

# KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN YORULMA DAYANIMI DEĞERLENDİRMELERİNDE YAPISAL ZORLAMA YÖNTEMİ

Özler KARAKAŞ\*

Alper GÜLSÖZ

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik  
Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü,  
Kınıklı 20070, Denizli

C. Morris SONSINO

Fraunhofer-İşletme Dayanımı ve Sistem  
Güvenilirliği Enstitüsü LBF,  
Darmstadt / Almanya

## ÖZET

Genel olarak kaynaklı birleştirmelerin yorulma dayanımı değerlendirilmesi ve yorulma dayanımı kontrolleri nominal yöntem ve lokal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, kullanılan yöntem ve zorlanma durumlarına bağlı olarak kaynaklı birleştirmelerin yorulma dayanımlarının tahminine müsaade etmektedir. Bu çalışmada, kaynaklı birleştirmelerin yorulma dayanımı değerlendirmelerinde lokal yöntemlerden yapısal zorlanma yöntemi üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Yapısal zorlanma yöntemi, kaynaklı birleştirmeler, yorulma dayanımı

## The Structural Stress Concept in The Fatigue Strength Evaluation of Welded Joints

### ABSTRACT

The fatigue strength evaluation and fatigue strength proof of the welded joints generally is divided into two main concepts, as nominal concept and local concept. These both concepts, depending on the method used and loading conditions allow estimating the fatigue strength of the welded joints. In this study, structural stress concept in the fatigue strength evaluation of welded joints is handled.

**Keywords :** Structural stress concept, welded joints, fatigue strength

\* İletişim yazarı

Geliş/Received : 08.05.2009

Kabul/Accepted : 05.10.2009

## GİRİŞ

**B**ir nominal gerilmenin tanımlanmasının ve de çentik sınıflarının belirlenmesinin zor olduğu karmaşık geometrilerde yapısal zorlama yöntemiyle daha doğru bir dayanım değerlendirmesi yapılabilmektedir. Burada yonteme göre değişik zorlama büyüklükleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir (Şekil 1).

Yapısal zorlama yöntemi Şekil 2'de gösterildiği gibi yapısal uzama yöntemi ve yapısal gerilme yöntemi olarak ikiye

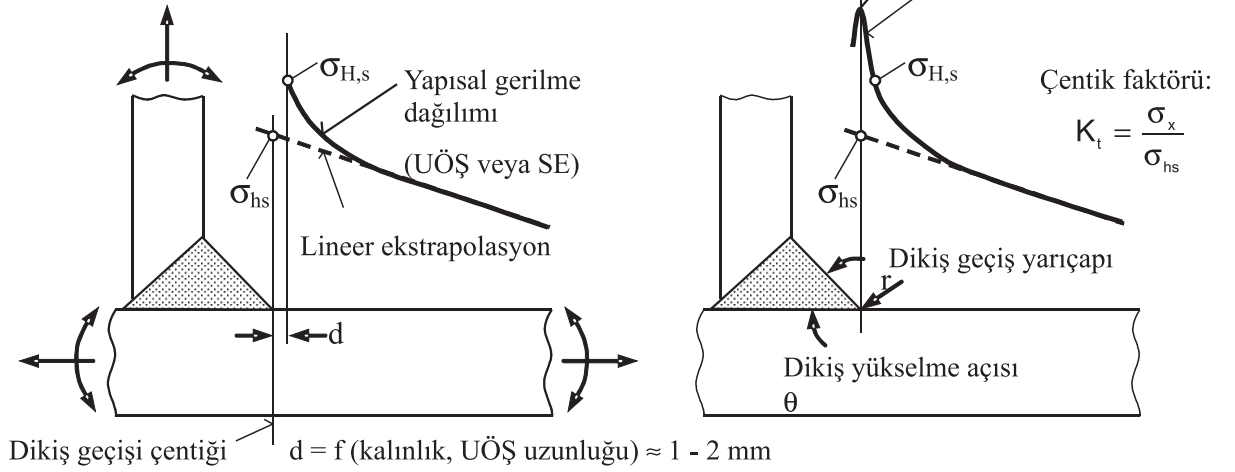
ayrılmaktadır. Yapısal zorlama yönteminin başlangıçtaki şekli yapısal uzama yöntemi olmuştur. Kaynak dikiş geçiş bölgesinde uzama ölçüm şeridi (UÖŞ) ile ölçülen uzama ve dolayısıyla buradan elde edilen gerilme dayanım kontrolüne hizmet etmektedir (Şekil 1) [2]. Yapı ve kıyı ötesi tekniğinde boru düğüm noktalarındaki kaynaklı birleştirmeler için uzama ölçüm şeritlerinin kontrol yöntemi olarak yaygınca kullanılmasıyla Hot-spot gerilmesi ve daha sonra sonlu elemanlar yönteminin kullanılması ile yapısal gerilme yöntemi önemli bir hâle gelmiştir. Bu yöntem, gemi yapımında

$\sigma_{H,s}$  : Haibach'a göre yapısal gerilme

$\sigma_x$  : Maksimum çentik gerilmesi

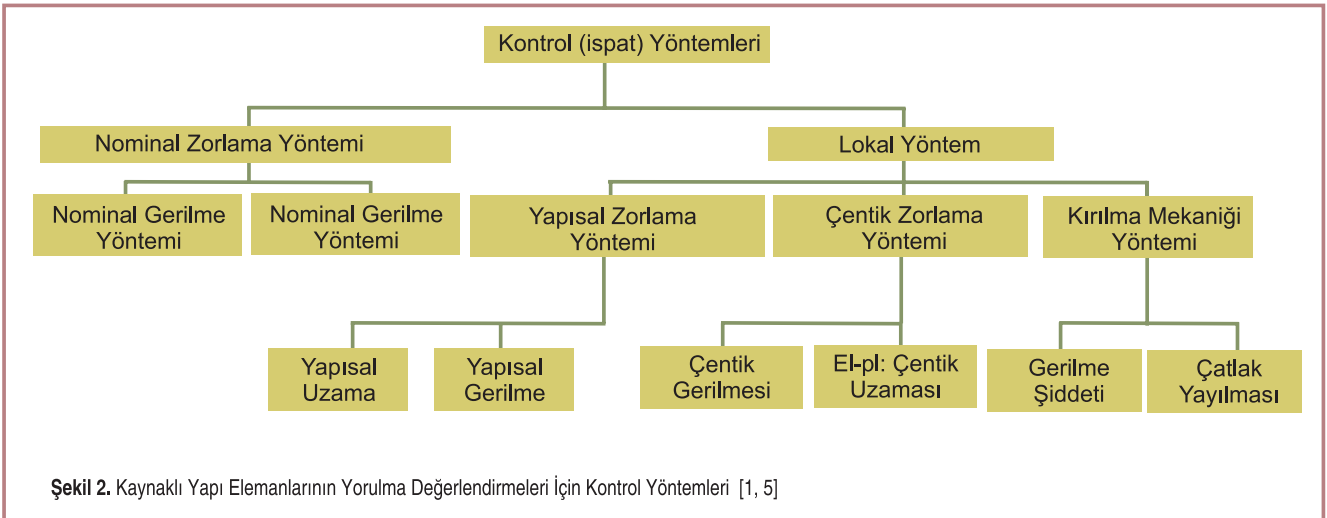
$\sigma_{hs}$  : Hot-Spot-Gerilmesi

$\sigma$  : f (Dikiş geometrisi, zorlama durumu)



UÖŞ : Uzama ölçüm şeridi, SE : Sonlu elemanlar

Şekil 1. Kaynaklı Birleştirmelerde Gerilmelerin Tanımlanması [1]



Şekil 2. Kaynaklı Yapı Elemanlarının Yorulma Değerlendirmeleri İçin Kontrol Yöntemleri [1, 5]

kullanılan levhaların birleştirilmesinde de IIW-Tavsiyeleri çerçevesinde uygulanmıştır [3, 4].

Yapısal zorlamanın büyüklüğü, prensip olarak birleştirilecek yapı elemanlarının düzenine ve şekline bağlı olmaktadır. Yapısal zorlama yöntemi her şeyden önce kaynak dikişine enine etki eden zorlamaların dayanım değerlendirmesinde kullanılmaktadır.

Yapısal zorlama yönteminin birçok değişik uygulama şekli mevcuttur. Günümüzde bunlardan en çok kullanılan uygulamalar aşağıdaki şekilde verilmektedir.

- Kalın levhalı birleştirmeler için Hot-Spot-Uygulaması; Burada önceden verilen bir talimatnameye göre [6, 7, 8, 24, 25] kaynak dikişi haricindeki (esas malzemedeki) gerilme akışının genellikle lineer (doğrusal) ekstrapolasyonundan bir (farzedilen) Hot-Spot gerilmesi  $\sigma_{hs}$  elde edilmektedir (Şekil 1).
- Dong ve Xiao ile Yamada'ya göre sonlu elemanlar modelinden yapısal gerilmelerin belirlenmesi için geliştirilen yöntem iç lineerleştirmeyi esas almaktadır [9, 10, 11].
- Taşıt tekniğinde kullanılan ince levhalı birleştirmeler için (yapı elemanı kalınlığı  $t < 3$  mm ) yapısal gerilme uygulaması, kabuk elemanlardaki gerilmelerden yola çıkmaktadır [12, 26, 27].
- Kalın cidarlı boru düğümlerindeki birleştirmelerin uygulaması; Burada, önceden belirlenen talimata göre kaynak dikişi haricinde gerilme akışının çoğunlukla lineer ekstrapolasyonundan bir (farzedilen) Hot-spot gerilmesi  $\sigma_{hs}$  elde edilmektedir [8, 13].
- Haibach'a göre yapısal uzama yöntemi (Haibach 2002); Burada dikiş geçişindeki çentik için parça kalınlığına bağlı

bir mesafedeki (d) gerçek yapısal gerilme  $\sigma_{hs}$  tespit edilmektedir (Şekil 1). Burada açıklanan bu yöntem hem ince hem de kalın levhalar için uygulanmaktadır.

Çentik gerilmesi yöntemiyle bir mukayese yapılırsa, çok açık olarak düşük bir modelleme masrafı gerektirmesinden dolayı, endüstriyel yararları açısından yapısal gerilme yöntemi büyük önem arz etmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, modern talimatnamelerin hâlihazırda bir parçası olan Hot-Spot uygulaması öne çıkmaktadır [6, 14, 15, 16].

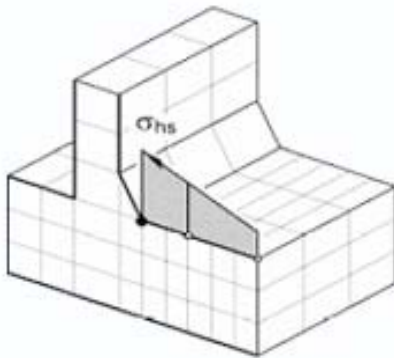
## YAPISAL GERİLME YÖNTEMLERİ

### Kalın Parçalar İçin Yapısal Gerilme Yöntemi (IIW-Tavsiyelerine göre)

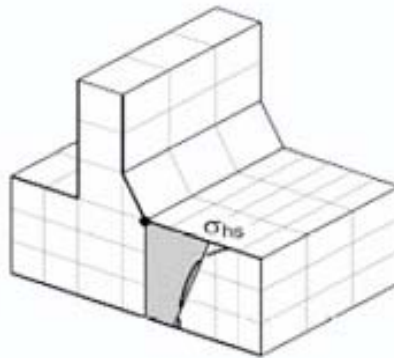
Genel olarak, boru düğümlerindeki kaynaklı birleştirmeler ile diğer konstrüksiyonlardaki kaynaklı birleştirmeler arasında ayırım yapılmaktadır. Aşağıdaki açıklamalar, ikinci grup konstrüksiyonlarda uygulamaların ön planında bulunan levha şeklindeki yapılar için yapılmıştır. Bunlar IIW-Tavsiyelerini [8] temel almaktadır.

Yapısal gerilmenin elde edilmesindeki klasik yöntem, dikiş geçişine doğru iki veya üç noktada alınan ölçü değerlerinin lineer ya da kuadratik ekstrapolasyonundan ibarettir (Şekil 1). Bunların yerleri ile ilgili tavsiyeler de [8] verilmektedir. Gerilmelerin yüzey ekstrapolasyonu sonlu elemanlar analizine uygun olarak tatbik ettirilmektedir (Şekil 3a). Alternatif olarak kabuk veya levha şeklindeki yapılarda iç lineerleştirme sunulmaktadır. Bu iç lineerleştirme, bir hacim modellemesinde kalınlık doğrultusunda üç veya daha fazla elemanın düzenlenmesini gerektirir (Şekil 3b). Sistematik seri araştırmalar (deneyler), elde edilen sonuçlarda büyük sapmaların ve güvensizliklerin önlenmesi için, sonlu elemanlar modellemesinde ve gerilmelerin değerlendirilmesinde detaylı kuralların olması gerektiğini göstermiştir [4, 17, 18].

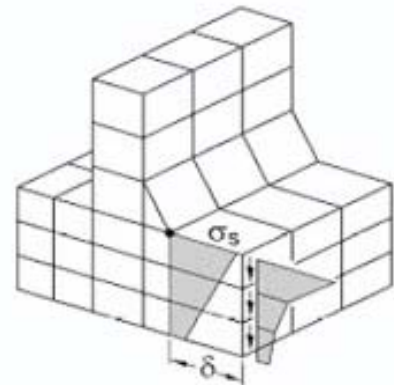
a. yüzeyde dış lineerleştirme



b. İç lineerleştirme



c.  $\delta$  aralığında gerilmenin iç lineerleştirilmesi



Şekil 3. Bir Sonlu Elemanlar Modellemesinde İç Lineerleştirme ve Yüzey Gerilmelerinin Lineer Ekstrapolasyonu [20].

Kullanılması düşünölen taslak Wöhler diyagramları, yorulma deneylerinin [19] kapsamlı değeriendirmeleri sonucunda tespit edilmiştir (Şekil 4). [18] 'e göre normal durumda, çelikten kaynaklı birleştirmeler için yorulma dayanımı sınıfı FAT 100 ( $2 \cdot 10^6$  çevrim sayısında MPa olarak  $\Delta\sigma_{sm}$ ) tavsiye edilmiştir. Kuvvet taşıyan köşe dikişleri (dikiş geçiş bölgesindeki yüksek lokal gerilme konsantrasyonu nedeniyle) ve levha kenarlarındaki uzun dikmeler ( $l > 100$  mm ile) istisnaları oluşturur ve bunlar için FAT 90 geçerlidir (Şekil 4)[19]. Alüminyum için bunlara uygun olarak FAT 40 ve FAT 36 sınıfları alınabilir (Tablo 1) [16]. Burada IIW-Talimatnamesine göre müsaade edilebilir yapısal gerilme genişliği FAT değeri olarak bir arada gösterilmiştir.

25 mm'den daha kalın olan levhalardaki kaynaklı birleştirmelerde yorulma dayanımını azaltan kalınlık etkisi, dayanılabilen (emniyetli) gerilmelerde dikkate alınmalıdır.

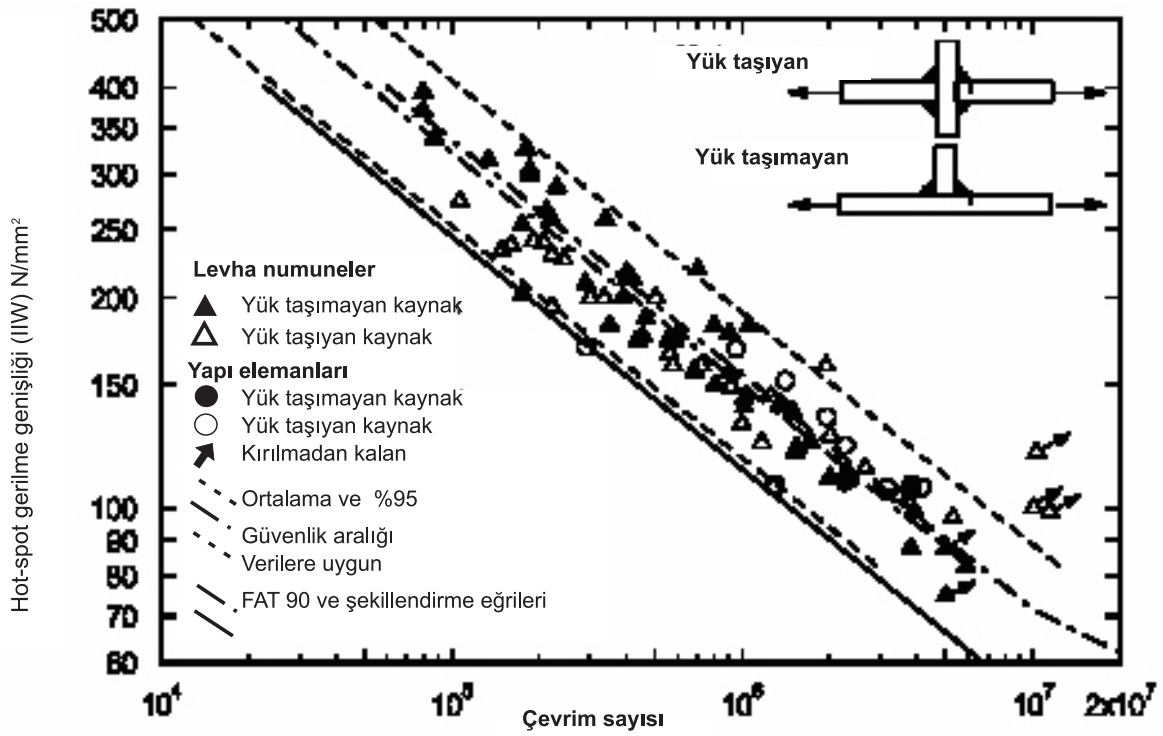
$$\Delta\sigma(t > 25 \text{ mm}) = \Delta\sigma(t_0 = 25 \text{ mm}) \left( \frac{t_0}{t} \right)^n \quad (1)$$

n üssü, levha kenarlarındaki dikiş geçişleri için  $n = 0,1$ , alın

birleştirmeleri için  $n = 0,2$  ve diğeri birleştirmeler için  $n = 0,3$  değeri arasında değerişmektedir [18].

Üretim koşullarından kaynaklanan şekil değerişimleri (örneğin kenar kayması ve açısıl çarpılmalar) büyük problem oluşturmaktadır. Taslak Wöhler diyagramlarının temeli ölçölen yapısal gerilmeler olup bunlar üzerinde deney numunelerinin olası şekil değeriştirmelerinin yaratacağı etkileri ihtiva etmektedir. Buna karşılık, nominal gerilme yönteminde belirli bir yüksekliğe kadar Wöhler diyagramları içerisinde bulunmaktadır.

Normal durumda gerilmeler, ön şekil değerişiklikleri içermeyen mükemmel sonlu elemanlar modelleriyle elde edilir. Yapısal gerilmelerde ön şekil değeriştirmenin etkileri, her şeyden önce levha benzeri yapılarda alın ve çapraz birleştirmelerde (mümkün olan kaçıklık sebebiyle) ve de tek taraflı, zorlamaya karşı enine olacak şekilde olan köşe dikişlerinde (mümkün olan açısıl çarpılmalar sebebiyle) göz önüne alınmalıdır. Eğer ayrıntılı değerişimler yoksa IIW [16], birleştirmelerdeki eksenel gerilmenin verilen faktörlerle çarpılmasını tavsiye etmektedir. Bu, levha kalınlığının %5-15'i kadar bir yükseklikteki kenar kaymalarının etkilerini içermektedir.



Şekil 4. Kuvvet Taşıyan ve Taşımayan Köşe Dikişleri için Dayanılabılır Yapısal Gerilmeler [19]

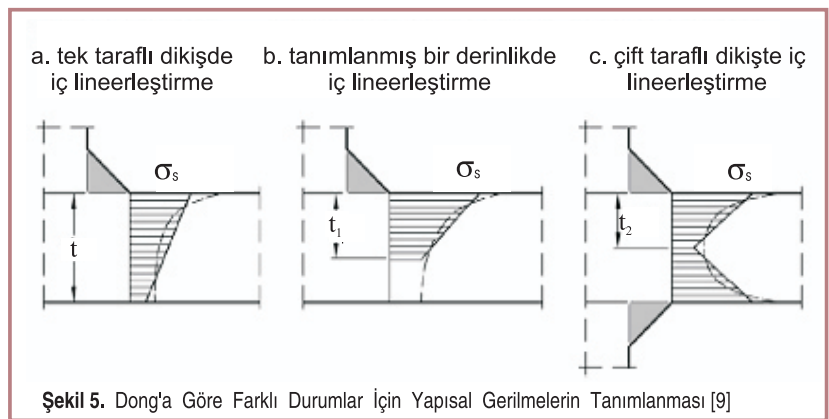
Tablo 1. IIW-Talimatnamesine Göre Yapısal Gerilme Genişliği (Örnek olarak)

No	Yapısal Detay	Tanımlama St: Çelik, Al:Alüminyum	Şartlar	FAT St [MPa]	FAT Al [MPa]
1		Alın birleştirme	Kaynaklı, Muayene yapılmış	100	40
2		Tamamen kaynaklanmış kalın kaynaklı çapraz birleştirme veya T birleştirme	Lamelar yırtılma yok	100	40
3		Yük taşımayan köşe kaynağı	Enine yüklenmiş yük taşımayan uzunlamasına dikme, Esas malzemeden daha kalın değil, Kaynaklandığı gibi	100	40
4		Destek sonu, uzunlamasına dikmenin sonu	Köşe kaynağı, kaynak çevresel veya değil, Kaynaklandığı gibi	100	40
5		Koruyucu levha sonu ve benzer birleştirmeler	Köşe kaynağı, kaynak çevresel veya değil, Kaynaklandığı gibi	100	40
6		Yük taşıyan köşe kaynaklı çapraz birleştirmeler	Köşe kaynağı, Kaynaklandığı gibi	90	36
7		Yük taşıyan köşe dikişli bindirme kaynağı	Köşe kaynağı, Kaynaklandığı gibi	90	36
8		Kısa ekli ,b' birleştirmesi	Köşe kaynağı veya tam nufuziyetli kaynak, Kaynaklandığı gibi	100	40
9		Uzun ekli, b' birleştirmesi	Köşe kaynağı veya tam nufuziyetli kaynak, Kaynaklandığı gibi	90	36

### Dong'a Göre Yapısal Gerilme Yöntemi

Levha kalınlığı üzerindeki gerilmelerin iç lineerleştirilmesi yöntemi Dong [9, 10] tarafından ele alınmış, özellikle kırılma mekanizması temelinde beklenen çatlak yayılması yönünde gerilme gradyanının etkisinin dikkate alınması suretiyle genişletilmiştir. Tek taraflı (yönlü) kaynak dikişli bir levhanın kalınlığı üzerinde iç lineerleştirilme Şekil 5a'da gösterilmiştir. Belirli durumlarda, örnek olarak levha kenarlarındaki çatlaklarda lineerleştirme  $t_1 < t$  derinliğine kadar tavsiye edilir (Şekil 5b). Burada  $t_1$ , çatlakın son durumdaki uzunluğunu göstermektedir. İki taraflı kaynaklı birleştirmelerde simetrik yükleme altında, levha kalınlığının yarısı kadar bir lineerleştirme önerilmiştir ( $t_1 = t/2$ ). Böylece bilinen (alışılmış) yönteme karşılık değiştirilmiş bir yapısal

gerilme tanımı ortaya çıkmaktadır (Şekil 5c). Prensip olarak Dong'a göre lineerleştirme sadece monoton düşen gerilme dağılımı üzerinden gerçekleştirir.



Dong, sonlu elemanlar ağından yapısal gerilmenin elde edilmesi için, bu ağdan mümkün olduğu kadar etkilenmeyen (bağımsız) özel bir prosedür önermektedir. Eleman gerilmeleri, önemli ölçüde ağırlıklı (kalitesine) bağlı olduğundan ve dikiş geçiş bölgesi yakınındaki gerilme tekilliklerinden etkilendikleri için dikiş geçişinden  $\delta$  uzaklığında değerlendirilmelidir (Şekil 3c). Denge şartları üzerinden normal ve kayma gerilmelerinden membran ve eğme kısmı ve bununla birlikte dikiş geçişindeki kesitte lineer gerilme dağılımı elde edilebilir. Yüksek gerilme konsantrasyonunda doğru olmayan sonuçlara neden olduğu için elemanın diğer taraflarındaki gerilmeler ihmal edilir [7].  $t_1$  derinliğine kadar olan kısmi lineerleştirmede, ilaveten  $\delta \times t_1$  bölgesinin alt tarafındaki gerilme kısımları denge şartlarına dâhil edilmelidir. Dong alternatif olarak yapısal gerilmelerin, dikiş geçişindeki kesitteki iç düğüm kuvvetlerinden elde edilmesini önermektedir. Çünkü bunlar, genel olarak dengeyi sağlamaktadırlar. Bu yöntem özellikle kabuk modellemesinde önerilmektedir. Ancak bunlarda, kalınlık yönündeki kısmi lineerleştirme yapılamamaktadır.

Dayanılabilen çevrim sayısının belirlenmesi için özel bir yapısal gerilme parametresi  $\Delta S_s$  ile bir örnek Wöhler diyagramı kullanılmaktadır. Bu parametre, eşitlik (2)'de gösterildiği gibi yapısal gerilme genişliği  $\Delta \sigma_s$ 'den ortaya çıkmaktadır.

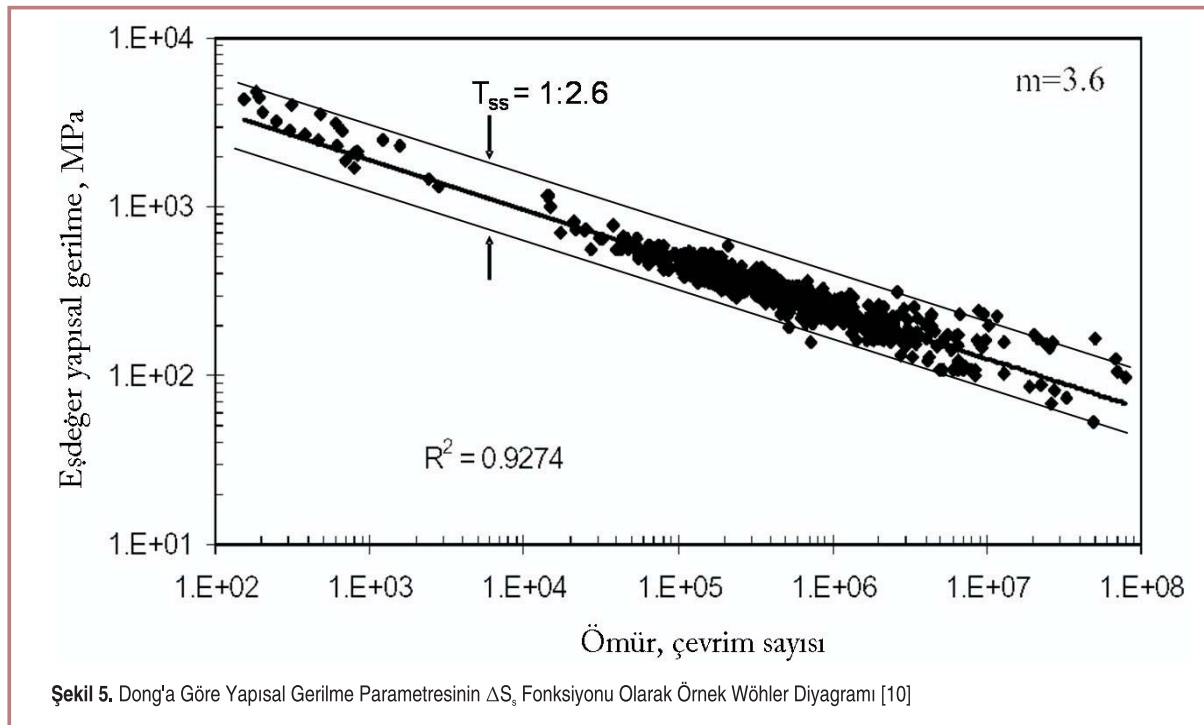
$$\Delta S_s = \Delta \sigma_s \cdot \left( \frac{t}{t_0} \right)^{\frac{m-2}{m}} \cdot I(r)^{-1} \quad (2)$$

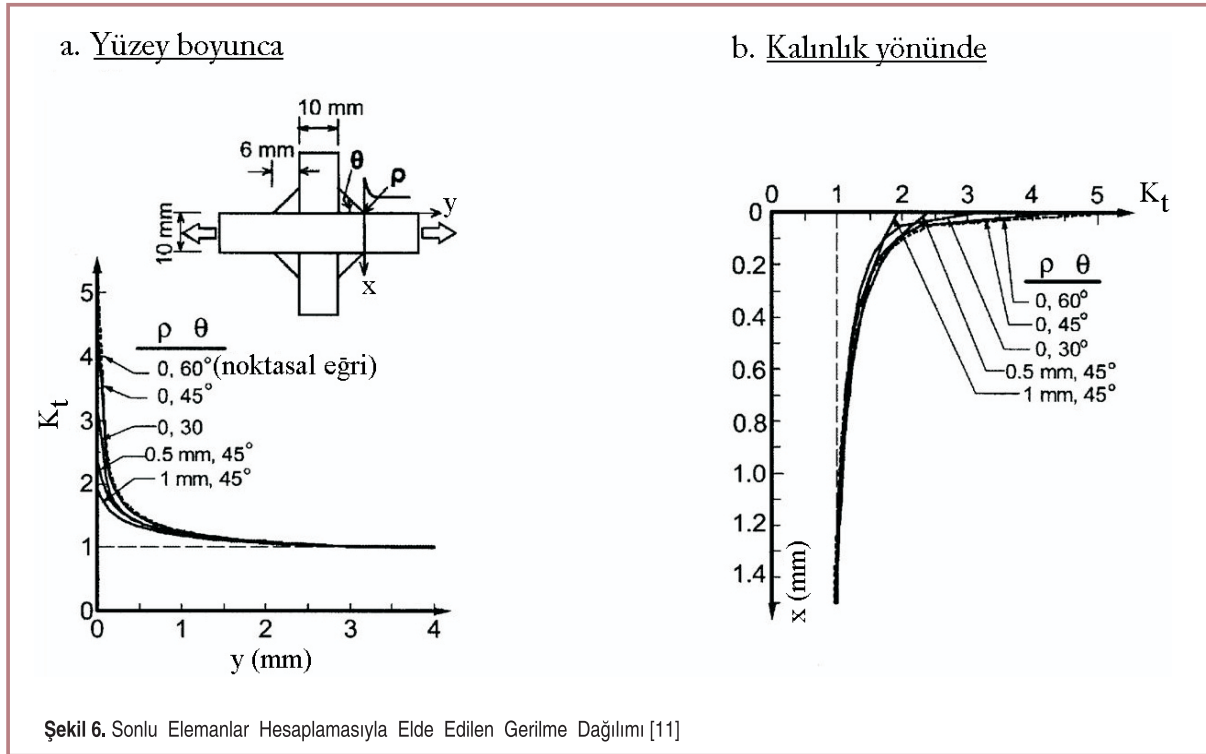
Burada;  $t$  levha kalınlığı,  $t_0 = 1$  mm mukayese kalınlığı,  $m$  çatlak yayılmasının açıklanması için Paris eşitliğinin üssü (Dong'a göre  $m = 3,6$ ),  $r$  eğilme gerilmesinin toplam yapısal gerilmeye oranı ( $r = \sigma_e / (\sigma_m + \sigma_e)$ ) ve  $I(r)$  çatlak yayılması sırasındaki sınır şartlarına bağlı olan (yük veya deformasyon kontrollü) integral değeri olmaktadır. Örnek Wöhler diyagramı (Şekil 5), çok sayıdaki deneyin değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Burada yapısal gerilme Şekil 4'e ve de yapısal gerilme parametresini veren (2) eşitliğine uygun olarak elde edilmektedir. Gerilmenin saçılması (dağılımı)  $T_{ss} = 1:1,59$  olup kaynaklı birleştirmeler için kabul edilebilir bir değerdir. Bunun ötesinde ön şekil değiştirmeleri ekstra olarak işlenmemiştir. Yani bunlar, deneylerde ortaya çıktıkları ölçüde örnek Wöhler diyagramlarını etkilerler.

Şu anda bu yöntemin değerlendirilmesinde çok dikkatli olunmalıdır. Yapısal gerilmenin iki kez lineerleştirilmesi (veya kısmi lineerleştirilme) yorulma etkili bir temel (esas) uzunluğun tespitini gerektirir ve bu temel uzunluk üzerinde lineerleştirme yapılabilir. Böyle bir temel uzunluk müşterek olarak değil, sadece mevcut olan deney sonuçlarına uygun bir şekilde tespit edilebilir.

#### Xiao ve Yamada'ya göre yapısal gerilme yöntemi

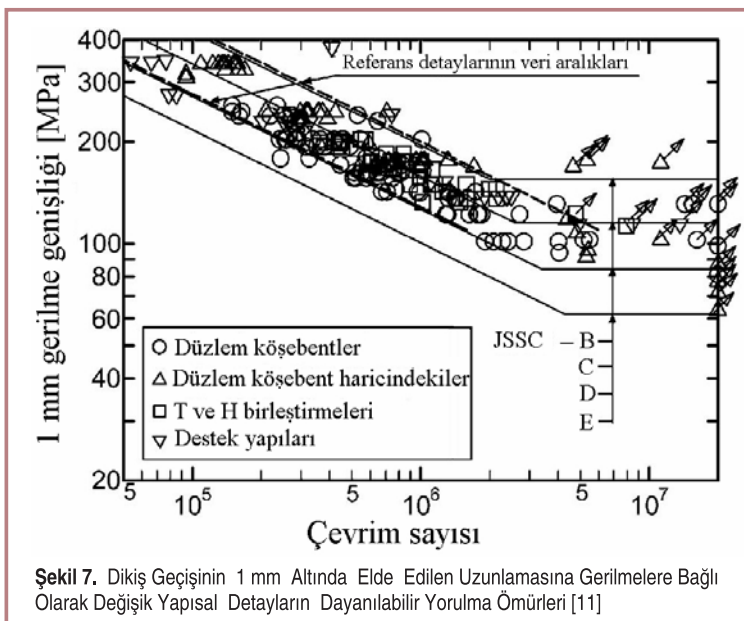
Performansı ve kullanımı giderek artan yazılım ve programlar sayesinde yakın zamanda Xiao ve Yamada [11] tarafından yeni bir yapısal gerilme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem, hesaplanan gerilme değerini dikiş geçişinin altında 1 mm derinliğinde, beklenen çatlak yayılması yönünde bulunan





noktada, yorulma dayanımı için, şimdilik çift taraflı enine ve uzunlamasına dikmelerdeki yük taşımayan köşe dikişlerine sınırlı olmak kaydıyla, etkili parametre olarak kabul etmektedir. Referans detayları aracılığıyla, 10 mm kalınlığında çift taraflı enine dikme yardımıyla, bu noktaların seçimi yapılır (Şekil 6). Sonlu elemanlar hesaplamaları, referans detayının dikiş geçişindeki lokal gerilmenin derinlik yönünde yüzeye göre daha çabuk (hızlı) azaldığını göstermiştir. Yüzeyde lokal

gerilme yükselmesi 2,5 mm uzaklıkta biterken (Şekil 6a), derinlik yönünde yaklaşık 1 mm uzaklıkta nominal gerilmeye ulaşılmaktadır. Bu da dikiş geçişinin lokal oluşumdan bağımsız olduğunu göstermektedir (Şekil 6b). Ayrıca 1 mm gerilmesinin, özellikle erken çatlak yayılması fazını (evresini) iyi temsil ettiği gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizinde 1 mm gerilmesini yeterli doğrulukta belirleyen bir ağ bölünmesi gereklidir. En yüksek eleman kenar uzunluğu olarak 1 mm'den söz edilmektedir.



Bu yöntem, geometrileri referans detaylarına benzeyen, süreklilik arzeden levhalar üzerinde, uzunlamasına ve enine dikmelerin bulunduğu çeşitli birleştirmelere uygulanmıştır. Deneylerde elde edilen yorulma ömürleri, her seferinde hesaplanan 1 mm gerilmesine bağlı olarak oldukça dar bir saçılma bandı oluşturmaktadır. Bu dağılım bandının alt sınırı taslak Wöhler diyagramına uygun olarak JSSC-D ve FAT 100'e uymaktadır (Şekil 7). Ayrıca 1 mm gerilmesiyle kalınlık etkisinin, alışılmış yapısal gerilme yöntemine (IIW'ye göre kalın parçalar için yapısal gerilme yöntemi) veya Dong'un yapısal gerilme yöntemine oranla daha iyi bir şekilde dikkate alındığı gösterilmiştir.

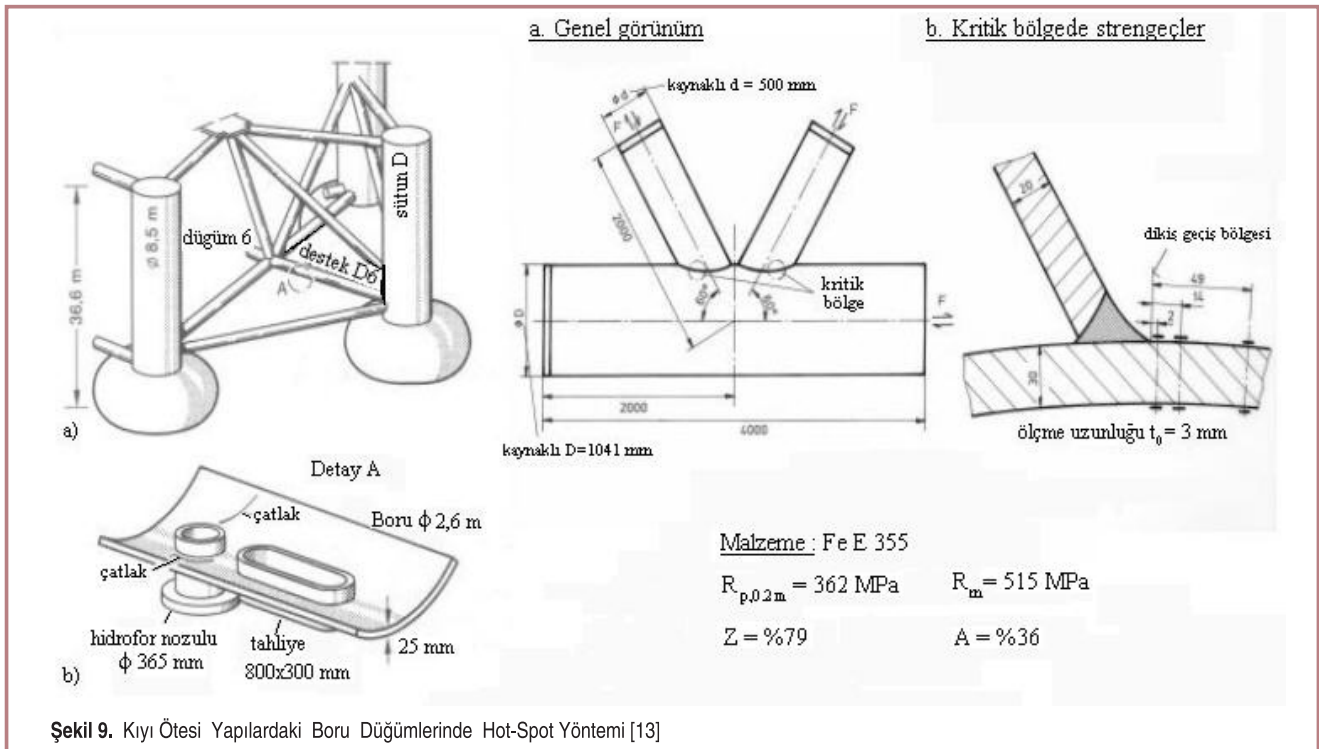
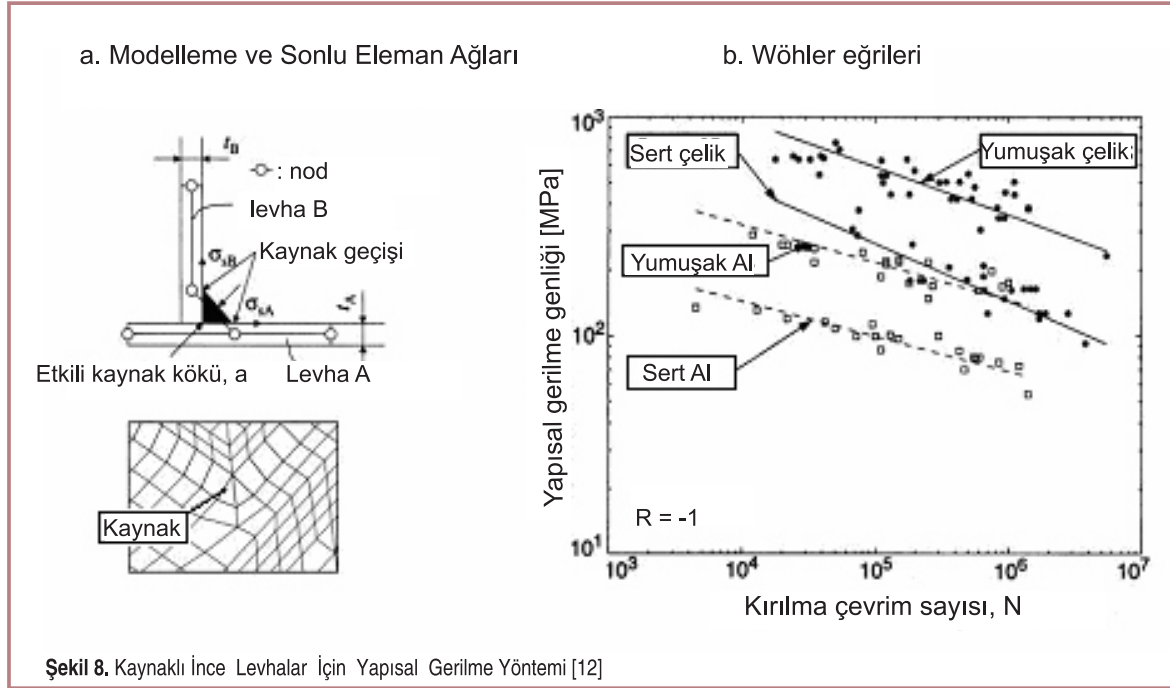
Bu yöntemin, diğer birleştirme tiplerine (kuvvet taşıyan köşe dikişli çapraz birleştirmelere veya tek taraflı uzunlamasına veya enine dikmelere) ve

yükleme durumlarına (örneğin çoğunlukla eğme) uygulanabilirliği henüz incelenmemiştir.

### İnce Levhalar İçin Fermer ve Svensson'a Göre Yapısal Gerilme Yöntemi

İnce levhalı birleştirmeler [12] için,  $t \leq 3$  mm, taşıt tekniğine ait bu uygulama kabuk modelinden yola çıkılarak

yapılmaktadır (Şekil 8). Yapı kabuk elemanlarıyla ağırlandırılmıştır ki burada kaynak dikişi elemanının ince levhadan iki misli daha fazla kalınlıkta olması gerekmektedir. Dikiş yönünde eleman uzunluğu yaklaşık 5 mm olmalıdır. Kaynak dikişini temsil eden elemandaki gerilme, yapısal gerilme olarak değerlendirilir. Farklı kalınlıktaki levhalardan değişik numunelerle yapılan deneylerden, ölçülendirme





amacıyla çelik ve alüminyum için ikişer Wöhler diyagramı bulunmaktadır. Eğer ağırlıklı olarak eğilme zorlaması mevcut ise esnek olarak adlandırılan Wöhler diyagramı geçerlidir. Aksiyal yüklemelerde ise (membran gerilme durumu) rijit Wöhler diyagramları için içine girmektedir.

Yapısal gerilmenin büyüklüğü birleştirilen yapı elemanının formuna ve düzenine bağlıdır. Bunun yanında bu yapısal olay özellikle kaynak dikişindeki enine zorlamalara etki etmektedir. Böylece yapısal gerilme yöntemi her şeyden önce bu yönde meydana gelen zorlamaların dayanım değerlendirmelerine hizmet etmektedir. Kaynak dikişlerinin boylamasına zorlandığı birleştirmeler nominal gerilme yöntemine göre açıklanabilir. Bu yöntemle diğer bir uygulama [21]'de gösterilmiştir.

## Dijkstra ve de Back'e göre Hot-Spot gerilme Yöntemi

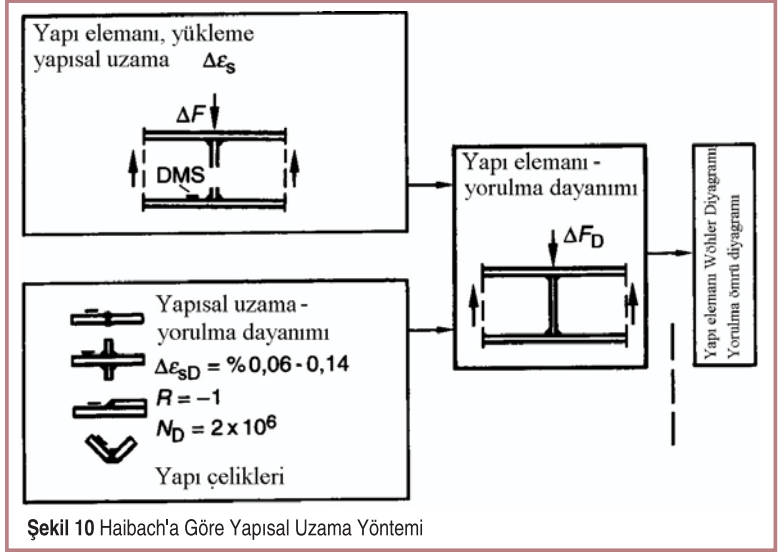
Dijkstra ve Back'e göre Hot-Spot gerilme yöntemi, kıyı ötesi yapı tekniğinin kaynaklanmış boru düğümlerini esas almaktadır (Şekil 9). Hot-Spot kavramı, çatlak başlangıcındaki plastik şekil değiştirme sonucu ortaya çıkan lokal sıcaklık yükselmesiyle ilişkilidir. Kaynaklı boru düğümlerinin yorulma dayanımı sadece yapısal gerilmeler esas alınarak gerçekçi bir şekilde değerlendirilir. Çünkü, boru kabuklarının lokal eğilmesi nedeniyle çentik gerilmeleri yanında nominal gerilmelerde dikkate alınmayan, farklı gerilme yükselmeleri meydana gelmektedir. Bu yöntem, boru düğümünün yorulma dayanımının belirlenmesi için, geometrik olarak benzer bir kaynaklı numunenin dayanılabilir nominal gerilmesiyle kıyaslanan, çatlak başlangıç yerindeki yapısal gerilmenin belirlenmesini esas almaktadır [13].

## YAPISAL UZAMA YÖNTEMİ

### Haibach'a Göre Yapısal Uzama Yöntemi

Haibach'a göre [13, 22, 23] dikiş geçiş bölgesine yakın bir uzaklıkta uzama ölçüm şeridiyle ölçülen uzama, dikiş çeşidi ve zorlama çeşidinden bağımsız olarak kaynaklı birleştirmelerin uzun zaman yorulma dayanımını gösterir (belirler). Ön koşul olarak çatlak, dikiş geçişinde başlatılır (Şekil 10).

Uzama ölçüm şeridinin (UÖŞ) dikiş geçiş çentiğinden uzaklığı, ölçülen yapısal gerilmenin lokal nominal gerilme olarak dikkate alınmasıyla tespit edilir. Yapısal gerilmenin dayanılabilir değeri kaynaklı numunelerin Wöhler deneylerinden elde edilir. Haibach'ın 3 mm uzunluğundaki uzama ölçüm şeridinin dikiş geçiş bölgesi çentiğinden 1,5 ÷ 2,0 mm uzaklıkta (UÖŞ'nin orta noktası) kullanılması önerisi yaklaşık 10 mm kalınlığındaki levhalar için geçerlidir. 5



Şekil 10 Haibach'a Göre Yapısal Uzama Yöntemi

mm'den daha ince levhalar için 1,5 mm uzunluğundaki uzama ölçüm şeridinin 0,75 ÷ 1,0 mm arasındaki uzaklıkta kullanılması tavsiye edilmektedir.

## SONUÇ

Son zamanlarda, kaynaklı birleştirmelerin yorulma dayanımı değerlendirmelerinde nominal gerilme konseptini tamamlayıcı veya alternatif olacak şekilde lokal (yerel) hesaplama yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu lokal yöntemlerden bir tanesi olan yapısal zorlanma konsepti, nominal gerilme konsepti karşısında birleştirme bölgesinde mevcut yapı elemanı geometrisini dikkate almasıyla önemli avantaj sunmaktadır. Bu suretle dalgalı olarak yüklenen kaynaklı yapı elemanlarının nominal gerilme yöntemine göre daha emniyetli ve aynı zamanda daha ekonomik olarak ölçülendirilmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte, kaynak dikiş bölgesinin geometrik oluşumuna bağlı olan tanım değerlerinden dolayı da bir dezavantaj göstermektedir. Ayrıca çeşitli alaşım cinslerinin farklı davranışları da yetersiz olarak dikkate alınmaktadır.

## KAYNAKÇA

1. **Sonsino, C.M. and Kaßner, M.** 2005. Übersicht über Konzepte zur schwingfesten Bemessung von Schweißverbindungen, DVS-Berichte Bd. 236, Düsseldorf.
2. **Haibach, E.** 2002. Betriebsfestigkeit Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung, 2. Auflage, VDI Verlag, Düsseldorf.
3. **Niemi, E.** 1992. Recommendations Concerning Stress Determination for Fatigue Analysis of Welded Components, IIW Doc. XIII-1458-92/XV-797-92.
4. **Niemi, E.** 1995. Recommendations Concerning Stress

- Determination for Fatigue Analysis of Welded Components, Abington Publishing, Cambridge.
5. **Kaßner, M. and Sonsino, C.M.** 2004. Anwendbarkeit von Festigkeitskonzepten für schwingbelastete geschweißte Bauteile, DVS-Berichte Bd. 232, Düsseldorf.
  6. Eurocode Design of Steel Structures - Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings Nr. 3, Commission of the European Community ENV 1993-1-1., Brüssel, 1992.
  7. **Fricke, W., Doerk, O. and Weißenborn, C.** 2004. Vergleich verschiedener Berechnungsmethoden für Strukturspannungen an Schweißkonstruktionen, Konstruktion, 10: 85-91.
  8. **Hobbacher, A., Fricke, F., Haagensen, P., Huther, M., Iida, K., Lieurade, H.P., Maddox, S.J., Marquis, G., Miki, Ch., Niemi, E., Ohta, A., Ørjasaeter, O., Petershagen, H.J. and Sonsino, C.M.** 2005. Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components, IIW Document XIII-1965-03 / XV-1127-03, Paris.
  9. **Dong, P.** 2001. Structural Stress Definition and Numerical Implementation for Fatigue Analyses, International Journal of Fatigue, 23: 865-876.
  10. **Dong, P., Hong, J.K. and Cao, Z.** 2002. Structural Stress Based Master S-N Curve for Welded Joints, IIW Doc XIII-1930-02 / XV-1119-02, International Institute of Welding.
  11. **Xiao, Z.-G. and Yamada, K.** 2004. A Method of Determining Geometric Stress for Fatigue Strength Evaluation of Steel Welded Joints, International Journal of Fatigue, 26: 1277-1293.
  12. **Fermer, M. And Svensson, H.** 2001. Industrial Experiences of FE-Based Fatigue Life Prediction of Welded Automotive Structures, Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 24(7): 489-500.
  13. **Radaj, D. and Sonsino, C.M.** 1998. Fatigue Assessment of Welded Joints by Local Approaches, Woodhead Publishing, Cambridge.
  14. **Eurocode.** 1998. Design of Aluminium Structures - Part 2: Structures Susceptible to Fatigue Nr. 9, Commission of the European Community ENV 1992-2:E, Brüssel.
  15. **FKM.** 2002. Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis, Richtlinie, VDMA-Verlag, Frankfurt am Main.
  16. **Hobbacher, A., Fricke, F., Haagensen, P., Huther, M., Iida, K., Lieurade, H.P., Maddox, S.J., Marquis, G., Miki, Ch., Niemi, E., Ohta, A., Ørjasaeter, O., Petershagen, H.J. and Sonsino, C.M.** 2003. Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components, IIW Document XIII-1965-03 / XV-1127-03, Paris.
  17. **Fricke, W.** 2002. Recommended Hot Spot Analysis Procedure for Structural Details of Ships and FPSOs Based on Round-Robin FE Analyses, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 12: 40-47.
  18. **Niemi, E., Fricke, W. and Maddox, S. J.** 2004. Structural Stress Approach to Fatigue Analysis of Welded Components - Designer's Guide, IIW-Doc. XIII-1819-00/XV-1090-01 (Final Draft), International Institute of Welding.
  19. **Maddox, S.J.** 2002. Hot-Spot Stress Design Curves for Fatigue Assessment of Welded Structures, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 12: 134-141.
  20. **Sonsino, C.M., Radaj, D. and Fricke, W.** 2005. Lokale Konzepte zur betriebsfesten Auslegung von Naht- und Punktschweißverbindungen, DVM-Bericht Nr.132, Berlin, s.21-50.
  21. **Bürger, M., Leontaris, G., Linnig, W., and Streubel-Wingenbach, M.** 2001. Möglichkeiten und Grenzen von Lebensdauersimulationen am Beispiel eines Fahrwerkes, DVM-Bericht, 129: 221-232.
  22. **Haibach, E.** 1968. Die Schwingfestigkeit von Schweißverbindungen aus der Sicht einer örtlichen Beanspruchungsmessung, LBF-Bericht Nr. FB 77, Darmstadt.
  23. **Haibach, E.** 1989. Betriebsfestigkeit Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung VDI-Verlag, Düsseldorf.
  24. **Kim, M., H., Kim, S. M., Kim, Y. N., Kim., S. G., Lee., K. E., Kim, G. R.** 2009. A Comparative Study For The Fatigue Assessment Of A Ship Structure By Use Of Hot Spot Stress And Structural Stress Approaches. International Journal of Fatigue, 36: 1067-1072.
  25. **Kim, M. H., Kang, S. W., Kim, J. W., Kim, K. S., Kang, J.K., Heo, J. H.** 2009. An Experimental Study On The Fatigue Strength Assessment Of Longi-web Connections In Ship Structures Using Structural Stress. International Journal of Fatigue, In Press, Corrected Proof, Available online 26 June.
  26. **Kang, H. T.** 2007. Fatigue Prediction of Spot Welded Joints Using Equivalent Structural Stress. Materials and Design 28: 837843.
  27. **Kang, H. T., Dong, P., Hong, J.K.** 2007. Fatigue Analysis Of Spot Welds Using A Mesh-insensitive Structural Stress Approach. International Journal of Fatigue, 29: 1546-1553.