

# FARKLI METALLERİN KAYNAĞINDA GERİLME YIĞILMALARININ İNCELENMESİ

**Ayhan ÇELİK\***, **Adnan ÖZEL\***, **Süleyman KARADENİZ\*\***

\*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Erzurum

\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir

## ÖZET

Aynı konstrüksiyon üzerinde kullanılan birbirinden farklı özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesinin gerekliliği bazı problemler ortaya koymaktadır. Kaynak teknolojisinin gelişmesiyle farklı metaller belirli şartlar altında kaynatılabilmektedir. Bu çalışmada dökme demir ile çelik malzemesinin birleştirilmesi ele alınmıştır. Bu malzemelerin birleştirilmesinde genellikle nikel elektrodlar kullanılmaktadır. Bu durumda kaynak bölgesinin yapısı homojen değildir, çünkü kaynak metali ve esas metaller farklı bileşimdedirler. Bu farklı yapı, yük altında, malzeme uyumsuzluğu sebebiyle kaynak bölgesinde gerilme yığılmalarına neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu durum, V ve X kaynak ağızlı birleştirmeler için sonlu elemanlar metoduyla araştırılarak, gerilme yığılmalarının dağılımı incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Farklı metallerin kaynağı, Gerilme yığılması

## THE EXAMINING OF STRESS CONCENTRATION IN THE WELDING OF DISSIMILAR METALS

### ABSTRACT

In the necessity of dissimilar materials having different characteristic used on the same construction brings up some problems. With the developing of welding technology, dissimilar metals can be welded under certain conditions. In this study, the joining of cast iron with steel material has been examined. Nicel electrods are usually used in this materials joining. In this situation, the site of welding structure is not homogenous, because welding metal and parent metals are at different concentration. Because of the material discord, this different structure under load causes more concentration of stress at the welding site. Therefore, the concentration of stress has been determined by studying finite element method for V and X welding-edged joining.

**Key Words:** Dissimilar welding, Stress concentration

### 1. GİRİŞ

Dökme demir ile çeliğin kaynağı imalat parçalarının birleştirilmesi farklı metallerin kaynağına örnek teşkil eder. İmalat esnasında başta ekonomikliği ve dökme demir ile çeliğin avantajlarının bir arada kullanılması açısından oldukça yararlıdır. Kırılmış

parçaların tamirinde de önemli yer tutar. Bu sebeple dökme demir ve çelik kaynağı önemli ölçüde kullanılmaktadır.

Farklı metallerin kaynağı konusunda yapılan çalışmalar daha çok paslanmaz çeliklerle, düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı konusunda yoğunlaş-

maktadır. Farklı metallerin kaynağı konusunda, paslanmaz çelik ile düşük alaşımlı ferritik çeliklerin kaynağının nasıl yapılacağını ve seçilecek elektroda göre kaynak bölgesi yapısının nasıl olacağını detaylı bir şekilde incelenmiştir (Anık, 1988). Tekelioğlu ve ark. (1992), yapıştırıcı bindirme bağlantılarında gerilme dağılımını araştırmış, ayrıca bindirme köşe kaynağı bağlantısında gerilme dağılımını incelemiştir. Sundereson ve Murti, (1993) alüminyum ve paslanmaz çeliği sürtünme kaynağı ile birleştirmişlerdir. İki malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri farklı olduğundan, oluşabilecek problemler için optimum parametreler belirlenmiştir (Sundereson, S., ve Murti, K.G.K., 1993).

Dökme demir ile çeliğin kaynak edilmesinde, çeliğin kaynağında önemli bir zorluk yoktur, fakat dökme demirlerin kaynağı bazı nedenlerden dolayı oldukça zordur. Dökme demir-çelik kaynağının başarılı olabilmesi için, dökme demir kaynağının nasıl yapılacağını iyi bilinmesi gerekir. Dökme demirlerin kaynağı konusunda çeşitli kaynaklarda geniş bilgiler bulunmaktadır (Anık ve ark., 1991; Oğuz, 1989). Bu kaynaklarda, dökme demir kaynağının nasıl yapılacağı, elektrod seçimi, kaynak işlemi ve kaynak sonrası ortaya çıkan sorunlar ve giderilme önlemleri geniş olarak anlatılmaktadır.

Bu çalışmada gri dökme demir (DDL12) ile genel imalat çeliğinin (St 37) kaynağı incelenmiştir. Dolgu malzemesi olarak saf nikel (BÖHLER FOX GNİ) nikel kaynak elektrodu seçilmiştir. Bu birleştirmeye uygun olarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve farklı metallerin kaynağında uyumsuzluktan doğan gerilme yığılmaları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

## 2. SONLU ELEMAN MODELİ

Problem bir levha problemi olarak alındığı için düzlem gerilme söz konusudur. Bu durumda sistemdeki bir düğümün yer değiştirmesinin x ve y doğrultusunda iki bileşeni (u,v) vardır. Buna göre serbestlik derecesi 2 olmaktadır. Düzlem gerilme probleminde interpolasyon fonksiyonundan hareketle koordinatlar ve yer değiştirmeler şöyledir.

$$x = \sum_{i=1}^n N_i \cdot x_i \quad y = \sum_{i=1}^n N_i \cdot y_i \quad (1)$$

$$u = \sum_{i=1}^n N_i \cdot u_i \quad v = \sum_{i=1}^n N_i \cdot v_i \quad (2)$$

$N_i$  şekil fonksiyonları olmak üzere, n düğüm sayısını, I düğüm numarasını göstermektedir. Buradan şekil değiştirmeler,

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (3)$$

olmak üzere;

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon_x \ \epsilon_y \ \gamma_{xy}\}^T = [B] \{\delta\}; \{\delta\} = \left\{ \begin{matrix} u_e \\ v_e \end{matrix} \right\} \quad (4)$$

dır. Burada  $\{\delta\}$ , düğüm yer değiştirmeleri ve  $[B]$  şekil fonksiyonlarının türevlerinden oluşan bir matrisi göstermektedir.

Gerilme vektörü ise,

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\} = [D] [B] \{\delta\} \quad (5)$$

denklemleri ile bulunur. Burada

$$\{\sigma\} = \{\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_{xy}\}^T$$

şeklinde gerilme vektörü ve  $[D]$  simetrik elastisite matrisidir.

Düzlem gerilme için;

$$D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{vmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{vmatrix} \quad (6)$$

şeklinde. Burada E elastisite modülü, poisson oranıdır. Problemimiz farklı metallerden oluştuğu için, her farklı metalin bulunduğu düğümde E ve değişmektedir. Tablo 1'de dökme demir, RSt37-2 ve nikel elektrodun E ve  $\nu$  değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Dökme demir, RSt37-2 çelik ve nikelin E ve  $\nu$  değerleri

	Dökme Demir	RSt37-2	Nikel
E(GPa)	100	210	198
$\nu$	0.25	0.3	0.31

Geçiş bölgelerinde nikel ve dökme demirin birbiri içerisinde karıştığı varsayılarak, nikel ve dökme demirin %'lerine göre E ve  $\nu$  hesaplanmıştır.

Virtüel iş prensibi kullanılarak;

$$\{F\} = [K]\{\delta\} \quad (7)$$

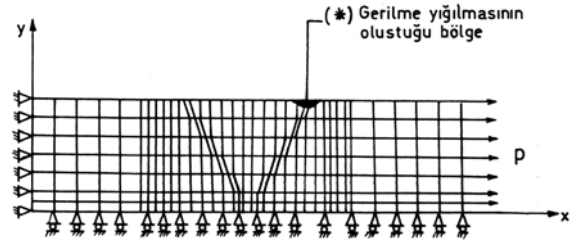
yazılabilir. Burada  $\{F\}$  dış kuvvetler,  $[K]$  simetrik direngenlik matrisidir.  $[K]$  matrisi bir eleman için;

$$k^e = t_e \int \int^T [D][B]dA \quad (8)$$

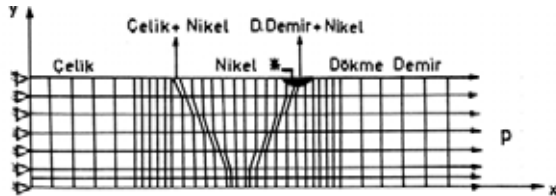
şeklinde verilmiştir. Denklem (8)'de,  $t_e$  elemanın kalınlığıdır. Her bir eleman için  $k^e$  oluşturulduktan sonra, bunlar birleştirilerek sistem direngenlik matrisi  $[K]$  oluşturulur. Her bir elemana ait direngenlik matrisi oluşturulurken alan integral yerine nümerik integral kullanılmıştır. Sınır şartları uygulandıktan sonra (7) denklemi çözülerek, düğüm yer değiştirmeleri bulunur. Yer değiştirmelerinden hareketle (5) eşitliğiyle düğümlerdeki gerilmeler hesaplanmış olur.

## 2.1 Problemin Sonlu Eleman Modeli

Kaynaklı parçaların (Şekil 1 ve Şekil 2) sonlu eleman modelinin oluşturmak için, özel bilgisayar programı geliştirilmiştir ve kaynak edilecek parçaların boyutları, kaynak ağzı ile ilgili veriler ve kaynak geçiş bölgesinin boyutları program girdisi olarak verilmiştir. Böylece şekil izoparametrik dörtgen elemanlara otomatik olarak bölünmüştür. Eleman kenarları üzerinde 2, tüm elemanda 4 düğüm vardır (Klaus, 1982). Genel denklem çözümünde Sonlu Eleman modelinde 871 düğüm 792 eleman kullanılmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2'de sırasıyla V ve X kaynak ağzı için örnek sonlu eleman modeli verilmiştir. P yükü olarak akma mukavemetinin



Şekil 2. X kaynak ağzı için sonlu eleman modeli



Şekil 1. V kaynak ağzı için sonlu eleman modeli

altında herhangi bir değer (Örnek olarak  $p = 50 \text{ N/mm}^2$ ) alınmıştır çünkü gerilme yığılıması yük ile ilişkili değildir.

## 2.2 Sınır Şartları

V kaynak ağzı açılmış parçanın sonlu eleman modelinde kaynak ağzına göre her iki taraf simetrik kabul edilmesine rağmen her iki tarafta malzeme özelliklerinin farklı olması nedeniyle şeklin tamamı alınmıştır. Sınır şartı olarak y ekseninde (x=0) düğümlerin yatay ve düşey (u,v) yer değiştirmeleri sıfır olarak kabul edilmiştir. Yükleme ise parçanın dökme demir kısmının ucuna üniform yayılı yük şeklinde uygulanmıştır.

X kaynak ağzı açılmış parçanın sonlu eleman modelinde ise x eksenine göre hem şekil hem de malzeme simetrisi olduğundan şeklin yarısı alınmıştır. Buna göre x ekseninde düğümlerin düşey (v) yer değiştirmeleri sıfır alınmıştır. Bu çözümde de yükleme dökme demir parçanın uç kısmından üniform yayılı yük şeklinde uygulanmıştır.

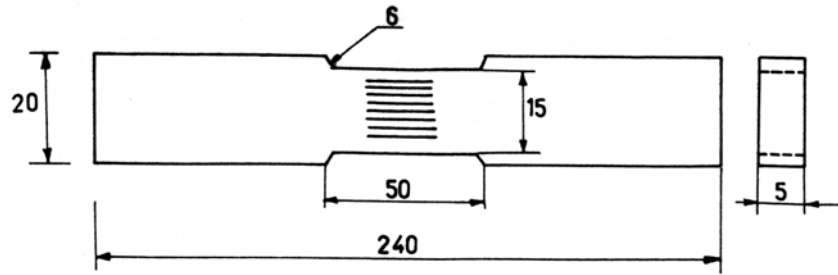
Bu çalışmada gri dökme demir (DDL12) ve St37-2 çelik, saf nikel elektrot ile kaynak edilmiştir. Dolgu elektrodunun ve dökme demirin % olarak kimyasal analizleri Tablo 2' de verilmiştir. Dökme demire uygulanan kaynak yöntemleri sıcak ve soğuk kaynak olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Kaynaktan önce parçaya bir ön ısıtma uygulanmıyor ve kaynak oda sıcaklığında yapılıyorsa bu yöntem soğuk kaynak adı verilir. Eğer malzeme kaynak öncesi her tarafı koyu kırmızı bir renk alıncaya kadar tavlınır (300-400 °C) ve sıcaklık derecesi kaynak işlemi süresince korunursa bu yöntem sıcak kaynak denir. Bu kaynak işleminde sonra parça fırında veya ocak içinde çok yavaş bir şekilde soğumaya terkedilir.

Kaynak edilecek parçalara V ve X kaynak ağzı açılmıştır. X kaynak ağzı açılan parçalar ise teorik olarak incelenmiştir. V kaynak ağzı açılan parçalar hazırlandıktan sonra yüzeylerin yağ, kir ve pisliklere karşı temizlenmiştir. Malzemelerin hazırlanmasından sonra kaynak yöntemi ve kaynak yöntemine göre elektrod seçimi yapılmıştır. Kaynak yöntemi ve elektrodun uygun seçilmesi en iyi kaynağı elde etmemiz açısından önemlidir. Kaynak yöntemi olarak elektrik ark kaynağı ve sıcak kaynak yöntemi kaynak bölgesindeki çatlamalara neden olmamak,

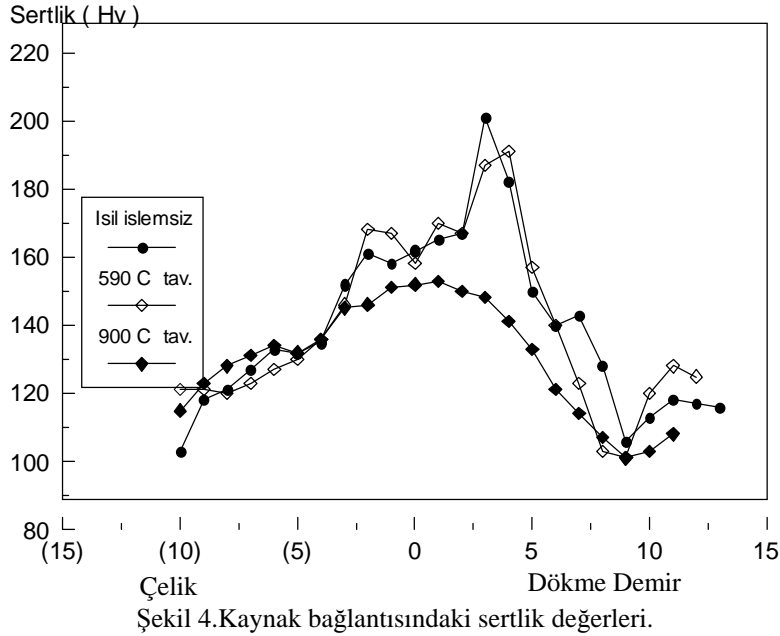
## 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tablo 2. Dolgu Elektrodunun, DDL'nin ve RSt37-2'nin Kimyasal Analizi (%)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Fe	Ni
DDL	3-3.5	1.5-2.5	0.5-1.2	0.4-0.6	0.05-0.08		
Ni elektrod	1-1.5	0.5-1.5	0.5	0.001	0.01	2	94-98
RSt37-2	0.2	-		0.065	0.065	-	-



Şekil 3. Çekme deneyi numunesi.



sertliği azaltmak ve malzemelerin eğilme ve bükülmesinin minimumda tutmak içindir.

Elektrod olarak saf nikel BÖHLER FOX GNI dökme demir kaynak elektrodu seçilmiştir. Bu tip lektrodlar daha yumuşak, sünek ve sağlam kaynak dikişi elde edilebilir.

Malzemeler, kaynak esnasında kendini çekmemesi için profilden bir çerçeveye sabitlenmiştir. Ayrıca kaynaklı parçalarda iç gerilmeleri en aza indirmek için şu prosedür takip edilmiştir. Parçalar oksiasetlen alevi ile yavaş ve üniform bir şekilde (25 dak., 380-400 °C ) tavlansın ve bu sıcaklık muhafaza edilerek 3.25 mm çapında nikel elektrod ile kaynak yapılmıştır. Kaynak sırasında her paso sıcakken hafif darbelerle çekiçlenmiştir. Ayrıca her pasoda cürufklar temizlenerek kaynak hatalarının meydana gelmesi önlenmiştir. Kaynak işlemi biter bitmez kaynak edilmiş parçalar daha önceden ısıtılarak hazırlanmış tozaltı kaynak tozu ile örtülerek çok yavaş soğumaları sağlanmıştır. Soğuma süresince sıcaklık kontrol edilerek ölçümler yapılmıştır (soğuma hızı 2.6 °C/dak).

Kaynak işleminden sonra TS'na uygun olarak çekme deney parçaları hazırlanmıştır (Şekil 3). Çekme deneyi sonucunda kaynaklı parçaların hepsinde dökme demirin ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinden kırıldıkları gözlenmiştir. Çekme deneylerinde 5 adet standart parça kullanılmış ve elde edilen değerler Tablo 3'de verilmiştir. Ortalama

çekme mukavemeti yaklaşık olarak 100 MPa elde edilmiştir.

Tablo 3. Çekme Deneyi Sonuçları (MPa)

1	2	3	4	5	Ort. Çekme Muk.
104	100.5	102	95	97	100

Ayrıca kaynak edilmiş parçalar sertlik taramasına tabi tutularak, maksimum sertliğin meydana geldiği bölge tesbit edilmiştir. Sertlik taramasına göre dökme demir bölgesinde oluşan sertlik değerleri çelikten oldukça fazladır. Kaynaktan sonra yapılan tavlama işlemi ile sertliğin bir miktar düştüğü gözlenmiştir (Şekil 4).

Çekme deneyinde plastik deformasyonu meydana gelmediği ve tamamen gevrek kırılma olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

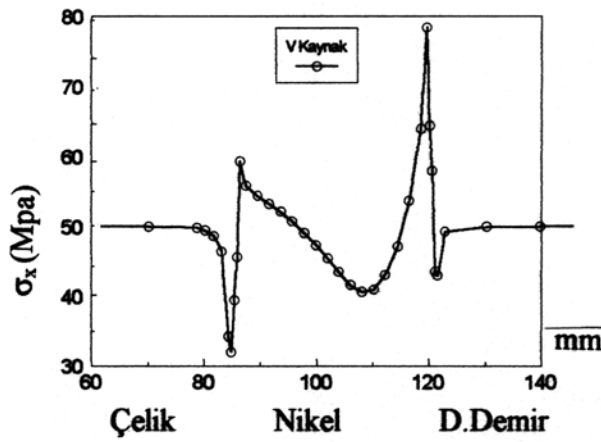
Şekil 5 V kaynak, Şekil 6 ise X kaynak ağzı için gerilme yığılmasının olduğu kaynak dikişinin üst kısmında meydana gelen gerilme dağılımı verilmiştir. Yüksek olan değerler tek bir noktayı içine aldığından gerilme yığılması olarak kabul edilmemiştir. Daha geniş bir bölgeyi kapsayan değer  $\sigma_{max}$  olarak kabul edilmiştir. Şekil 7 ve 8'de verilen gerilme yığılma faktörü;  $K = \sigma_{max} / \sigma_{ort}$  değerini göstermektedir. Gerilme yığılması, dökme demirin birleşme yerinde meydana gelmektedir.  $\sigma_{max}$  malzeme uyumsuzluğundan doğan en yüksek gerilmeyi,  $\sigma_{ort}$  ise kaynaklı parçada oluşması

beklenen gerilmeyi göstermektedir. Örnek olarak nikel elektrottan dökme demire geçiş bölgesinde %5 nikel olduğu zaman;  $p=50 \text{ N/mm}^2$  yayılı yük için  $\sigma_{ort}=50 \text{ MPa}$  dır. Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilen gerilme yığılmasının meydana geldiği bölgede V

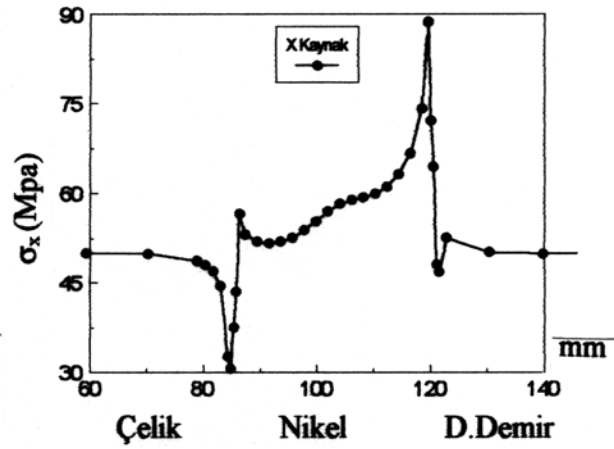
kaynak için  $\sigma_{ort} = 55,8 \text{ Mpa}$ , X kaynak için  $\sigma_{ort}=61 \text{ MPa}$  elde edilir. Teorik çalışmada dökme demir ile nikel elektrodun erime bölgesinde birbiri içerisinde karışım oranına bağlı olarak gerilme yığılma faktörleri araştırılmıştır. Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilen % nikel, dökme demir ile nikelin karışımındaki nikel yüzdesini göstermektedir. Şekil 7’de, V kaynak ağzı ile birleştirilen parçalardaki % nikel oranına bağlı olarak gerilme yığılma faktörü verilmiştir. Nikel elektrodun dökme demir ile karışım meydana getirme yüzdesi direkt olarak ölçülmemiş ancak %5, ... %25 oranında demir içinde erime olarak kabul edilmiştir. Nikelin erime oranı kaynak parametrelerine bağlı olarak değişebilir. Şekil incelendiğinde düşük nikel yüzdesinden yüksek değerlere çıktıkça gerilme yığılma faktörü azalmaktadır. Nikel yüzdesinin düşük olduğu değerde  $K = 1.116'$  dır. Bu değer kaynaklı parçanın mukavemetini uyumsuzluktan dolayı azaltmaktadır. Nikel yüzdesinin yüksek olduğu değerde K faktörü küçük olduğundan önemi azalmaktadır. Nikel - Çelik kısımda çelik ile nikelin mekanik özellikleri birbirine yakın olduğundan gerilme yığılımları çok küçük olmaktadır.

Hem dökme demirinin mukavemetinin düşük olması hem de dökme demir kısmındaki gerilme yığılmasının yüksek olması sebebiyle sadece nikel - dökme demir kısmındaki gerilmeler gözönüne alınarak incelemeler bu bölgeye göre yapılmıştır.

Şekil 8’de X kaynak ağzı ile birleştirilen parçalardaki % nikel oranına bağlı olarak gerilme yığılma faktörü verilmiştir. X kaynağı yapılan parçalarda da nikel yüzdesinde gerilme yığılma faktörü artmaktadır.

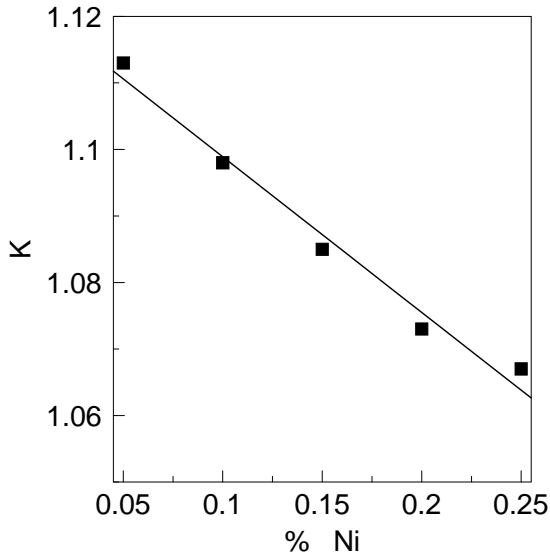


Şekil 5. V kaynağında kaynak dikişinin üst kısmında



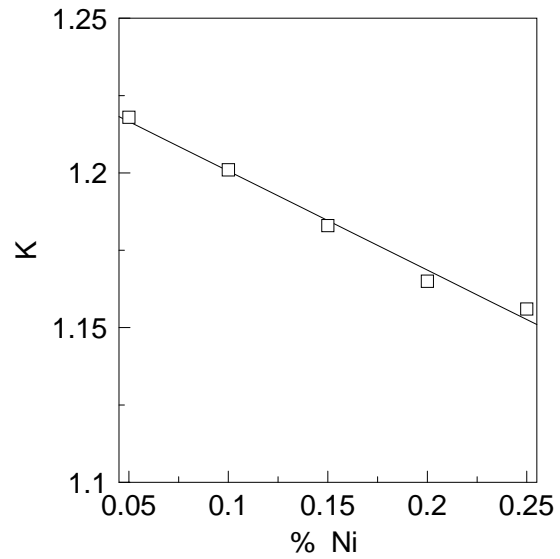
Şekil 6. X kaynağında kaynak dikişinin üst

meydana gelen gerilme dağılımı



Şekil 7. V kaynakta gerilme yığılma faktörü

meydana gelen gerilme dağılımı



Şekil 8. X kaynakta gerilme yığılma faktörü

Deneysel çalışmalarda sadece V kaynak ağızı açılarak kaynak işlemi yapılmıştır. Çelik ile dökme demiri kaynak yaparken dökme demirlerin metalurjik ve mekanik özellikleri nedeniyle mutlaka önlem alarak kaynak yapmak gerekmektedir. Bu yüzden de ön tavlama yaparak ve kaynaktan sonra oldukça yavaş soğuma yapılarak hatasız kaynak elde edilmiştir.

Kaynaktan sonra sertlik taraması yapılırken en yüksek sertliğin olduğu bölge araştırılmış ve ve sertlik değerinin dökme demir kısmında (ITAB) fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). Yapılan çekme deneylerinde kırılmaların dökme demir kısmında meydana geldiği gözlenmiştir. Dökme demirin çekme mukavemeti olarak 100 MPa civarında olduğu belirlenmiştir.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sonuçları birbirine uygunluk göstermektedir. Kaynak öncesi ve sonrası yapılan işlemler malzemede iç gerilmeleri en aza indirecek şekilde yapıldığından teorik çalışmalarda bu nokta göz önüne alınarak iç gerilmeler hesaba katılmamıştır. Teorik çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasındaki bir miktar fark, iç gerilmelerin tamamen giderilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Teorik çalışmalar iç gerilmelerin olmadığı gözönüne alınarak yapıldığından deneysel çalışmalardaki

sonuçlardan bir miktar farklı gerilme artışı gözlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

Anık, S., 1988. Farklı Metallerin Kaynağı. Gedik Kaynak Dünyası. 1988/1,4-9

Anık, S., Tülbentçi K., Kaluç E., 1991. Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı. Gedik Holding Yayını 97 s.

Klaus, J. B., 1982. Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Oğuz, B., 1989. Ark Kaynağı. Oerlikon Yay. 391-397.

Suderesan., S., Murti, K.K.G. 1993. Friction Welding of Aluminium to Austenitic Stainless Steel. Indian Inst. of Technology, India. Int. J. Joining of Materials. 5, 66-70.

Tekelioğlu, M., Kaya, A., Günay, D. 1992. "Yapıştırıcı Bağlı Bindirme Bağlantılarında Gerilme Dağılımının Araştırılması" **5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, 16-18 Eylül 1992. ODTÜ Ankara, 433-441.

Tekelioğlu, M., Cerid, M., Günay, D. 1992.  
"Bindirme Köşe Kaynağı Bağlantısında Gerilme Dağılımının İncelenmesi" **5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, 16-18 Eylül 1992.  
ODTÜ Ankara, 441-449.