

CAEfatigue ile Dikiş Kaynak (Seam Weld) Analizi

Hazırlayan	Çeviren
MSC Hexagon	Resul Demir Lider Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 03/08/2022

Otomotivde Dikiş Kaynağı yorulması için kullanılan Hot Spot (Yapısal Gerilme) Gerilme

Genel kaynaklar için kullanılan önceki hot spot geometrik gerilme yaklaşımı, hot spot geometrik gerilme 1B elemanlardaki moment ve kuvvetlerden kolayca elde edilebildiği kiriş tipi yapılardaki dikiş kaynakları için iyi sonuç verir. Aynı şekilde spot kaynakları için de iyi sonuç vermektedir. Ancak genel olarak (özellikle otomotiv endüstrisinde) kaynaklar katı ve sac yapılarda uygulanır. Bunlar, 2B ve 3B elemanlarla FEA kullanılarak standart olarak modellenir. Bu koşullarda, kaynak çentiğini doğrudan modellemek teorik olarak mümkündür (ancak pratik olarak mümkün değildir). Bunun yerine, yorulma davranışı üzerinde iyi bir kontrol sağlayan yapısal bir gerilme konumu oluşturmak için özel bir modelleme stratejisi kullanılır.

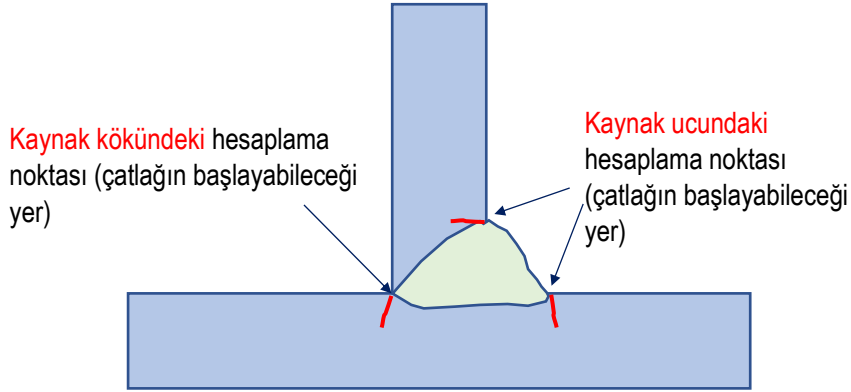
CAEfatigue'de uygulanan dikiş kaynağı yorulma analizi yöntemi, Volvo Car Corporation ve Chalmers Teknoloji Üniversitesi tarafından önerilen yönteme dayanmaktadır (bkz. Fatigue Life Prediction of MAG-Welded Thin-Sheet Structures”, by Mikael Fermér, Magnus Andréasson and Björn Frodin. SAE Technical Paper 982311, 1998). Yöntem, Gerilme-Ömür yaklaşımını ilgili dikiş kaynakları için özel olarak geliştirilmiş özel S-N verileriyle birlikte kullanır. Bu yöntem bir yapısal gerilme yaklaşımıdır. Bu tür yöntemler, temel yapısal mekaniğin teorisine dayanmaktadır. Yapısal gerilme, kaynak profilinin neden olduğu lokal geometrik etkiyi ihmal eden, kaynak ucu veya kaynak kökü kesitindeki hot spot gerilmesi olarak tanımlanır. Yöntem, tipik olarak Nastran'da CQUAD4 elemanları kullanılarak modellenen ince sac (1-3 mm) kaynaklı yapılar için uygundur.

Bu yaklaşım, aşağıda açıklandığı gibi özel modelleme yöntemlerinin izlenmesini gerektirir. Yapı, ağırlıklı olarak metal levhaların orta yüzeylerini temsil eden CQUAD4 elemanları (veya eşdeğeri) ile modellenmelidir. Kaynağın kendisi, tek veya çift sıra kabuk elemanlarla temsil edilmelidir. Kaynağın etrafındaki sonlu eleman ağı, mümkünse yaklaşık 4-6 mm boyutunda elemanlarla düzenli olmalıdır (pratikte elemanların boyutu kaynağın boyutlarına göre belirlenebilir). Kaynak bölgesinin yakınında üçgen elemanlar kullanılmamalıdır.

Bendingin toplam gerilmeye katkısı hesaplanır ve bu, kaynağın “sert” veya “esnek” olup olmadığını belirler. Bu 2 bending oranı için farklı bir S-N eğrisi gerekir ve bükülme derecesine göre eğriler arasında interpolasyon yapılır.

Köşe bölgelerindeki kaynaklar için çözümler

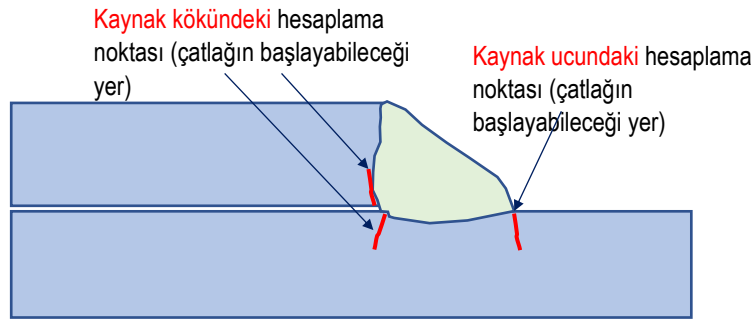
Bir pah kaynağı, iki tabakayı belirli bir açıyla birleştiren bir Metal İnerit Gas (MIG) veya Metal Active Gaz (MAG) kaynağıdır. Aşağıda gösterilen kaynak, tek taraflı bir kaynaktır. Kaynak ucunda veya kaynak kökünde en olası yetmezlik (yorulma çatlak) yerleri işaretlenir. Yorulma hasarının değerlendirileceği yerlerdir. Bir kaynak kalitesiz olmadıkça veya kaynak dikişi yetersiz boyutlandırılmadıkça, kaynak boğazının yetmezlik göstermesi beklenmez.



Figür 1: Muhtemel yetmezlik konumlarını gösteren köşe kaynağı kesiti

Overlap

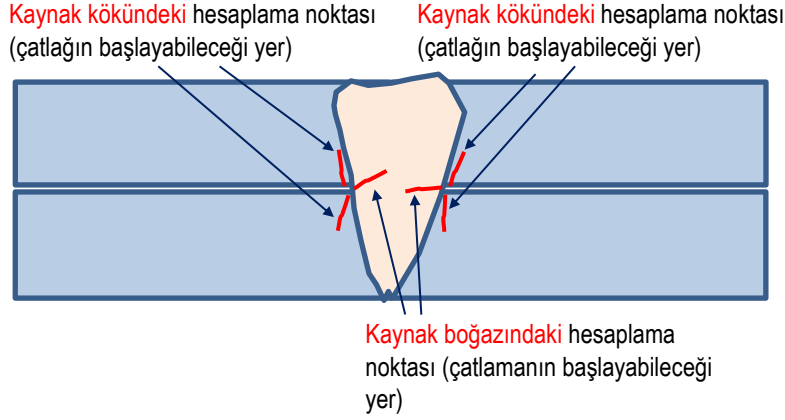
Overlap kaynağında, kaynak yapılan parçaların paralel olması dışında tip olarak pah kaynağına benzer. İşaretlenmiş olası yetmezlik bölgeleri analiz sonucunda yorulmanın görüleceği yerlerdir.



Figür 2: Muhtemel yetmezlik konumlarını gösteren overlap kaynağı kesiti

Lazer Overlap

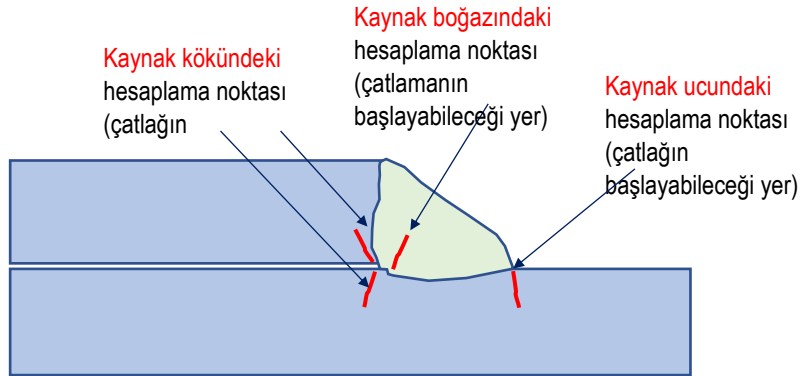
Lazer overlap kaynağında, kaynak köklerinde yaşanılacak yetmezliklere ek olarak kaynağın kendisinin çatlamasıdır. Olası yetmezlik bölgeleri aşağıda gösterilmiştir.



Figür 3: Muhtemel yetmezlik konumlarını gösteren lazer overlap kaynağı kesiti

Lazer Edge Overlap

Lazer edge overlap kaynakları, kaynak dikişinin küçük boyutları nedeniyle kaynak boğazından geçme olasılığı olması dışında, overlap kaynaklarına çok benzer bir şekilde işlenir.



Figür 4: Muhtemel yetmezlik konumlarını gösteren lazer edge overlap kaynağı kesiti

Modelleme yönergeleri ve hesaplama noktaları

Farklı kaynak türleriyle ilgili özel modelleme yönergelerine uyulmalıdır. Her şeyden önce, analiz edilecek yapılar ağırlıklı olarak metal levhaların orta yüzeylerini temsil eden 4 düğümlü dörtgen elemanlar (CQUAD4 veya eşdeğeri) ile modellenmelidir. Kaynak parçası, tek veya çift sıra kabuk ile temsil edilmelidir. Kaynağın etrafındaki sonlu eleman ağı, yaklaşık 5 mm boyutunda elemanlarla düzenli olmalı ve kaynağın yakınında üçgen elemanlardan kaçınılmalıdır.

Kaynak dikişini temsil eden elemanlar kaynağı tanımlamak için kullanılır ve bu elemanlar her kaynak veya kaynak tipi için farklı özellik atanmalıdır. Ek olarak, kaynak elemanı normalleri, normaller dışarıyı, yani kaynakçıya doğru bakacak şekilde hizalanmalıdır (Lazer Overlap kaynaklar hariç).

Düğüm noktalarındaki gerilmeler, kaynak elemanlarına bitişik olan kaynak uç ve kaynak köklerindeki elemanlara bağlı olarak hesap edilir ve yorulma hesaplarını yapmak için kullanılır.

Kaynak boğazı hesaplamalarının yapıldığı yerde, kaynak uç elemanından gelen merkez gerilmesi kullanılır (düğümlerin ortalaması alınır).

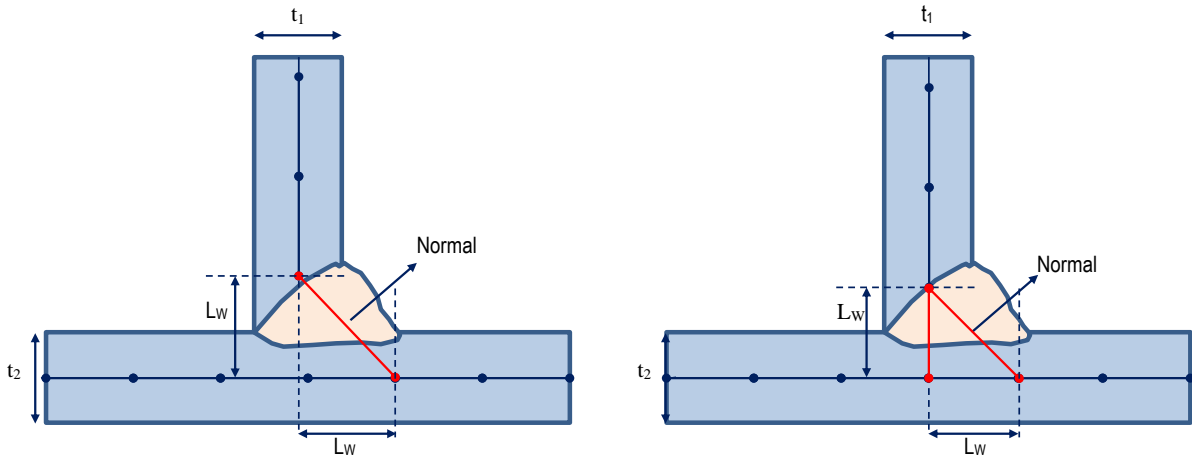
Geçmişte, kaynak uçlarının şekil (a)'da gösterildiği gibi "kapatılması" tavsiye edilmiştir. Bununla birlikte, FE gerilmelerini kullanırken, (b)'de gösterilen gibi basitleştirilmiş bir yaklaşım, inşa edilmesi önemli ölçüde daha kolay olmakla birlikte oldukça iyi sonuçlar vermektedir.



Figür 5: Kaynak uçlarının basitleştirilmiş modellemesi. Yaklaşım (b) yeterlidir.

Fillet

Fillet kaynakları, aşağıda (a)'da gösterildiği gibi bir sıra eğimli kabuk eleman veya aşağıda (b)'de gösterildiği gibi iki sıra ile modellenebilir.



(a) Tek eğimli eleman

(b) iki sıra eleman

Figür 6:

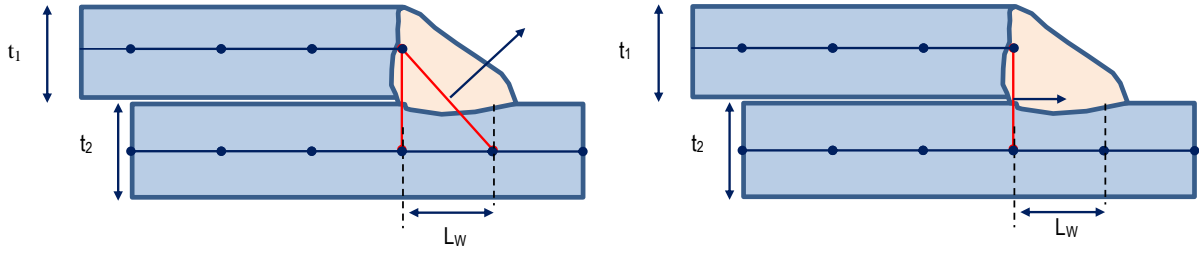
- Kaynak elemanlarına farklı özellikler atanmalıdır.
- Kaynak elemanı normali "kaynakçıya doğru" olmalıdır.
- Kaynak elemanlarının düğüm noktaları kaynak ucu ile aynı hizada olmalıdır.
- L_w uzunluğu, kaynak ucunun gerçek boyutlarına göre belirlenmelidir. Öneri olarak

$$L_w = t_1 + t_2$$

- Kaynak elemanının kalınlığı, tipik olarak $L_w/2$ olmak üzere kaynak boğazı kalınlığını temsil etmelidir.

Overlap ve Laser Edge Overlap Kaynakları

Overlap ve Laser Edge Overlap kaynakları, kaynak parçasının boyutlarının bir Laser Edge Overlap kaynağı için daha küçük olması dışında aynı şekilde modellenir. Köşe kaynağı modellemesiyle prensipler aynıdır; kaynak ucunun çizgisi boyunca bir sıra düğüm ve kaynağı modellemek için kullanılan 1 veya 2 sıra eleman, bu kaynak elemanlarının kalınlıkları kaynak boğazını temsil edecek şekilde oluşturulmalıdır.

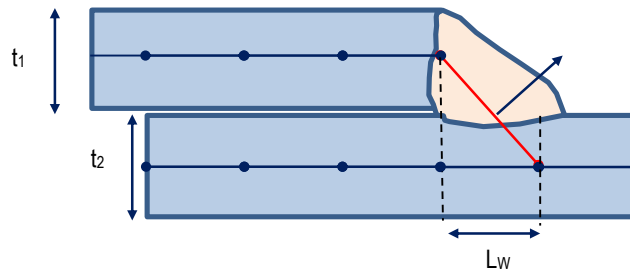


Figür 7: Overlap ve Laser Edge Overlap Weld İki Eleman ve Bir Eleman Yaklaşımı

Overlap kaynakları için tipik bacak uzunluğu $L_w = t_1 + t_2$ ve kaynak elemanı kalınlığı $0,27 \times (t_1+t_2)$ civarında olmalıdır.

(b)'de gösterildiği gibi, çift sıralı elemanları tek bir sıra ile değiştirerek yaklaşım basitleştirilebilir. Bu yöntem, Laser Edge Overlap kaynakları için daha uygundur, çünkü kaynak boğazı yorulma hesaplamalarının yapılmasına olanak tanır; makul kaynak boğazı gerilmeleri, kullanılacak tek bir eleman sırasını gerektirir.

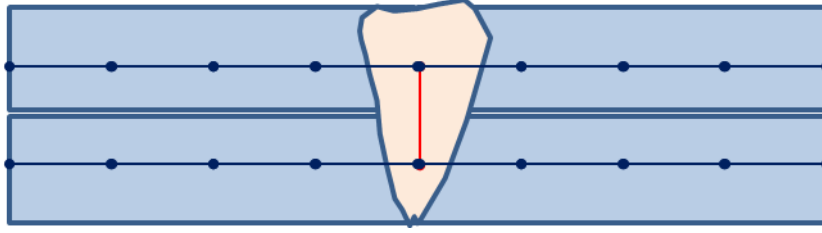
Bu durumda, Overlap kaynakları için, kaynak elemanı kalınlığı, iki tabakanın daha ince olanın kalınlığının 2 katına, ancak her durumda 3 mm'den az olmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Laser Edge Overlap kaynakları için, kaynak elemanının kalınlığı, üst sac kalınlığının yaklaşık 0,7 katı olacak olan kaynak boğazına karşılık gelmelidir.



Figür 8: Overlap ve Laser Edge Overlap Weld Alternatif Yaklaşım

Lazer Overlap Kaynak

Lazer Overlap kaynaklar için, kaynak elemanının kalınlığı kaynak genişliğini temsil etmelidir. Kaynak genişliği, daha ince sacın kalınlığının %90'ı olmalıdır, ancak her durumda 1 mm'den az olmamalıdır.



Figür 9: Lazer overlap weld

Hesaplama noktaları ve gerilme değerleri

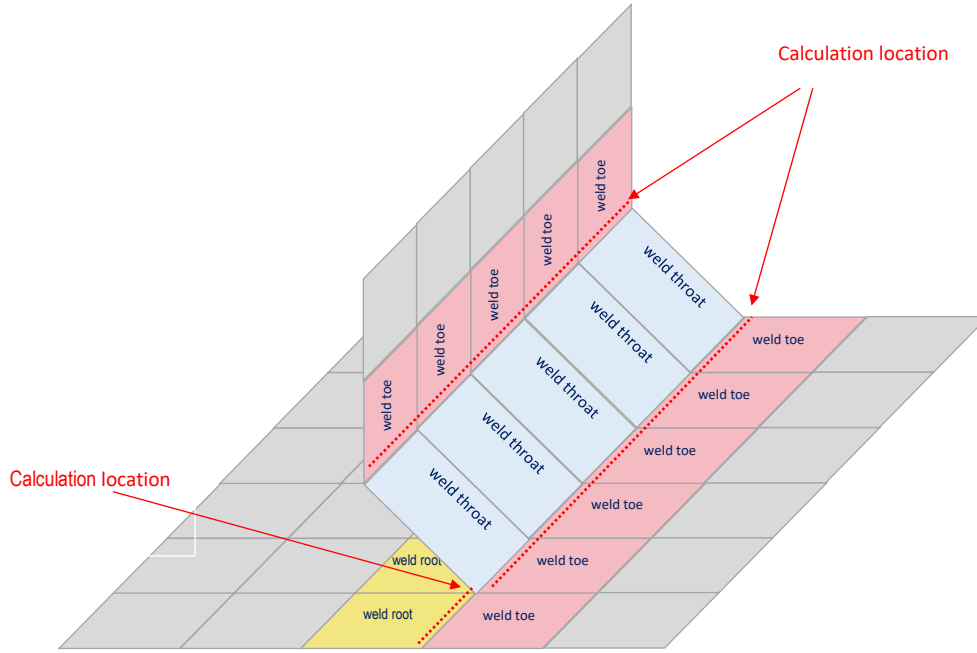
Her kaynak türü için doğru hesaplama noktaları ve ilgili gerilmeler tanımlanmalıdır. Genel olarak, bu süreç.

- Kaynak ucu ve kaynak kökü elemanlarını tanımlanması.
- Kaynak elemanları ile paylaşılan bu elemanlar üzerindeki düğümlerin tanımlanması.
- Her bir elemanın hangi yüzeyinin (Z1 [alt] veya Z2 [üst]) "kaynak üstü" yüzey olduğunu, yani çatlak gelişiminin tahmin edildiği yüzey olduğunun belirlenmesi. Bu, kaynak ucunun yönüne veya kök elemanın normal yönüne bağlıdır.
- Her bir elemanın her iki yüzeyi için, önce "kaynak üst" yüzeyi ile eleman koordinatlarındaki gerilmelerin recover edilmesi.
- Kaynak ucu ve kök elemanları için gerilmeler, avarajlanmamış düğüm noktasındaki gerilmelerdir.
- Kaynak boğaz elemanları için, lokal (eleman) koordinatlarında düğümlerden merkeze gerilmelerin ortalaması alınır.

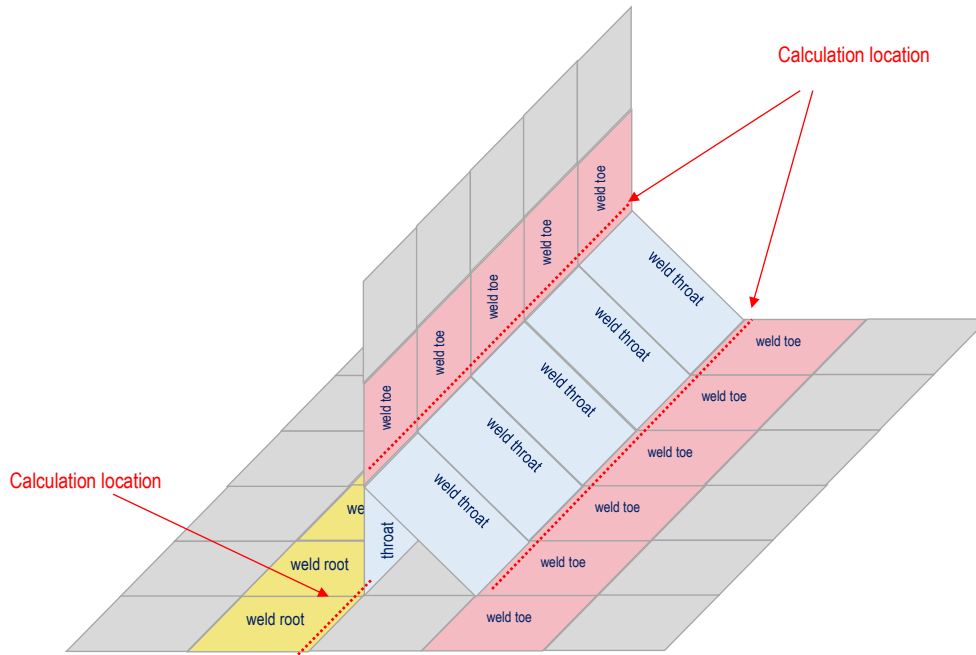
Her eleman türü için özel kurallar.

Fillet Kaynakları

Fillet kaynakları için, kaynak ucu ve kök elemanlar aşağıda gösterilmiştir. Kaynak boğazı elemanları analiz için kullanılmaz. Kaynak burun elemanları (weld nose), kaynak boğaz elemanları (weld throat) ile ortak düğüm noktası paylaşan kaynağın önündeki elemanlardır. Kaynak hattının sonundaki elemanlar isteğe bağlıdır.



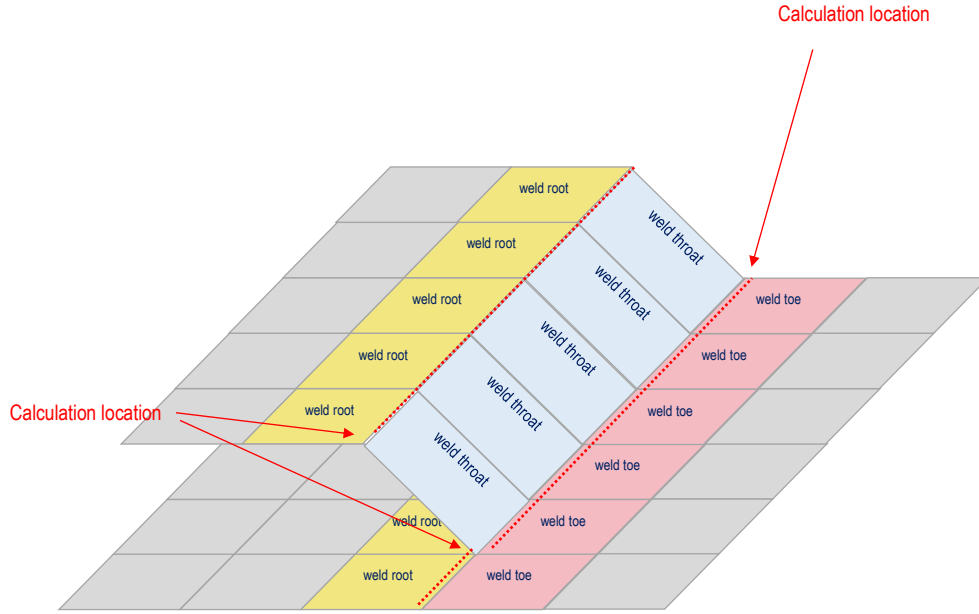
Figür 10: Fillet kaynaklarının analiz için kaynak ucu ve kök elemanlar (tek eleman yöntemi)



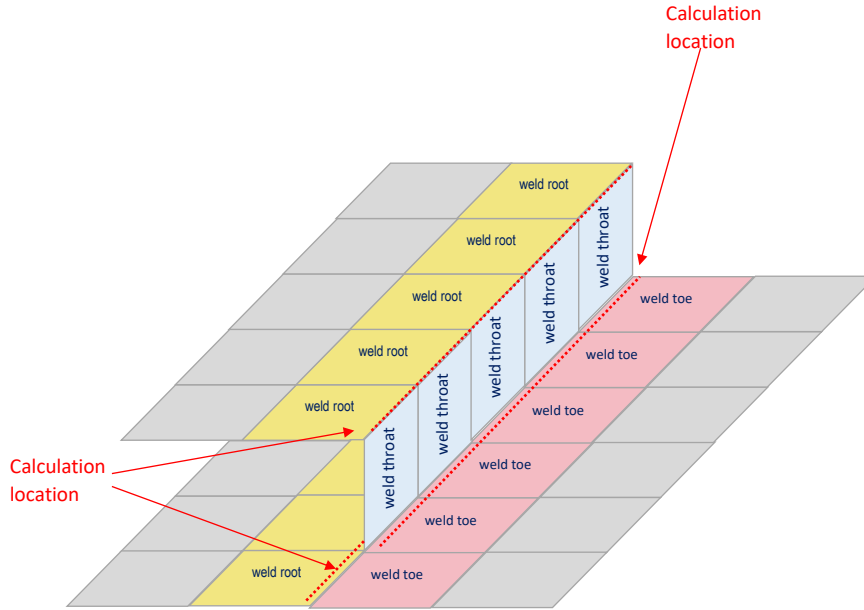
Figür 11: Fillet kaynaklarının analiz için kaynak ucu ve kök elemanlar (iki eleman yöntemi)

Overlap Kaynak

Kaynak boğazı elemanları analiz için kullanılmaz. Yine kaynak hattının sonundaki elemanlar isteğe bağlıdır.



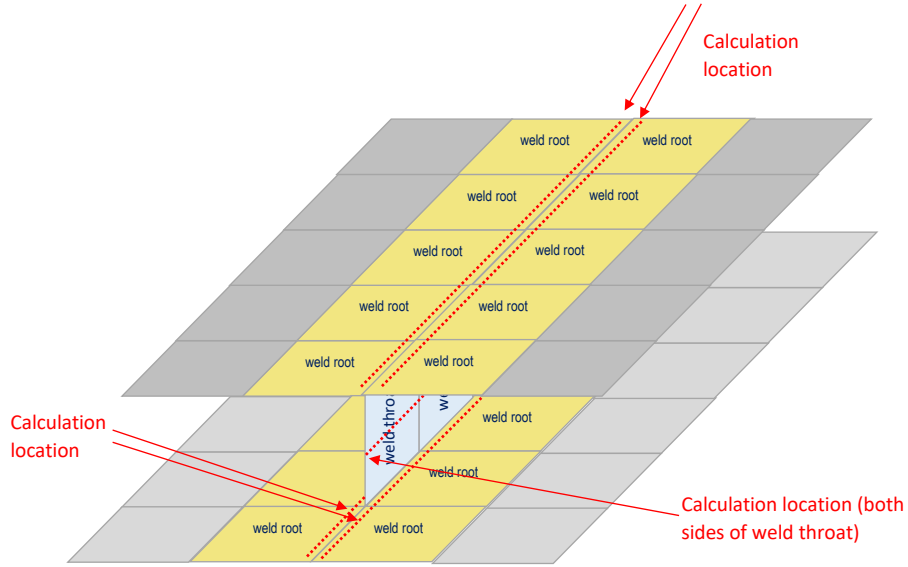
Figür 12: Overlap kaynaklarının analizi için kaynak ucu ve kök elemanlar (tek eleman yöntemi)



Figür 13: Overlap kaynağı için kaynak ucu ve kök hesaplama noktaları ve yüzeyler - tek eğimli eleman yöntemi

Lazer Overlap Kaynakları

Lazer Overlap kaynakları için, kaynak kökü ve boğaz elemanları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Kaynak boğazının her iki tarafından bir çatlak başlayabileceğinden, kaynak boğaz elemanının her iki tarafı da dikkate alınmalıdır. Yine kaynak hattının sonundaki elemanlar isteğe bağlıdır.

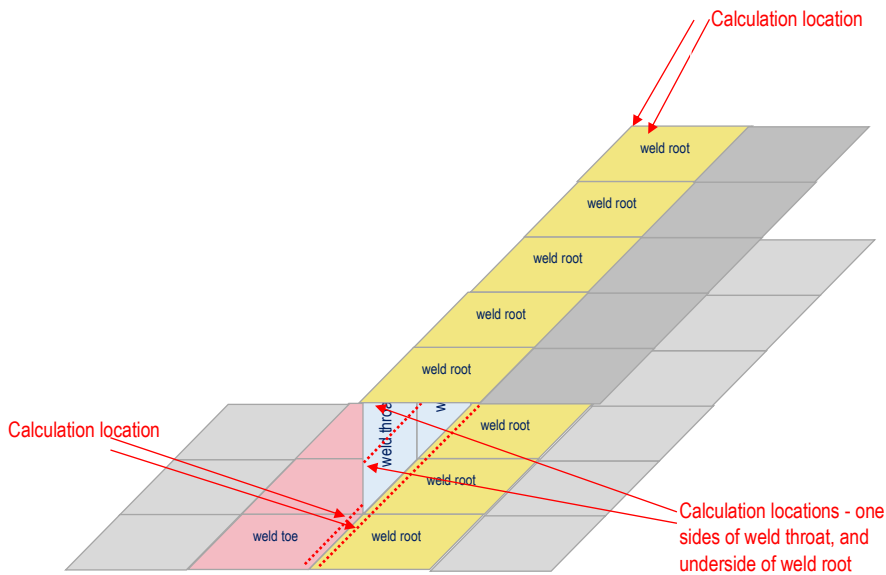


Figür 14: Lazer overlap kaynağı için kaynak kökü ve boğaz hesaplama noktaları ve yüzeyleri - tek dikey eleman yöntemi

Lazer Edge Overlap

Lazer Edge Overlap kaynakları, kaynak boğazının da hesaplanabilmesi dışında, overlap kaynaklarıyla aynı şekilde işlenir. Bu durumda, kaynağı temsil etmek için tek bir eleman sırası kullanmak önemlidir. Çift sıra eleman, gerçekçi kaynak boğazı gerilmeleri oluşturmaz.

Lazer Edge Overlap kaynağı için hesaplama noktaları ve yüzeyler aşağıda gösterilmiştir.

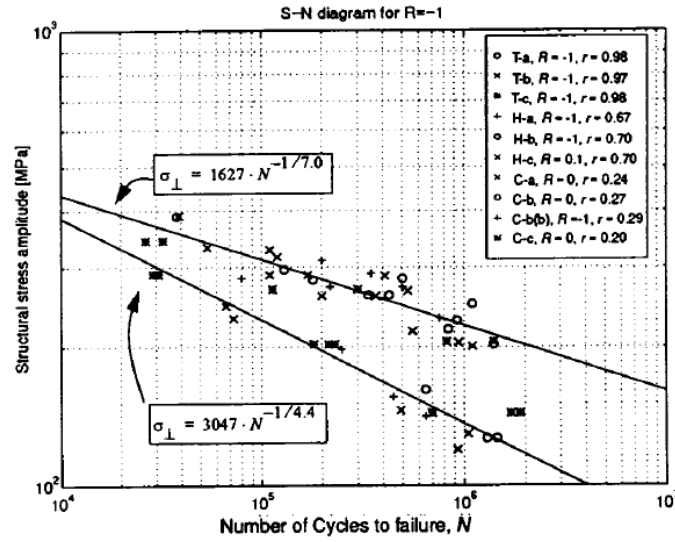


Figür 15: Lazer edge overlap kaynağı için kaynak ucu, kök ve boğaz hesaplama noktaları ve yüzeyler - tek dikey eleman yöntemi

Dikiş kaynakları için malzeme verileri

Kaynak hattı boyunca yapısal gerilmenin S_s , yorulma yetmezliğine yol açan gerilme durumu ile ilişkili olduğu varsayılır ve yöntemde yapısal gerilme olarak kullanılır. Malzeme verileri de aynı yapısal gerilmenin bir fonksiyonu olarak sunulmalıdır.

Gerçek yorulma testlerinden F-N (Kuvvet-Ömür) ilişkileri, S-N (Gerilme-Ömür) ilişkileri kurmak için önerilen yöntem kullanılarak hesaplanan maksimum yapısal gerilmeler, S ile birlikte kullanılmıştır.



Figür 16: Gerçek yorulma testlerinden ve hesaplanan yapısal gerilmelerden elde edilen Yorulma S-N eğrileri

[orijinal Fermier makalesin egöre]

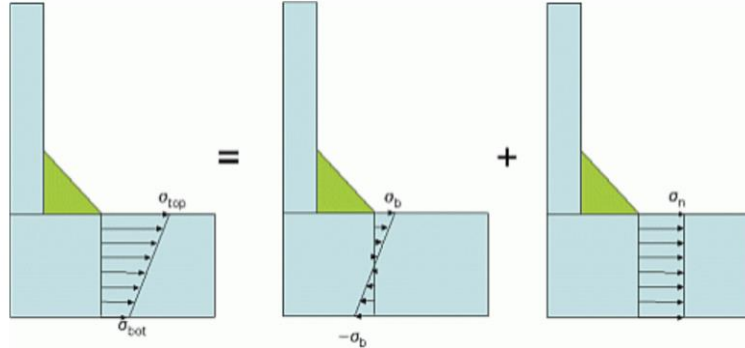
Gerçek yorulma testi sonuçlarına dayanarak, iki farklı S-N eğrisi tanımlanmıştır: birinde hat boyunca bending momenti ve diğesinde kaynak hattına dik olan normal kuvvet baskındır.

Aşağıda tanımlanan r oranı, normal kuvvet baskın yük durumlarını bending baskın yük durumlarından ayırmak için kullanılır [5].

$$r = \frac{|\sigma_b|}{|\sigma_b| + |\sigma_n|} \quad 0 \leq r \leq 1$$

$$r = \frac{|\sigma_{eq,top} - \sigma_{eq,bot}|}{|\sigma_{eq,top} + \sigma_{eq,bot}| + |\sigma_{eq,top} - \sigma_{eq,bot}|} \quad 0 \leq r \leq 1$$

Eğilme gerilimi σ_b ve membran veya normal gerilim σ_n aşağıdaki gibi hesaplandığında (2 gerilmenin ayrılması gerektiğine dikkat edilir).



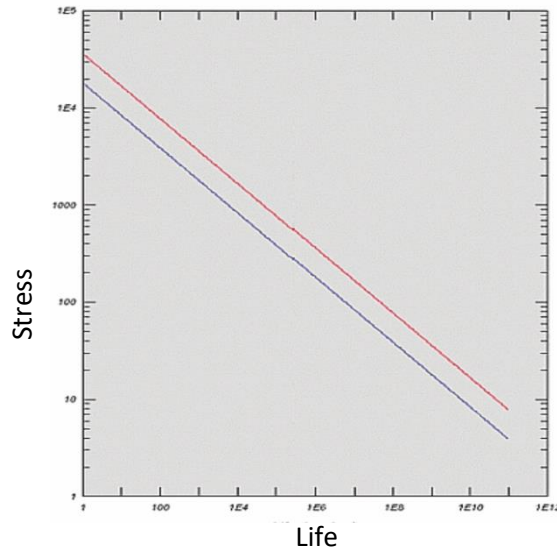
Figür 17: Gerilme Dağılım Görseli

Zaman alanında r için ortalama bir değer aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$r = \frac{\sum_n r \cdot \sigma_{eq,top}^2}{\sum_n \sigma_{eq,top}^2}$$

Frekans alanında, bir dizi faz açısı için r 'yi hesaplamamız ve ardından uygun değeri fazın bir fonksiyonu olarak kullanmamız gerekecek. Bu hesaplamada, yalnızca üst yüz için her eleman düğümünde en büyük FRF frekansını kullanılır.

1'den fazla yük koşulu varsa, her bir yük koşulu için hesaplama yapılır ve ortalama bir " r " değeri alınır.



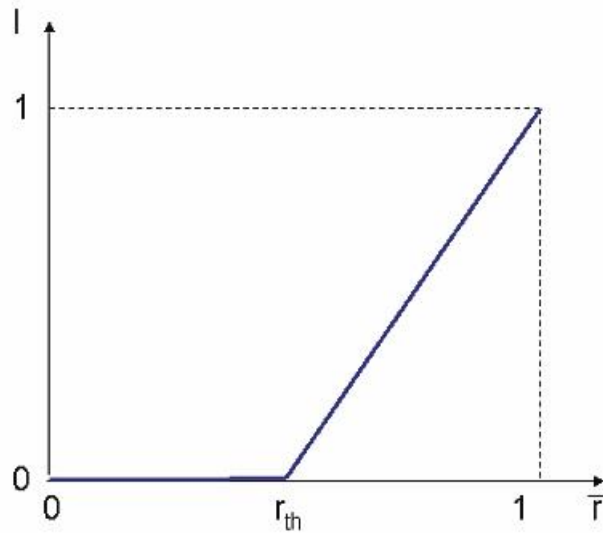
Figür 18: S-N Grafiği

Ardından, $r = r_{th}$ için bir eşik değeri tanımlanır ve aşağıdaki prosedürü kullanarak eğriler arasında enterpolasyon yapılır,

0 ile r_{th} arasında r için $I=0$

r için r_{th} ve 1.0 arasında $I=(r-r_{th})/(1-r_{th})$

r_{th} 'nin varsayılan değeri 0,5'tir. Yani, aşağıdaki grafikte I - r eğrisi paylaşılmıştır.



Daha sonra enterpolasyonlu SN eğrisini (SRI_1 , b_1 , b_2 , SE için değerler) aşağıdaki şekilde hesaplanır. 1 çevrimdeki gerilme aralığı aşağıdaki şekilde verilir:

$$SRI_{int} = SRI_{stiff} + (SRI_{flex} - SRI_{stiff}) \cdot I$$

$Nc1_{int}$ geçiş noktası şu şekilde verilir:

$$Nc1_{int} = 10^{[\log_{10} Nc1_{stiff} + (\log_{10} Nc1_{flex} - \log_{10} Nc1_{stiff}) \cdot I]}$$

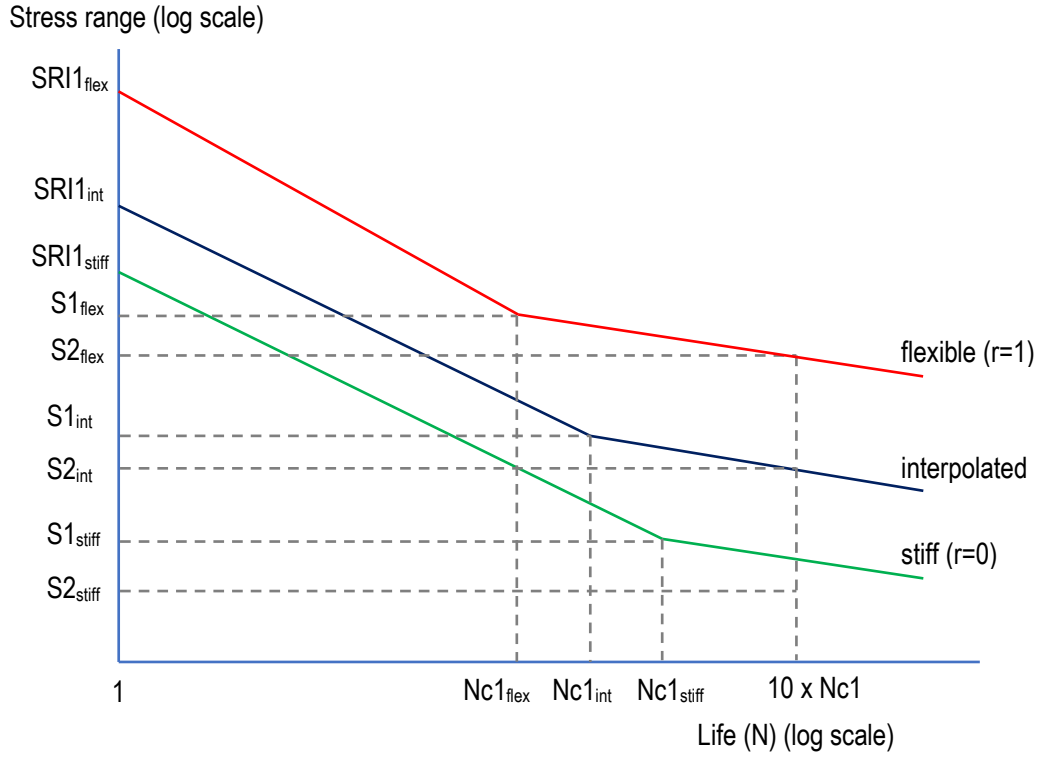
$Nc1_{int}$ çevrimdeki gerilme seviyesi şu şekilde verilir:

$$S1_{int} = S1_{stiff} + (S1_{flex} - S1_{stiff}) \cdot I$$

Bu iki nokta, eğrinin $Nc1_{int}$ çevrimlerine kadar olan ilk bölümünü tanımlar. Son bölüm, aşağıdaki gibi üçüncü bir nokta bulunarak tanımlanır. Sert ve esnek eğriler için $Nc1$ değerlerinden 10 kat büyük olan bir ömür değeri tanımlanır. Bunlardan $s2_{flex}$ ve $s2_{stiff}$ 'i hesaplayabiliriz. Bunlardan, eğrinin yüksek çevrim kısmını tanımlayan $s2_{int}$ elde etmek için enterpolasyon yapabiliriz.

$$S2_{int} = S2_{stiff} + (S2_{flex} - S2_{stiff}) \cdot I$$

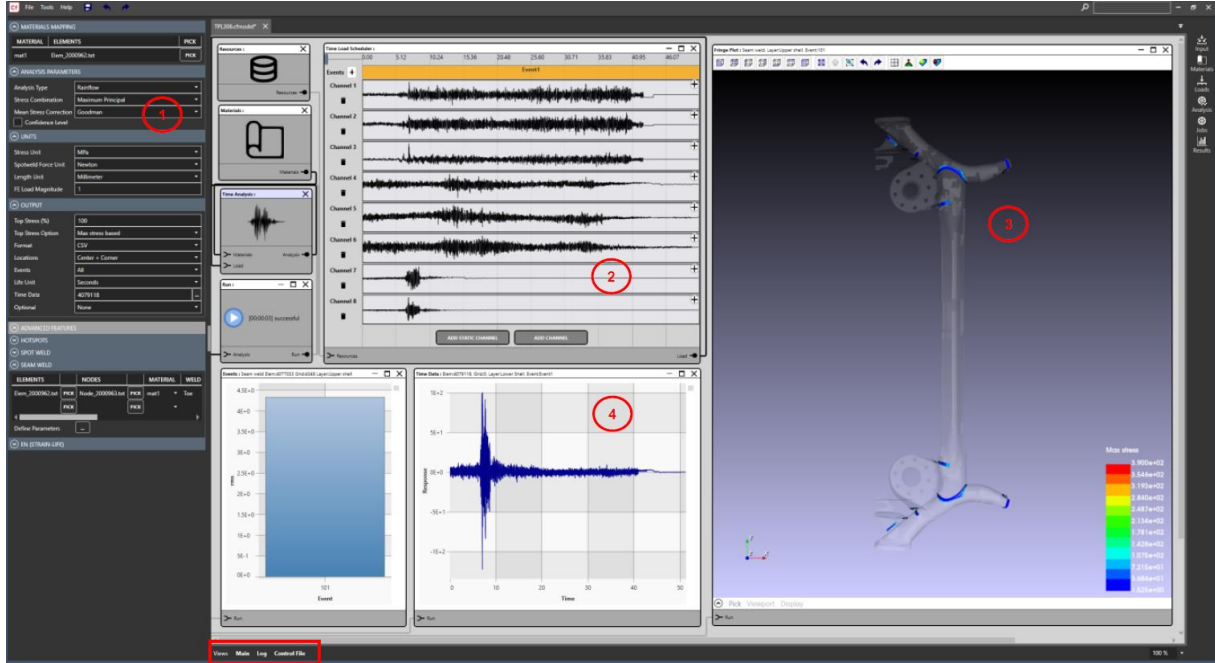
Bu, aşağıda gösterildiği gibi farklı bending oranları için bir dizi S-N eğrisinin oluşturulmasına izin verir. Yalnızca bir S-N eğrisi varsa, doğrudan enterpolasyon olmadan kullanılacağına dikkat edin.



Figür 19: Farklı Bending Oranları için S-N Eğrileri

CAEfatigue ile dikiş kaynak analizi örneği

Bu örneğin amacı, bir aks modelindeki dikiş kaynakları için zaman düzleminde doğrusal statik süperpozisyon analizini çalıştırmaktır. Bu analiz, CAEfatigue içerisinde hazır bulunan Process Flow Templateleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Figür 20: Bir aks montajı analizinin process flow görünümü

Yukarıda gösterilen ilk analiz standart bir lineer statik süperpozisyon analizidir

- Maksimum Principal gerilme çıktısı (yukarıda 1 olarak gösterilmiştir).
- Girdi yüklemesi, 8 kanallı bir zaman datası (yukarıdaki 2 olarak gösterilmiştir).
- Maksimum gerilme değeri incelenecektir (yukarıda 3 olarak gösterilmiştir). Not: sonuçlar yalnızca üst yüzeydedir.
- Maksimum gerilme- Zaman çıktısı alınacaktır (yukarıdaki 4).

Analyze girdi olarak verilen malzeme özellikleri aşağıda verilmiştir.

MATERIALS

ACTIVE	NAME	MATERIAL UNIT	STRESS UNIT
<input checked="" type="checkbox"/>	mat1	MPa	Range
<input type="checkbox"/>			

Material Type: Custom

Material Property: Seamweld SN Add

STATIC

Yield Strength	
Ultimate Tensile Strength	18000
Youngs Modulus	2.15e5
Standard Error	0.4
Material Type	Ferrous
Material Code	99

SEAMWELDSN

TYPE	SR11	B1	NC1	B2	NFC	SE
SNI						
SNI						

Stiff Seamweld: SRI1 = 0, b1 = 18000, Nc1 = 215000, b2 = 0, Nfc = 1e+30, SE = 0.1
 Flex Seamweld: SRI1 = 0, b1 = 18000, Nc1 = 215000, b2 = 0, Nfc = 1e+30, SE = 0.1

MATERIALS MAPPING

MATERIAL	ELEMENTS	PICK
mat1	Elem_2000962.txt	PICK

ANALYSIS PARAMETERS

Analysis Type: Rainflow
 Stress Combination: Maximum Principal
 Mean Stress Correction: Goodman
 Confidence Level

UNITS

Stress Unit: MPa
 Spotweld Force Unit: Newton
 Length Unit: Millimeter
 FE Load Magnitude: 1

OUTPUT

Top Stress (%): 100
 Top Stress Option: Max stress based
 Format: CSV
 Locations: Center + Corner
 Events: All
 Life Unit: Seconds
 Time Data: 4079118
 Optional: None

ADVANCED FEATURES

HOTSPOTS
 SPOT WELD
 SEAM WELD

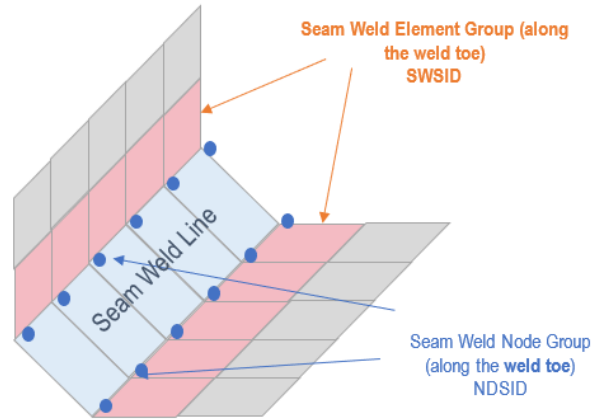
ELEMENTS	NODES	MATERIAL	WELD
Elem_2000962.txt PICK	Node_2000963.txt PICK	mat1	Toe

Define Parameters: --

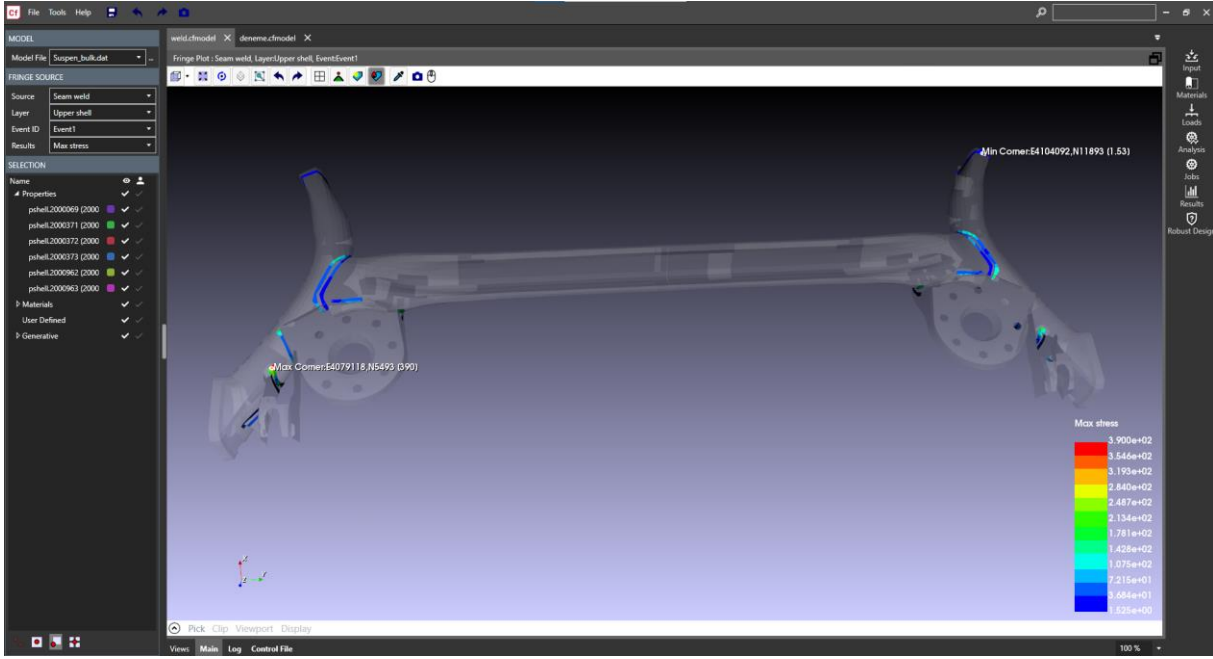
EN (STRAIN-LIFE)

Not:

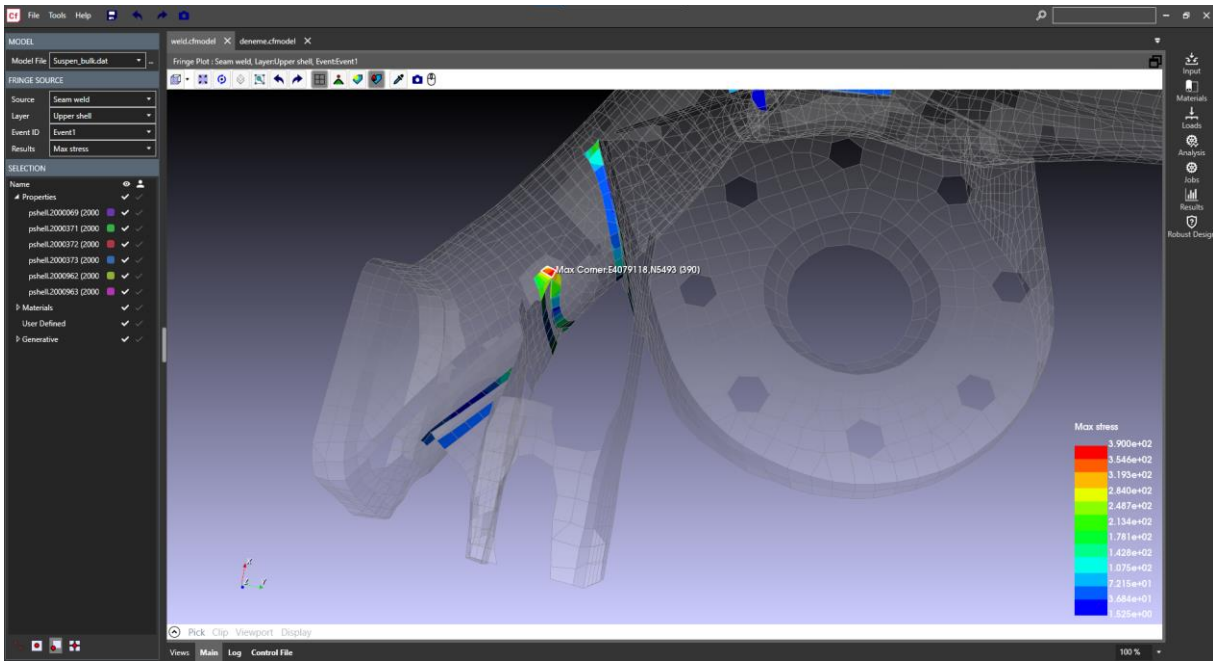
- Bu analiz, bir Goodman ortalama gerilme düzeltmesi ile bir von Mises gerilim çıktısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
- OP2 dosyasındaki birimler MPa'dır.
- Analizde, bir eleman için bir zaman gerilme çıktısı istenmiştir.
- Dikiş Kaynağı analizinde, kaynak hattının (SWSID) her iki tarafındaki elemanı tanımlamak için FSET3 dosyası Elem_2000962'yi ve kaynak hattı elemanlarının (NDSID) her iki tarafındaki düğümleri tanımlamak için FSET3 dosyası Node_2000963'ü kullanılmıştır.



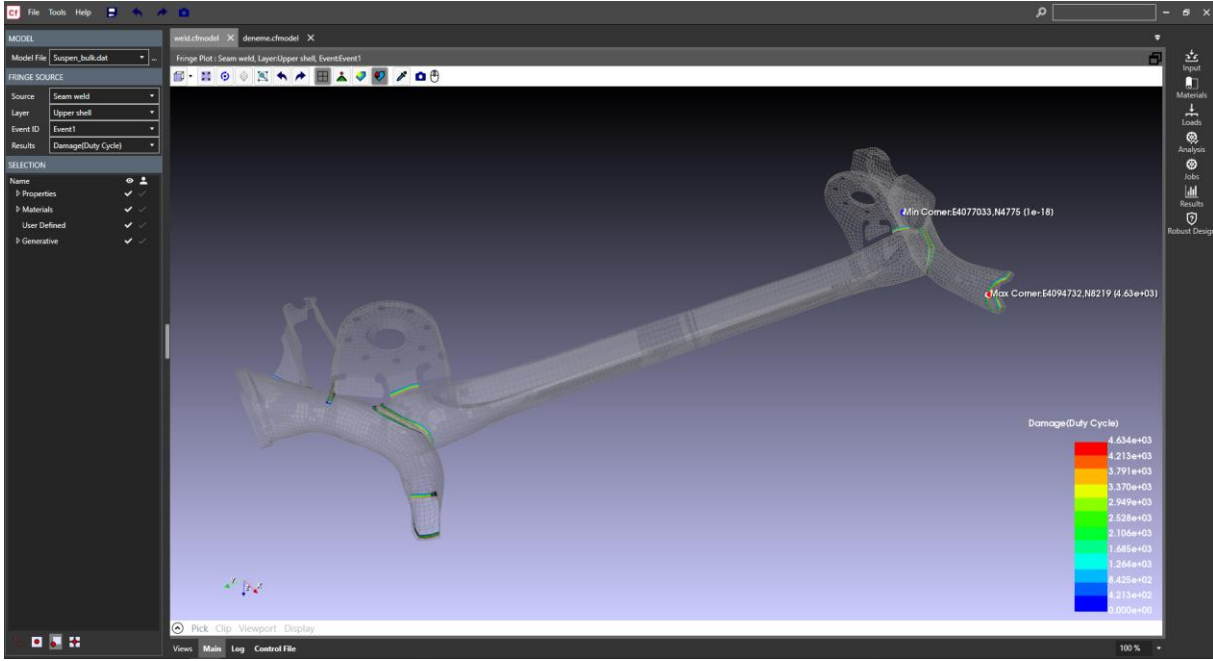
Analiz sonucunda maksimum gerilme 390 MPa olarak elde edilmiş ve yorulma analiz sonucunda ilgili kaynak bölgelerinde hasar oranının 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir.



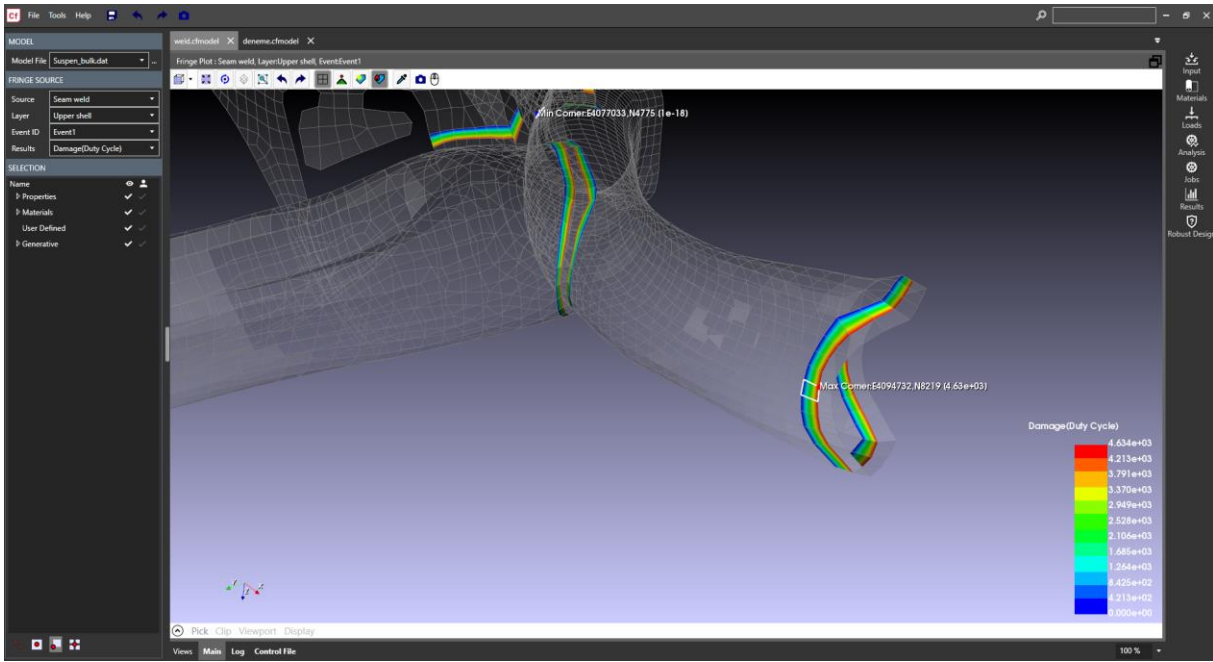
Figür 21: Maksimum Gerilme görseli



Figür 22: Maksimum Gerilme görseli



Figür 23: Maksimum Hasar Görself



Figür 24: Maksimum Hasar Görself

REFERANS

- I. Reference information about Seam and Spot Weld Analysis, CAEfatigue Limited, 2019