon_X = 0,0003$	$\sigma_X = 79,331$	$\sigma_X = 75,785$
(X5) FLA-05	8,513	$\epsilon_X = -0,0005$	$\sigma_X = -102,53$	$\sigma_X = -113,874$
(Y1) FLA-05	7,722	$\epsilon_Y = -0,0180$	$\sigma_Y = -3378,38$	$\sigma_Y = -3600$
(Y2) FLA-01	8,289	$\epsilon_Y = 0,0002$	$\sigma_Y = 37,88$	$\sigma_Y = 50,228$
(Y3) FLA-01	8,362	$\epsilon_Y = 0,0027$	$\sigma_Y = 536,765$	$\sigma_Y = 558,051$
(Y4) FLA-01	8,464	$\epsilon_Y = 0,0061$	$\sigma_Y = 1215,82$	$\sigma_Y = 1234,67$
(Y5) FLA-01	8,656	$\epsilon_Y = 0,0025$	$\sigma_Y = 496,69$	$\sigma_Y = 516,458$

7.3.3. Ansys Paket Programından Elde Edilen Değerler

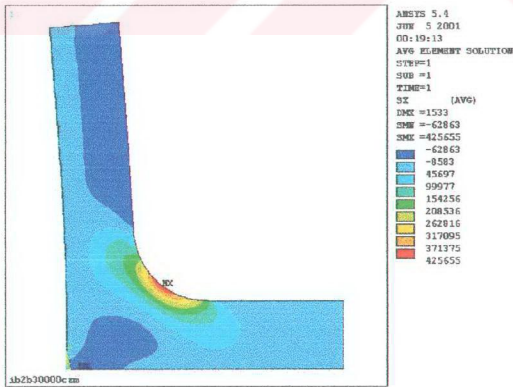
7.3.3.1. İki boyutlu çalışmalardan elde edilen değerler

İki boyutlu çalışmalarda Şekil 7.16'da iç bükey ve dış bükey kaynak dikişi için bağlantı noktaları ve kuvvetlerin uygulanışı gösterilmektedir.

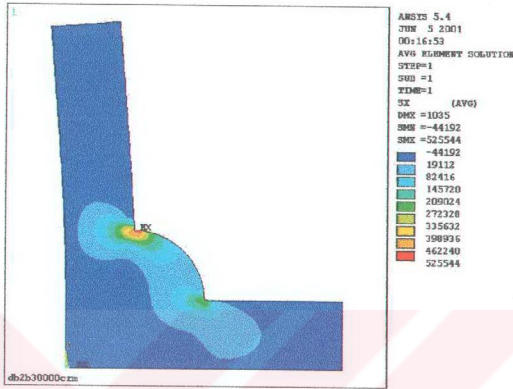


Şekil 7.16. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu

İç bükey ve dış bükey kaynak için Şekil 7.17 ve Şekil 7.18'de σ_x dağılımları (yatay uygulanan 30000 N kuvvet için) verilmiştir.



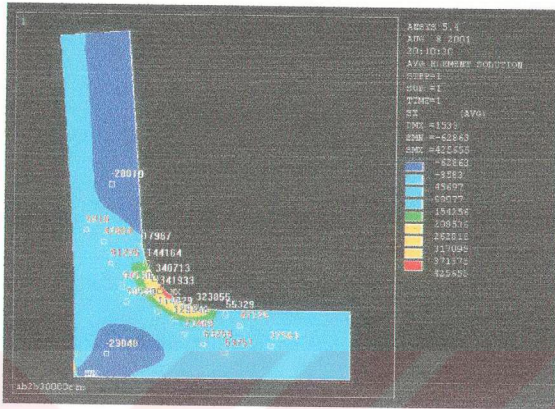
Şekil 7.17. İç bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımı



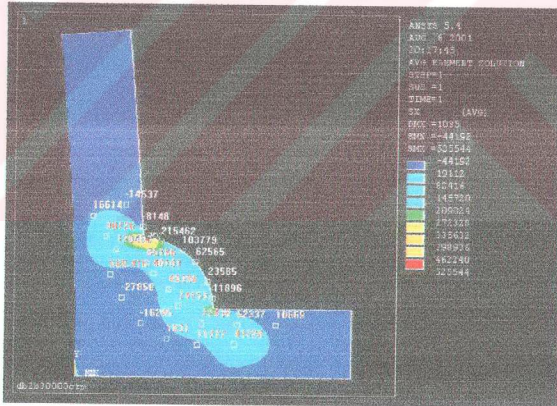
Şekil 7.18. Dış bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımı

Şekil 7.17'deki iç bükey kaynakta en büyük gerilme orta bölümde olmaktadır. Diğer bölümlerde simetrik olarak gerilme azalmaktadır. Şekil 7.18'deki dış bükey kaynakta ise en büyük gerilme kaynak bölgesinin üst yüzeyinde ve inceleme noktasının başlangıcında (köşelerde) olmaktadır. İnceleme yüzeyi sonunda ise yine gerilme değerinde artış olmaktadır. Köşelerde maksimum gerilmelerin olması ve bu noktalarda çentik etkisi olması konstrüktif olarak istenmeyen bir durumdur. Çentik etkisi olan bu noktalarda gerilmelerin düşük olması daha uygun olacağından, bu yükleme durumu için iç bükey kaynağın daha uygun olduğu söylenebilir. Dış bükey kaynak durumunda gerilmelerin büyük olduğu köşe noktalarında çatlak oluşabilir. Bu da parçanın kırılmasına yol açar.

Kaynak bölgesi gerilme dağılımını daha iyi görmek için kaynak bölgesi üzerindeki σ_x değerleri Şekil 7.19 ve Şekil 7.20'de gösterilmiştir.

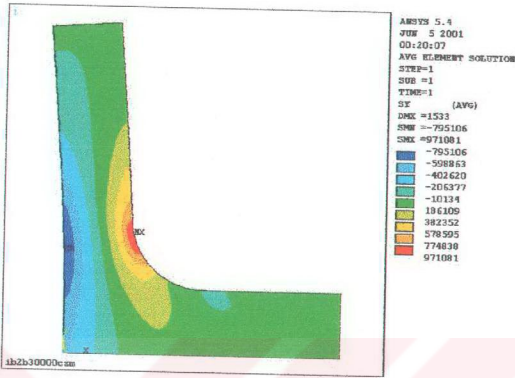


Şekil 7.19. İç bükey kaynak dikişinde σ_x değerleri

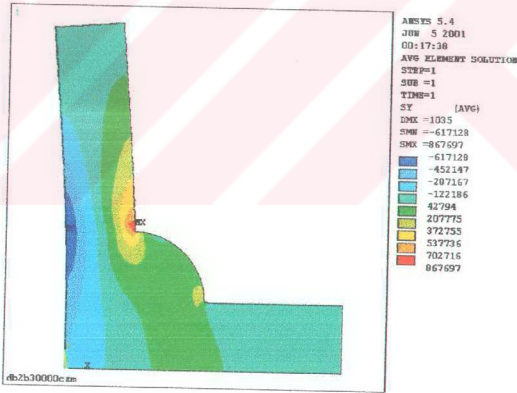


Şekil 7.20. İç bükey kaynak dikişinde σ_y değerleri

Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de σ_y dağılımları (yatay uygulanan 30000 N kuvvet için) verilmiştir



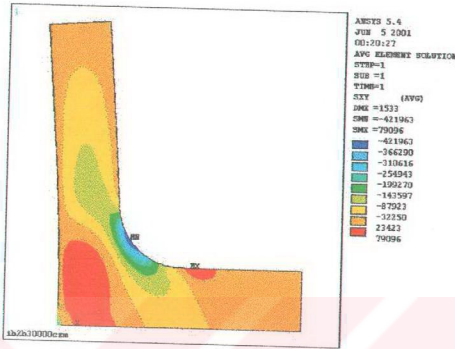
Şekil 7.21. İç bükey kaynak dikişinde σ_y Dağılımı



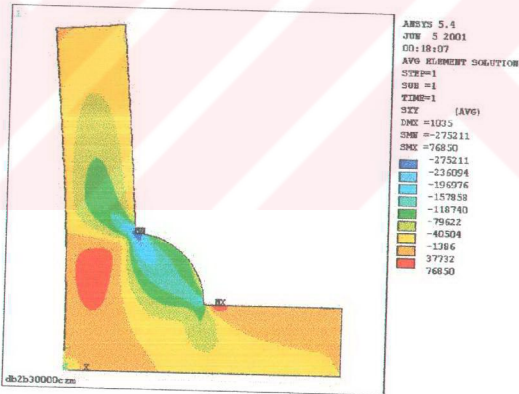
Şekil 7.22. Dış bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımı

Şekil 7.21'de İç bükey kaynakta yine orta bölümde, gerilme en büyük değeri almıştır, Şekil 7.22'de gösterilen dış bükey kaynak dikişinde başlangıç bölümünde en büyük değer gözlenmektedir.

Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'de τ_{xy} dağılımları (yatay uygulanan 30000 N kuvvet için) verilmiştir



Şekil 7.23. İç bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımı



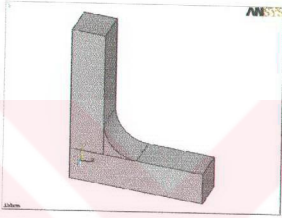
Şekil 7.24. Dış bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımı

Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'de inceleme bölgesindeki gerilme değerleri (-) negatif olmasına rağmen iç bükeyde ortada dış bükeyde ise kenarlarda gerilme yığılması oluşmuştur.

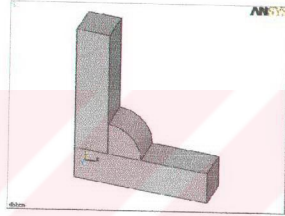
7.3.3.2. Üç Boyutlu Çalışmalardan Elde Edilen Değerler

7.3.3.2.1. Köşe kaynağı değerleri

3 boyutlu yapılan çalışmalarda Ansys de modeller üç boyutlu olarak oluşturulmuş ve parça kalınlıkları 25 mm olarak alınmıştır. Şekil 7.25 ve Şekil 7.26'da 3 boyutlu oluşturulmuş modeller gösterilmiştir.

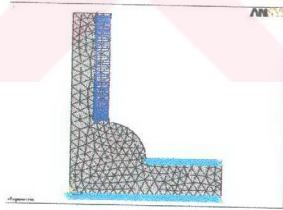
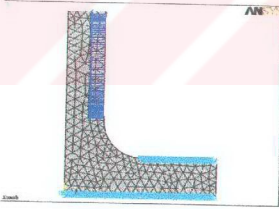


Şekil 7.25. İç bükey kaynak modeli



Şekil 7.26. Dış bükey kaynak modeli

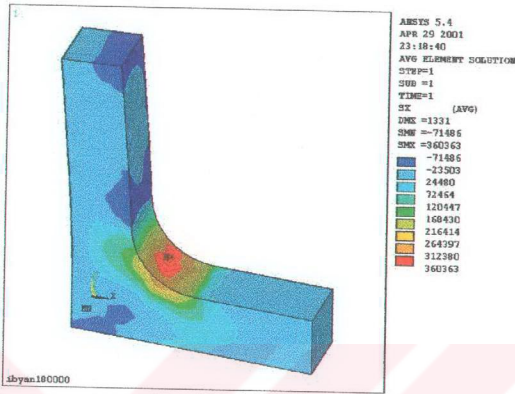
Şekil 7.27'de 3 boyutlu durum için bağlantı noktaları ve yükleme durumu gösterilmiştir.



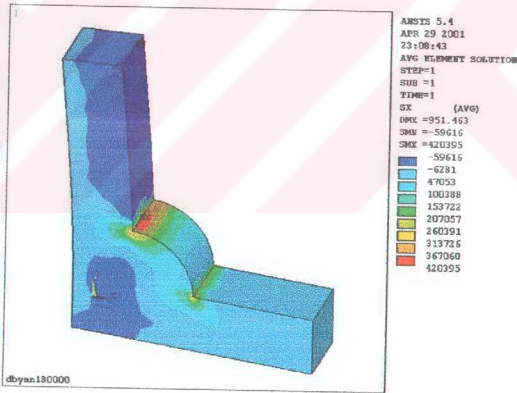
Şekil 7.27. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu

Modeller oluşturulduktan sonra elastik bölgede inceleme yapıldığından akma sınırını geçmeyecek şekilde kuvvetler seçilmiştir. İş parçalarına 180000 N'luk kuvvet uygulanmıştır.

Şekil 7.28 ve Şekil 7.29'da, iç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için üç boyutlu elde edilen σ_x değerleri verilmiştir.



Şekil 7.28. İç bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları

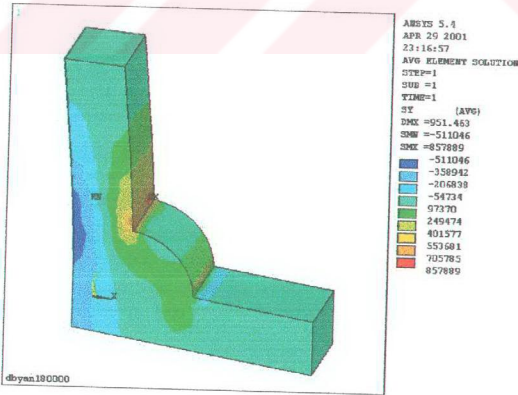
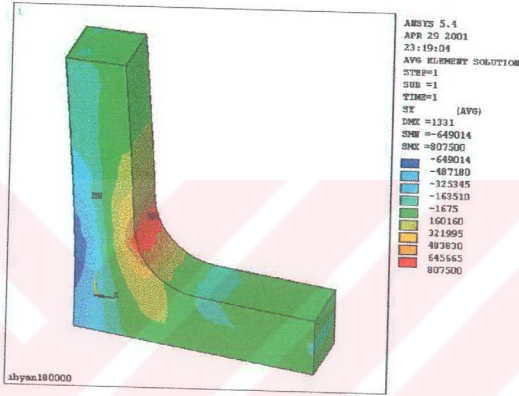


Şekil 7.29. Dış bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları

Şekil 7.28'de görüldüğü gibi gerilme, kaynak bölgesinin orta noktasında en büyük değeri almaktadır. Kenarlara doğru ise simetrik olarak azalma söz konusudur. Şekil 7.29'da ise en büyük gerilmeler inceleme bölgesinin baş ve son bölümünde, köşelerde görülmektedir. Gerilme değerlerine bakıldığında, dış bükey kaynakta değerlerin oldukça yüksek olduğu ve küçük bir

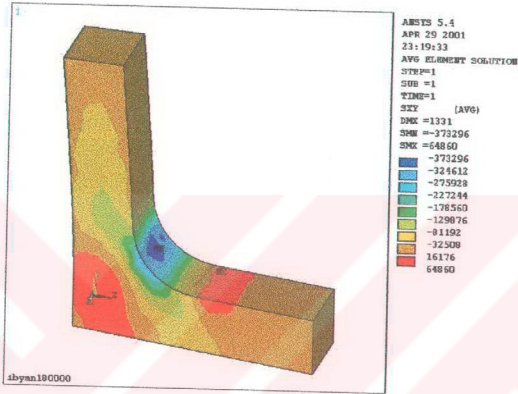
bölgede gerilmenin yığıldığı bununla çentik etkisini artıracağı görülebilmektedir. İç bükey kaynakta gerilme değerlerinin orantılı ve dengeli bir şekilde oluştuğu ve maksimum gerilmenin dış bükey kaynağa göre düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 7.30 ve Şekil 7.31'de σ_y dağılımları verilmiştir.

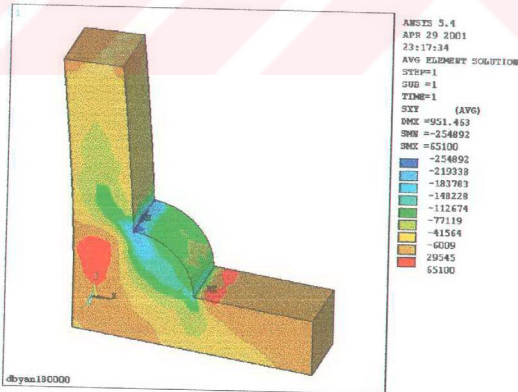


σ_y dağılımlarına bakıldığında iç bükeyde orta noktada dış bükeyde ise yine kenar bölgelerde, köşelerde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

Şekil 7.32 ve Şekil 7.33'de τ_{xy} dağılımları verilmiştir.



Şekil 7.32. İç bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımları



Şekil 7.33. Dış bükey kaynak dikişinde τ_{xy} dağılımları

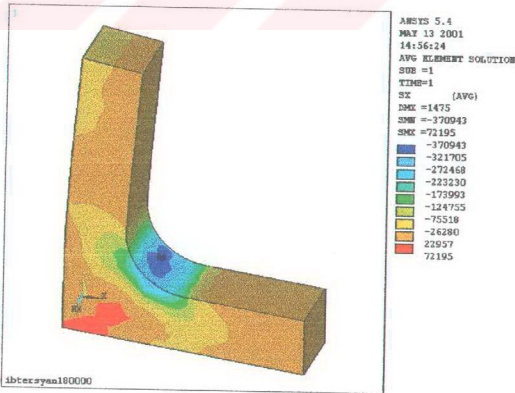
Şekillerden görüleceği gibi inceleme bölgelerinde gerilmeler (-) negatif değer almakta iç bükeyde düzgün dağılım söz konusu iken dış bükeyde dengesiz bir dağılım olduğu ani artış ve azalmaların olduğu görülebilmektedir.

Şekil 7.34'de üç boyutlu modellere ters yönde uygulanan kuvvetler ve bu yükleme durumu için bağlantı noktaları gösterilmiştir.

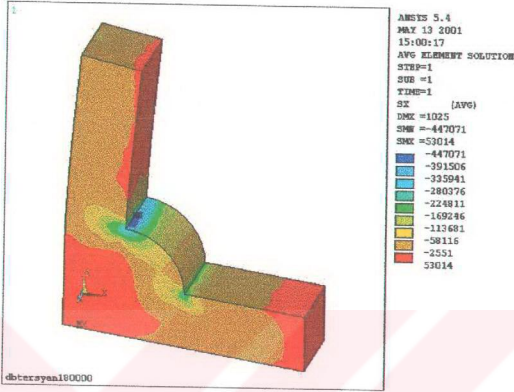


Şekil 7.34. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu

Parçalara uygulanan kuvvetin doğrultusu değiştiğinde gerilme dağılımının değişimini incelemek için, Şekil 7.34'de gösterildiği gibi kuvvet yönü değiştirilmiştir. Şekil 7.35 ve Şekil 7.36.'da yatay uygulanan 180000 N kuvvet için elde edilen σ_x dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 7.35. İç bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları

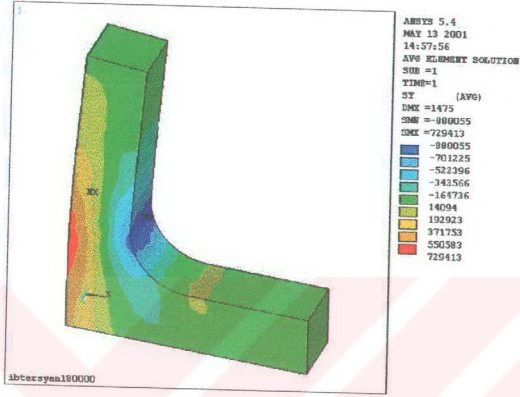


Şekil 7.36. Dış bükey kaynak dikişinde σ_x dağılımları

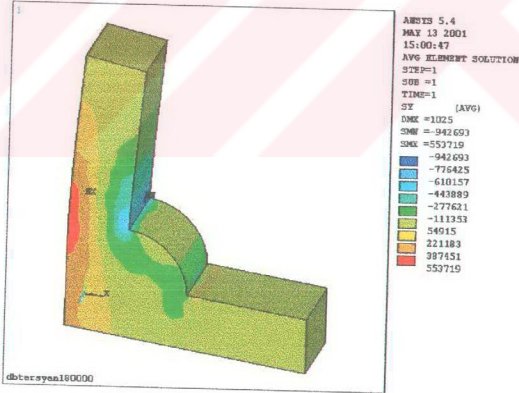
Şekillerden görülebileceği üzere kaynak bölgesindeki gerilmeler negatif (-) değer almaktadır yani bu bölgelerde basma gerilmesi oluşmaktadır. Şekil 7.35’de gerilme, kaynak bölgesinin orta noktasında en büyük değeri almaktadır. Kenarlara doğru ise simetrik olarak azalma söz konusudur. Şekil 7.36’da ise en büyük gerilmeler inceleme bölgesinin baş ve son bölümünde, köşelerde görülmektedir. Gerilme değerlerine bakıldığında, dış bükey kaynakta değerlerin oldukça yüksek olduğu ve küçük bir bölgede gerilmenin yığıldığı bununla çentik etkisini artıracak görülebilmektedir. İç bükey kaynakta gerilme değerleri orantılı ve dengeli bir şekilde oluşmuş ve maksimum gerilmenin dış bükey kaynağa göre düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 7.27’de gösterilen yükleme durumuna ait elde edilen gerilme değerleri incelendiğinde, Şekil 7.34’de gösterilen yükleme durumuna ait elde edilen değerlerin simetrik olduğu görülebilmektedir. Şekil 7.27’deki durumda kaynak dikişi çekmeye, Şekil 7.34’deki durumda ise basmaya zorlanmaktadır.

Şekil 7.37 ve Şekil 7.38'de σ_y dağılımları gösterilmiştir.



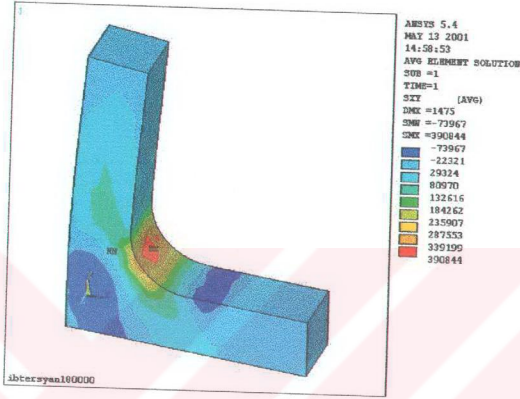
Şekil 7.37. İç bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımları



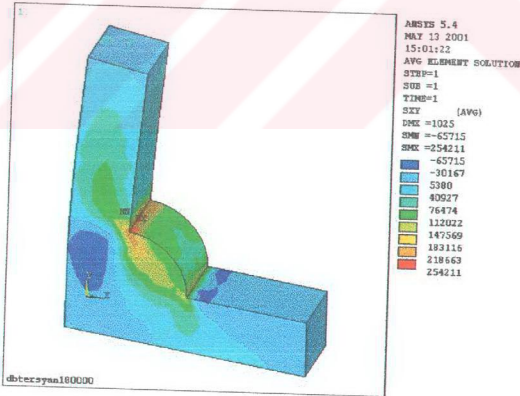
Şekil 7.38. Dış bükey kaynak dikişinde σ_y dağılımları

Şekil 7.37 ve Şekil 7.38'e bakıldığında maksimum gerilmelerin kuvvetin uygulandığı bölümlerde olduğu görülmekte ve kaynak bölgesinde ise gerilmeler negatif (-) değer almaktadır. Maksimum gerilme kuvvetin uygulandığı bölümün altında minimum gerilme ise kaynak dikişi üst yüzeyinde oluşmaktadır.

Şekil 7.39 ve Şekil 7.40'da τ_{xy} dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 7.39. İç bükey kaynak dikişi τ_{xy} dağılımları



Şekil 7.40. Dış bükey kaynak dikişi τ_{xy} dağılımları

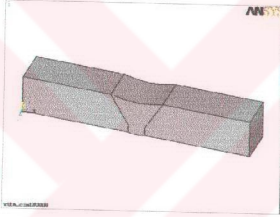
Şekil 7.39 ve Şekil 7.40'da görülebileceği gibi kaynak bölgesinde gerilme değerleri Pozitif (+) değer almaktadır. Gerilme değerleri dış bükey kaynak için daha düşük olarak

çıkmaktadır. Kuvvetin uygulanış doğrultusu değiştiğinde, konstrüksiyona bağlı olarak gerilme değerleri de değişmektedir.

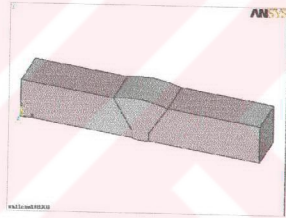
7.3.3.2.2. Alın kaynağı değerleri

Alın kaynağında gerilme dağılımının incelenmesinde kaynak dikişinin iç bükey ve dış bükey olması durumları karşılaştırılmıştır.

Şekil 7.41 ve Şekil 7.42'de ki gibi 3 boyutlu modeller kullanılmıştır. Model oluşumundan sonra meshler oluşturulmuş, sınır koşulları ve parçalara çekme kuvveti uygulanmış, malzeme özellikleri verilerek sonuçlar alınmıştır.

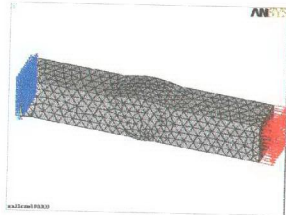
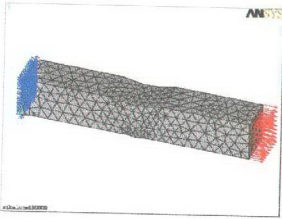


Şekil 7.41. İç bükey kaynak modeli



Şekil 7.42. Dış bükey kaynak modeli

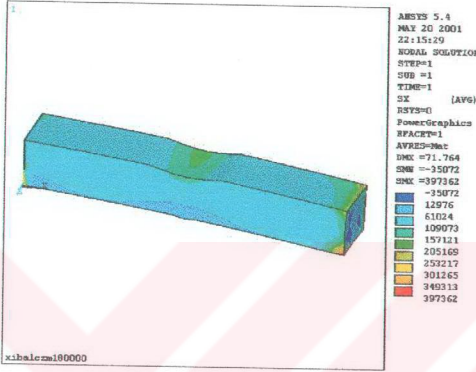
Modellerin mesh yapısı ve sınır koşulları ve kuvvetlerin uygulanış doğrultusu Şekil 7.43'de verilmiştir.



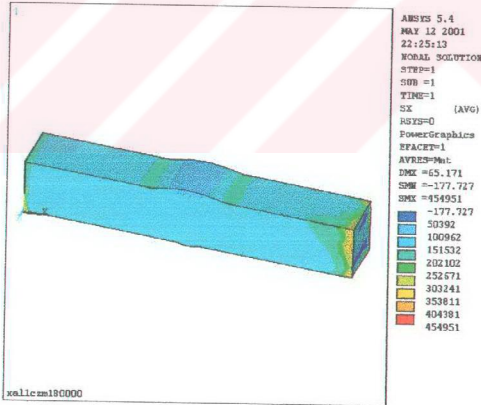
Şekil 7.43. İç bükey ve dış bükey kaynak dikişleri için bağlantı noktaları ve yükleme durumu

Modellere 180000 N değerinde çekme kuvveti uygulanmış ve elde edilen gerilme değerleri alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Şekil 7.44 ve Şekil 7.45'de σ_x değerleri verilmiştir. Parçalara çekme kuvveti uygulandığı için kaynak şeklinin incelenmesinde σ_x değerlerine öncelik verilmiştir.



Şekil 7.44. İç bükey kaynak dikişi σ_x dağılımı



Şekil 7.45. Dış bükey kaynak dikişi σ_x dağılımı

Şekillere bakıldığında dış bükey kaynak dikişine sahip parçada gerilme değerlerinin, iç bükey kaynaklı parçaya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Parçalara çekme kuvveti uygulandığı için σ_x değerlerinin değişimi dikkate alınmıştır.

Dış büksey kaynak dikişinin kenarlarında maksimum gerilmelerin oluştuğu ve bu değerlerin iç büksey kaynak dikişine göre daha büyük olduğu görülebilmektedir. Dış büksey kaynakta kesit büyümesine rağmen daha büyük gerilmeler oluşmaktadır.

Kaynak kesiti incelendiğinde elde edilen gerilme değerlerinin dış büksey kaynak dikişinde daha büyük olduğu görülebilmektedir. Bu durumda alın kaynağında da iç büksey kaynağın daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Dış büksey kaynak kullanılması durumunda gerilme değerlerini azaltmak için kaynak dikişindeki tümsek kısmın düzeltilmesi yararlı olacaktır.



8. TARTIŞMA VE SONUÇ

1-) Köşe kaynağında içten dış doğru kuvvet uygulanması durumunda (Şekil 7.27), dış bükey kaynak dikişinde, dikişin başladığı köşe noktalarda maksimum gerilmelerin oluştuğu belirlenmiştir. Çentik etkisinin olacağı bu noktalarda gerilmelerin maksimum olması uygun olmayacağından, bu tip yükleme durumu için iç bükey kaynak dikişinin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

2-) Köşe kaynağında dıştan içe doğru kuvvet uygulanması durumunda (Şekil 7.34), kaynak bölgesinde basma gerilmesi oluşmakta ve gerilme değerleri negatif (-) değer almaktadır. Dış bükey kaynak dikişinde, dikişin başladığı köşe noktalarda maksimum gerilmelerin oluştuğu belirlenmiştir. Çentik etkisinin olacağı bu noktalarda gerilmelerin maksimum olması uygun olmayacağından, bu tip yükleme durumu için iç bükey kaynak dikişinin tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

3-) Alın kaynağında, kaynak dikişi çekmeye zorlandığında dış bükey kaynak dikişinin kenarlarında maksimum gerilmelerin oluştuğu ve bu değerlerin iç bükey kaynak dikişinde oluşan gerilme değerlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Dış bükey kaynağa kesit büyümesine rağmen daha büyük gerilmeler oluşmaktadır. Kaynak kesiti incelendiğinde elde edilen gerilme değerlerinin dış bükey kaynak dikişinde daha büyük olduğu görülebilmektedir. Bu durumda alın kaynağında da iç bükey kaynağın daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Dış bükey kaynak kullanılması durumunda gerilme değerlerini azaltmak için kaynak dikişindeki tümsek kısmın düzeltilmesi yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- 1-) ANSYS Modeling, Meshing, and Operation Guide Release 5.6, 2000.
- 2-) Bathe K. J., "Finite Element Procedures in Engineering Analysis.", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.
- 3-) Bengisu, Ö., "Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri Cilt1" İstanbul, 1991.
- 4-) Bussemaker. H., "Fesa Win Finite Element Stress Analysis Program" American Society of Mechanical Engineers- CIME, v122 i7 p22, July 2000.
- 5-) Chandrupatla, T. R., Belegundu, A. D., "Introduction to Finite Elements in Engineering.", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- 6-) Chin, C.K., Bermami, A.L., Faris, G.A., Kitipornchai, S., "Finite Element Method for Buckling Analysis of the Plate Structures." Journal of Structural Engineering. V 119 n4 p1048(21), April 1993.
- 7-) Çimen, M.Ş. "The Investigation of Stress Distribution in The Sheet Metals in Resistance Spot Welding By Using Numerical Methods.", Proceeding of The Symposium on Mechanics of Solids and Structures, CSME'98 Forum, V2, PP244-249, Toronto, Ontario, Canada, 1998.
- 8-) Çimen, M. Ş., "The Investigation of Contact Resistance in Resistance Spot Welding by Using Numerical and Experimental Methods.", Ph.D. Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 1994.
- 9-) Ergatoudis, I., Irons, B.M., Zienkiewicz, O. C., "Curved, Isoparametric, 'Quadrilateral' Elements For Finite Element Analysis." Civil Engineering Division, University of Wales, Swansea, 1968.
- 10-) Gau, W.H., Shabana, A. A., "Use of the Finite Elements Method in the Analysis of Impact-Induced Longitudinal Waves in Constrained Elastic Systems." Journal of Mechanical design, v117 n2 p336, June 1995.
- 11-) Henshow, D.W., Babuska, I., "Modeling, Mesh Generation Adaptive Numerical Methods Partial Differential Equations.", Springer – Verlag, 1992.
- 12-) Lee, C.H., Kobayashi, S., "Elastoplastic Analysis of Plane-Strain and Axisymmetric Flat Punch Indentation By The Finite-Element Method." Division of Mechanical Design, Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, California, 1969.
- 13-) Lo, S.H., " A New Mesh Generation Scheme for Arbitrary Planar Domains" Journal of Numerical Methods in Engineering. vol21 1403-1426, Dec 1985.
- 14-) Matsunaga. H., "Vibration and Stability of Thick Plates on Elastic Foundations" Journal of Engineering Mechanics, v126 p27, Jan 2000.
- 15-) Nath, B., "Fundamentals of Finite Element for Engineers.", The Athlone Publishers, London, 1993.

- 16-) Owen, D.R.J., Salenent, E.M., "Three-Dimensional Elasto-Plastic Finite Element Analysis." Helsinki University of Technology, Helsinki, Dec 1973.
- 17-) Topçu, Muzaffer., Taşgetiren Süleyman., "Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu.", Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 1999.
- 18-) TML Strain Gauge Kataloğu, 2000.
- 19-) Yamada, Y., Yoshimura, N., Sakurai, T., "Plastic Stress-Strain Matrix And its Application For The Solution Of Elastic-plastic Problems By The Finite Element Method." The Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo, 1967.
- 20-) Yamagushi, E., Kanok, W.N., Hammadeh, M., Kubo, Y., "Simple Degenerate Formulation for Large Displacement Analysis of Beams." Journal of Engineering Mechanics, v125 p1140(7), Oct 1999.
- 21-) Zienkiewicz, O. C., Valliappant, S., King, I.P., "Elasto-Plastic Solutions of Engineering Problems 'Initial Stress' Finite Element Approach." Journal of Numerical Methods in Engineering. Vol I 75-100, May 1969.
- 22-) Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method.", Ed. McGraw-Hill, New York, 1985.

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sinan AYDIN
Baba Adı : İbrahim
Doğum Yeri : Sivas
Doğum Tarihi : 13 / 11 / 1975

İlk ve orta öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 1997 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1997-1998 arasında 6 ay Estaş A.Ş. de çalıştı. 1998 yılında C.Ü. Fen Bil. Enstitüsünde yüksek lisans çalışmalarına başladı. 1998 yılında C.Ü. Kangal M.Y.O.'da Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevine devam etmektedir.

Adres: Cumhuriyet Üniversitesi
Kangal Meslek Yüksekokulu
SİVAS