

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ İÇİN HAZIRLANAN ARAŞTIRMA RAPORU

Doç.Dr.Ahmet Necati YELGİN

**KAYNAKLI BAĞLANTILARIN DEĞİŞKEN ve ÇOK EKSENLİ YÜKLER
ALTINDAKİ ULTRA DÜŞÜK ÇEVİRİMLİ (UDÇY) YORULMA DAVRANIŞI**

Araştırma Planı Özeti

Kaynaklı bağlantıların, Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) ve çok eksenli, farklı genlikteki yüklemeler altındaki hasar oluşumu, karmaşık ve henüz tam olarak anlaşılamamış bir olaydır. Bu olay, sismik veya sert rüzgâr gibi aşırı yüklemelere maruz kalan güvenlik ve çevre ile ilgili yapılar için (yer üstü petrol tankları, rüzgâr tribünleri için direkler, basınç tankları, boru kesitli köprü ayakları) özel önem teşkil etmektedir. Örneğin, yer üstü petrol depoları için aşırı sismik yükleme koşulları depo tabanının yükselmesine sebep olabilmektedir. Çok değişken ve farklı genliklerde olabilen bu yüklemeler, depo ve alt plaka arasındaki kaynak bağlantısı bölgesinde aşırı plastik deformasyonlara sebep olmaktadır. Benzer olarak, Köprü Taşıyıcılarında, Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) ile oluşan köprü yıkılmaları, insan ölümleri ve ekonomik kayıplara neden olan kırılmalar da gözlemlenmektedir. Çok eksenli yüklemelere maruz kalan kaynaklı bağlantıların Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) karşısında gösterdikleri davranış hakkında çok az bilgi mevcuttur. Özellikle, doğruluğu onaylanmış bilginin varlığı, mevcut olan depoların güvenlik açısından değerlendirilerek, bu depolarda oluşabilecek kaçakların doğurabileceği güvenlik ve çevresel risklerden kaçınılması açısından çok büyük önem taşımaktadır.

Hedefler

Bu araştırmanın hedefleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynaklı bağlantıların çok eksenli yükleme şartları altındaki Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) davranışının anlaşılması,
- Potansiyel olarak UDÇY ye sebep olan sismik ve aşırı yükleme koşulları altında çalışmakta olan kaynaklı bağlantılar için gerçekçi olan yükleme sıralamasının belirlenmesi,
- UDÇY` ye maruz kalan kaynaklı bağlantılardaki çatlak oluşma ve ilerlemesini tahmin edebilen ve kaynak bölgesinde korozyon ihtimalini de içeren bir modelin oluşturulması,
- UDÇY` ye maruz kalan kaynaklı bağlantılardaki hata oluşumları için bir hasar listesinin oluşturulması,
- Kesme ve normal gerilme kombinasyonu şartlarında çalışan yapıların ömürlerinin belirlenmesi amacıyla hasar listelerinin uygulanması,
- UDÇY modellemesinin iyileştirilmesi için kızılötesi termografinin uygulanması,

Önerilen Araştırma

Bu çalışma çok eksenli yüklere maruz kalan ve kaynaklı iki farklı parçanın ultra düşük çevrimli yorulma (10 veya daha az döngü) davranışı üzerine deneysel ve nümerik çalışmaları içermektedir. Deneyler sabit ve değişken genlik deformasyonlarında gerçekleştirilecektir. İki

farklı kalınlıkta olan ilk parça, eski ve yeni deponun duvar - taban kaynağı içeren bağlantı kısımları, ortalama gerilim, boyut ve korozyon oyuklarının etkilerini inceleme amaçlı kullanılacaktır. İkinci parça olarak, boru şekilli Köprü Taşıyıcılarında bulunabilen Tüp – Taban bağlantısı kesme ve normal gerilme kombinasyonlarının araştırılması için kullanılacaktır. Bu parçalar farklı çok eksenli yüklemelere maruz bırakılacaklardır. Her iki yapıda toplamda 150 den fazla deney yapılarak, geliştirilmiş bozulma modellerinin onaylanması için bir veri tabanı oluşturulacaktır. Toplam bozulmanın tahmin edilmesi için kullanılan sürekli döngüsel kırılma modelleri, hata birikmesi fonksiyonları ve elasto - plastik kırılma mekaniği modellerine dayanan ilerleme modelleri birbirleri ile karşılaştırılacaktır. Yapısal ve bölgesel seviyelerde doğrusal olmayan Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) ayrıntılı olarak kullanılacaktır. Çatlak oluşumu ve ilerlemesi sürecinde oluşan plastik bölgenin yeri, oluşumu ve dağılımı kızılötesi termografi görüntüleme yöntemi ile incelenecek ve yapılmış olan Döngüsel Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) ile karşılaştırılacaktır.

Araştırma Planı

Araştırma Konusunun Güncel Durumu

Döngüsel yüklemeye maruz kalan kaynaklı parçalar uygulanan döngü sayısına ve bu döngülerin şiddetine göre hasar görmektedir. Her bir döngüde plastik deformasyondan dolayı oluşan hasarlar, parça tamamen kullanılmaz duruma gelene kadar yapıda birirmektedir. Döngüsel yüklemeler altında çalışan yapısal parçalarda ve bağlantılarda oluşan hataların tahmin edilmesi için birçok araştırmacı tarafından farklı kurallar öngörülmüştür. Bu metotların birçoğu, düşük ve yüksek döngü sayılarındaki yüklemeler için ara yüzey incelemeleri ile geliştirilmiştir. Yarı amprik olan bu metotlar kalibrasyon içeren deneysel çalışmaları içermektedir. Hasar tahmini için en çok kullanılan parametreler numuneden kaybolan enerji, toplam yapılan iş, süneklik veya basit olarak uygulanan toplam yer değiştirmenin büyüklüğu olarak sıralanabilir. Bazı metotlarda ise bu parametrelerin bir kaçı bir arada kullanılabilmektedir.

En çok kullanılan hasar birikme kuralı **Miner'** in hasar kuralıdır. Miner [1945] temel olarak sabit genlikteki her bir yükleme döngüsünün eşit miktarda hasara sebep olduğunu söyleyen doğrusal bir hasar birikme kuralı ileri sürmüştür. Bu alışma yüksek döngü sayısı için yapılmış olsa da, düşük döngü sayısı içeren yorulma çalışmaları için de kullanılmaktadır. Ayrıntılı olarak geliştirilmiş bu model dışında, birçok farklı hasar birikme modeli de geliştirilmiştir. **Castiglioni** ve **Pucinotti** [2009] düşük döngü sayılı yorulmalar için geliştirilmiş olan diğer modellerin özetlerini çalışmalarında vermektedir.

Castiglioni ve Pucinotti [2009]' nin özetlediği metotlar dışında, Eurocode EN 1993 Kısım 1-6 [Eurocode 3 - 2007] depoların, siloların ve basınçlı tüplerin tasarımındaki düşük çevrim yorgunluğunu da içeren bir model öne sürmüştür. Esas olarak plastik "silkeleme" ye dayanan bu metot, ASME standartlarına göre [ASME 2004] düşük sayıda döngü ve yüksek miktarda gerilme koşullarına maruz kalan kabuk tasarımları için temel oluşturmaktadır. Malzemenin akma dayanımının iki katına çıkartılması için nominal gerilme genliğinin kısıtlanması, plastik gerilme birikimi içermeyen ve elastik - plastik döngü ile tanımlanan kararlı bir durumun oluşmasına sebep olur ve böylece mandallama olasılığı ve bu olasılığın düşük çevrim yorgunluğuna etkileri önlenir. Bu metodun kullanımı tek eksenli yüklenen kabuk yapıları için

teorik olarak doğrulanmış olsa da, çok eksenli yüklenen kabuk yapıları için hiçbir teorik temel bulunmamaktadır. Çünkü mandallama, plastik gerilimin iki katından fazla nominal genliklerde bile mümkündür. Bu metoda alternatif olarak, Eurocode Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) esaslı tasarım stratejilerinde kullanılmak üzere, biriken plastik gerilimin sınır değeri olarak akma gerilmelerinin 25 katı olacak şekilde bir değer vermektedir. Bu değer doğruluğu ve güvenilirliği belirli olmamakla birlikte tamamiyle deneyimlere dayandığı anlaşılmaktadır.

Kaynaklı parçaların düşük sayıda döngüsel yorulma davranışlarının incelenmesi amacıyla makroskopik gerilimleri içeren metotlar da kullanılmaktadır. Bunlar çatlak ilerlemesinin (elasto - plastik) kırılma mekanik modellerini esas almaktadır. Bu metotlar kaynak ucunda ortaya çıktığı varsayılan çatlağın belirli şekil ve büyüklükte olduğunu esas alır. Servis yüklemeleri (doldurma ve boşaltma) veya sismik yüklemeler esnasında oluşabilecek sızıntı tehlikesinin değerlendirilmesi için bu yöntemler kullanılmaktadır [Wasicek et al. 2008].

Ara yüzey ve kırılma mekaniği esaslı hasar modellerinin iki önemli eksikliğinden ilki bu yarı - amprik modellerin çoğunun esasen yüksek sayıda yükleme döngüsü için geliştirilmiş olmasıdır. Bu durum, plastik deformasyon içeren yüksek gerilimler ve bir kaç döngü (10 veya daha az) ile tanımlanan ultra düşük çevrimli yorulma (UDÇY) ile farklılık göstermektedir. İkinci olarak, bu modeller tamamen ara yüzey incelemeleri ile geliştirilmiş olup, modellerdeki değişkenlerin belirlenmesi için malzeme seviyesinde deneysel incelemeleri içermemektedir. Bu nedenle, bir parça üzerinde bir dizi deneysel çalışma yapılmadan, belirtilen yarı - amprik modellerin parçanın veya bağlantının bozukluğunu tahmin edilmesinde kullanılması imkânsız değilse de çok zordur. Kırılma mekaniği modellerinde ise elde edilen sonucun hassasiyeti genellikle önceden tahmin edilemeyen ilk çatlağın konumuna ve büyüklüğüne yüksek oranda bağlıdır.

Daha genel modeller geliştirmek amacıyla, bazı araştırmacılar [Kanvinde ve Deierlein 2008] malzeme seviyesinde süreklilik esaslı mikro modelleri kullanarak çatlak oluşumunu incelemişlerdir. Bu çalmaların esas amacı ara yüzey seviyesinin haricinde malzeme seviyesinde kırılmada oluşan mikro mekanik işlemleri esas alan bir bozulma koşulu belirlemektir. Çalışmalarda, eşdeğer plastik gerilme ve üç eksenlilik oranı malzeme içindeki boşluğun büyüme ölçüsü olarak kullanılmaktadır. İlk sonuçlar umut verici olsa da bu modelin birçok sınırlaması vardır. Örneğin bu modeller silindirik şekilli örneklerin çekme testlerinin ve Sonlu Elemanlar Analizlerinin (SEA) yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, ara yüzey seviyesinde hasarların listelenmesi için deneysel çalışma yapmak gereklidir. Bununla beraber, çalışılan bir durumda (köşegen destekler), maksimum döngüsel gerilim yapının eğildiği yerde gerçekleşeceğinden, yapının yerel ve global kusurlarıyla beraber 3 boyutlu modellenmesi gerekmektedir. Son olarak da, en yüksek gerilime sahip olan noktanın yeri bilinmelidir. Bu özellikle yüksek gerilimlere maruz kalan büyük yüzey alanına sahip parçalar için oldukça zahmetli bir işlemdir. Bu nedenle bu metodun kullanılması için ayrıntılı modeller ortaya çıkartılmalıdır. Böyle modeller ancak oldukça gelişmiş yazılımlar kullanılarak uzmanlaşmış kişiler tarafından geliştirilebilmekte ve değerlendirilebilmektedir.

Ultra düşük çevrimli yorulma (UDÇY) konusunda güvenilir modellerin geliştirilmesi ve bu modellerin yapıların ömürlerinin tayini amacıyla kullanılması için yeni çalmamaların yapılmasının zorunlu olduğu açıktır. UDÇY Giriş - Kolon bağlantıları, merkezi ve eksantrik çaprazlı çerçeveler, boru şeklindeki taşıyıcılar, depolar, silolar, rüzgâr türbinleri, boru hatları ve basınçlı kaplar ve sismik uyarılmalara veya aşırı yükleme durumlarına maruz kalabilen tüm yapılarda görülebilmektedir. UDÇY' nin nasıl meydana geldiğinin anlaşılmasının fayda

sağlayacağı en önemli uygulamalar arasında, bozulmaları durumundaki önemli ekonomik ve çevresel etkileri ve duvar - taban plakası bağlantısının sismik hareketler esnasındaki davranışı düşünüldüğünde, çelik depolar, özellikle bir önem arz etmektedir.

Çelik plakaların kaynaklanması ile elde edilen ince et kalınlığına sahip depolar su ve benzin gibi birçok sıvının depolanması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu depolar oldukça ekonomik olmakla birlikte, gerçekleşmiş birçok depremde hasara uğramışlardır [**Shih 1981**][**Hamdan 1998**]. Diğer tüm hasarlar içerisinde duvar - taban bağlantısının deponun yükselmesi nedeniyle hasar görmesi, depolanan sıvıların tank dışına sızması ile sonuçlanan en önemli hasarlardandır [**Malhotra 1997**].

Duvar - taban bağlantısı, taban plakasındaki membran hareketleri sonucu oluşan çekme dayanımı ve eğilme dayanımından kaynaklanan çok eksenli gerilmelere maruz kalır. Bu her iki etmen, deprem uyarılmasıyla zeminin yukarı doğru hareket ile oluşur. İlk çalışmalar, bağlantının akma gerilmesi değerinden bir kaç kat seviyede gerilime maruz kalması ile bağlantının 10 veya daha az döngüde bozulmanın ultra düşük çevrimli yorulma (UDÇY)' nin örneklerinden biri olduğunu göstermektedir [**Lattion 2009**] [**Berger 2009**]. Ayrıca, bu depolar uzun yıllardır hizmet vermekte olup korozyon gibi karmaşık problemleri de içerebilmektedir.

Çelik depolar yaygın olarak on yıllarca hizmet verdiğinden, depoların çelik alt tabanında korozyon oluşması neredeyse kaçınılmazdır. Homojen olarak oluşan korozyon alt plakanın et kalınlığını azaltmakta ve plakanın kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Daha tehlikeli olan noktasal korozyonda ise korozyona uğrayan noktasal bölgeler, duvar - taban bağlantısı döngüsel yüklemelere maruz kaldığında çatlak oluşumu için uygun alanlar olarak ortaya çıkmaktadır. Ultra düşük çevrimli yorulmada (UDÇY) noktasal korozyonun etkisi üzerine yapılmış çalışmalar oldukça sınırlıdır. **Ohashi et al.** [2001] çelik bir depodan elde ettikleri korozyona uğramış uç numuneyi inceledikleri bir çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışma noktasal korozyona uğramış duvar - taban bağlantısının davranışını incelemek için bir bakış açısı sağlasa da, çalışmada elde edilen sonuçlar temel olarak üç açıdan sınırlıdır: (1) çalışmada sınırlı sayıda numune test edilmiştir, (2) sadece sabit yükleme yapılmıştır, (3) membran yüklemenin etkisi ihmal edilmiştir.

Ultra düşük çevrimli yorulma (UDÇY) çalışmalarında geleneksel tekniklerin yani sıra yeni yöntemlerin de kullanılması gerekmektedir. Deneysel mekanik alanında yorulma yüklemelerine maruz kalan numunelerde ortaya çıkan hasarların ısısal tepki ile ilişkilendirilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Döngüsel plastisite durumunda, parça hızlı bir biçimde yerel olarak bozulmaya uğrar. Deformasyon için yapılan işin küçük bir kısmı malzemenin şekil değiştirmesi veya sertleşmesi için kullanılmaktadır. Plastik işin büyük çoğunluğu ısı olarak açığa çıkmaktadır. Bu durum, deformasyon esnasında parçanın gösterdiği ısısal tepki ile parçada oluşan hasarların ilişkilendirilmesini ultra düşük çevrimli yorulma için ilgi çekici bir metot olarak ortaya koyar.

Birçok araştırmacı deforme edilen numunede gözlemlenen ortalama sıcaklık artışı ile yorulma özellikleri arasında ilişki kurmaya çalışmıştır [**Yang 2003**]. Yorulma sınırı değerine ulaşıldığında numune sıcaklığında ani bir artış olduğu bilinmektedir [**Charkaluk ve Constantinescu 2004**]. Bu yaklaşım toplam sıcaklık değişimini verdiğinden, numunede sıcak nokta belirlemesine olanak tanımamaktadır. **Krapez[2002]**'in yaptığı yüksek çevrimli yorulma çalışmaları göstermiştir ki yorulma testleri esnasında numunede plastik gerilmelerin oluşmaya başlaması, numune yüzeyindeki sıcaklık değişiminin analizi ile belirlenebilmektedir.

Bu durum, termo - elastik etkinin anlaşılmasını zorunlu kılar. Çatlak ucunun yerini ve gerilimin yüksek olduğu bölgelerin 3 boyutta belirlenmesini sağladığı için bu yöntem oldukça avantajlıdır. Yorulma sınırı aşıldığı takdirde, ısısal tepkideki yükleme frekansının ikinci harmonik değeri belirgin bir seviyede aramaktadır. Kati malzemelerin termo - mekanik eşleşmelerinden dolayı, sıcaklık ve gerilim alanları her iki yönde de etkileşime girmektedir. Numunede elastik hacimsel sıkışmadan dolayı hafif bir sıcaklık artışı, hacimsel artışta ise sıcaklık düşmesi gerçekleşmektedir. (IR) termografi tekniği yüksek gerilimler sonucu açığa çıkan hacimsel ısı değişimlerini ve yerel yük dağılımlarındaki değişimi, yüzeyde oluşan bir çatlakta gözlemlendiği gibi tespit edebildiği için önemli bilgiler verebilmektedir.

Ayrıntılı Araştırma Planı

4 AYLIK ÇALIŞMA PLANI – 2013				
İŞ/YIL	NİSAN 2013	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ
1. İŞ PAKETİ				
2. İŞ PAKETİ				
3. İŞ PAKETİ				

Açıklamalar

1. İş Paketi (Literatür Taraması ve Ekibe Uyum): Bu iş paketi içerisinde literatür taramasının yapılması, ekibin daha önce gerçekleştirdiği ve literatüre sunduğu çalışmaların sonuçlarının araştırmacı tarafından yeniden elde edilerek doğrulanması , böylece teorik ve nümerik çalışmalara başlaması, ekiple uyumun sağlanması, aynı zamanda laboratuvarın ve bu laboratuvar da yer alan cihazların tanınması yer almaktadır.

2.İş Paketi (Nümerik çalışmaların yapılması): Bu iş paketi içerisinde taşıyıcılardaki (kolon ayaklarındaki) kuvvetlerin belirlenmesi, sonlu elemanlar analizi yöntemi ile taşıyıcı (kolon ayak) bağlantılarının modellenmesi (ABAQUS Programı), deformasyon geçmişinin belirlenmesi, mevcut taşıyıcı (kolon ayakları) için nümerik hesapların yapılması.

3.İş Paketi (Deneysel çalışma): Bu iş paketi içerisinde kaynaklı bağlantıların değişken ve çok eksenli yükler altındaki ultra düşük çevrimli yorulma (UDÇY) davranışının araştırılması için deney numunelerinin hazırlanması, deneylerin gerçekleştirilmesi ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılacaktır.

Hedef 1. Kaynaklı parçaların çok eksenli gerilme koşulları altındaki Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) davranışının anlaşılması:

Yapı sistemleri için **Sabit Genlik (SG)** ve **Değişken Genlik (DG)** yüklemeleri içeren hesaplamalı ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilecektir. Yapısal seviyedeki incelemeler dâhilinde, deprem anında dinamik yüklemelerden dolayı kaynak bölgelerindeki ivmelenme ve deformasyon koşullarının (gerilim - zaman geçmişi gibi) belirlenmesi için analitik yöntemler kullanılacaktır

(Bakınız iş paketi 2). Bağlantı bölgelerindeki koşullar, kabuk elemanlarının uygulandığı ve güçlü malzeme modellerini içeren yapı seviyesindeki modellerin kullanılması ile belirlenecektir. Yapı boyutunda koşulların belirlenmesinden sonra, 1) birçok bükme ve eksensel gerilim kombinasyonuna 2) birçok normal ve kayma gerilim kombinasyonuna ve 3) birçok ortalama gerilim seviyesine, maruz kalan çok kaynaklı yapıların analizi parametrik bir çalışma yapılarak gerçekleştirilecektir. Kaynaklı yapı elemanlarının kalınlıkları boyunca oluşan gerilim dağılımlarının ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi için kullanacak olan yapı seviyesindeki analitik modeller, katı elemanlar ve güçlü malzeme modelleri kullanacaktır. Tüm analizler için ABAQUS programı kullanılacaktır. Geliştirilen modellerdeki sonuçların doğru olup olmadıklarının tespiti ve parametrik çalışmanın sonuçları dâhilinde ortaya çıkan diğer ilgi alanlarının belirlenmesi için deneysel çalışmalar da yürütülecektir.

Deneysel çalışmalar dâhilinde iki çeşit yapı incelenecektir: (A) büyük sıvı saklama depoları, basınç tanklarının sağlamlaştırma parçaları ve tasarımları sismik hareketlere dayanma amaçlı yapılmış çelik çerçeveler gibi yapılarda bulunan kaynaklı T - Bağlantıları ve (B) boru kesitli taşıyıcı bağlantılarında yaygın olarak kullanılan kaynaklı tüp bağlantılarıdır.

Kaynaklı T - Bağlantı içeren yapı tek eksenli, iki eksenli ve çok eksenli yükleme şartlarında farklı yükleme koşulları için test edilecektir. Test edilmesi düşünülen koşullar sabit genlik (SG) ve değişken genlik (DG) içeren gerilim döngüleridir. Yorulma eğrilerinin elde edilmesi için (bozulma olması için gerekli olan rotasyon aralığı ve döngü sayısını gösteren eğriler) deneyler çeşitli maksimum rotasyon genliği değerlerinde yapılacaktır. EPFL' de S355 J2+N çeliği üzerine birçok sabit genlik deneyi yapılmış durumdadır [Cortes ve Nussbaumer, 2010]. S355 çeliği depo ve yapı uygulamalarında yaygınlıkla kullanılan bir çelik çeşididir. Hâlihazırda sahip olunan deneysel program, Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY)'nin oluşması için gerekli olan uygun gerilme aralıklarının belirlenmesi ve deneysel süreçte elde edilebilecek beklenmeyen sonuçların elenmesi açısından faydalı olacaktır. Öne sürülen çalışmanın sonuçlarının daha yaygın olarak uygulanabilmesi açısından, hem **S355 J2+N** çeliği hem de **S690 Q** çeliği incelenecektir. S690 Q çeliği, S355 J2+N çeliğinden daha yüksek dayanıklılığa sahip olan ve yaygın olarak hidroelektrik tesislerinde 5 - 7 metre çapındaki büyük basınç tünellerinin Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY)'ya maruz kalan astarlarında kullanılan bir çelik çeşididir.

İlk deneysel çalışmalar kaynaklı T - Bağlantıları üzerine yoğunlaşacak ve aşağıdaki değişkenler araştırılacaktır: 1) boyut etkisi, 2) numunenin durumu (yeni veya korozyona uğramış), dayanım ve süneklik etkileri ve 4) tek eksenli ve çok eksenli membran etkisi.

İkinci grup deneylerde ise Köprü Taşıyıcıları, rüzgâr türbinleri, binalar, teleferik sistemleri ve açık deniz yapılarında sıklıkla kullanılan kaynaklı tüp şekilli bağlantılar üzerine çalışılacaktır. İncelenecek yapı çelik bir boru ve bu borunun kaynaklandığı ana gövdeden oluşmaktadır. Bu bağlantıların yüksek çevrimli yorulma davranışları yaygın olarak çalışılmış olmakla birlikte [CİDECT 2000] [Sonsino 1995], Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) davranışları üzerine sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda da sadece tek eksenli gerilmeler üzerine çalışmalar yapılmıştır [Chen 2007]. Bu çalışmada öne sürülen deneysel program, belirtilen bağlantıların çok eksenli yüklemeler altındaki UDÇY davranışları hakkında bilgi sağlayacak olup, daha genel olan doğrusal hasar oluşma modellerin geçerliliğinin kalibrasyonu ve test edilmesi için de kullanılacaktır.

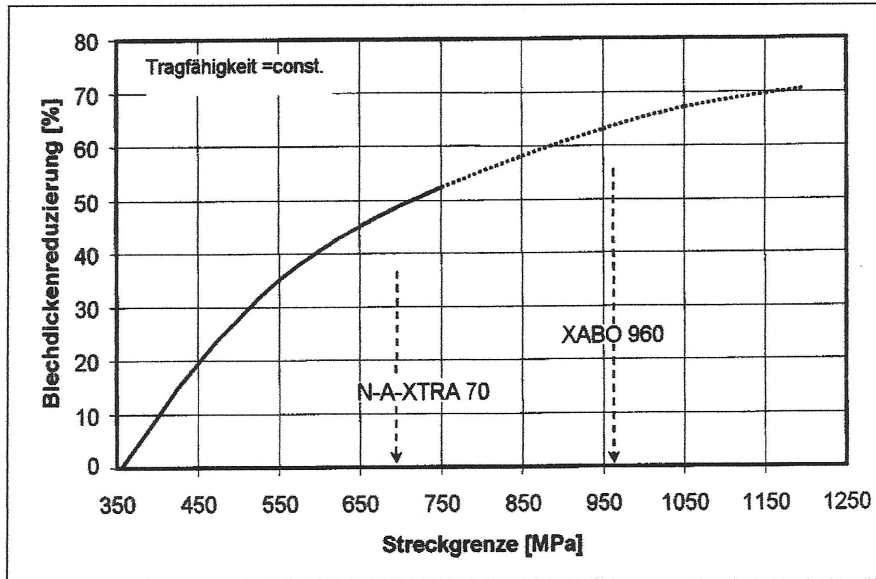
Hedef 2. Potansiyel olarak UDÇY' ye sebep olan sismik ve aşırı yükleme koşulları altında çalışmakta olan kaynaklı bağlantılar için gerçekçi olan yükleme sıralamasının belirlenmesi:

Günümüz tasarım mühendisleri için karmaşık yüklemeler altında çalışan her farklı sistemin tasarım koşullarının belirlenmesi amacıyla güçlü modellerin geliştirilmesi pratik değildir. Bununla birlikte, bu koşulların doğru bir şekilde anlaşılması, verimli ve başarılı tasarımların yapılmasına bağlıdır. Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) alanındaki bu boşluğu doldurmak amacıyla planlanmış olan bu çalışmada, incelenen parçalarda(T-bağlantıları ve kaynaklı tüp bağlantılar) ortaya çıkan gerilim durumlarını gerçekçi olarak tahmin edilmesini sağlayan mühendislik modellerinin geliştirilmesini önermekteyiz. Depoların ve boru kesitli taşıyıcıların sonlu elemanlar modellemeleri yapılarak, bu modeller ile parçaların gerçekçi yükleme koşullarındaki davranışları, akışkan ve katı yapı koşulları düşünülerek test edilecektir. Bu modellerde sayısal zaman - adımı yöntemleri kullanılarak, çok eksenli yükleme ve deformasyonun (taban yükselmesi de dâhil olacak şekilde) gerçekleşme sırası belirlenecektir. Tasarım seviyesi yüklemelerinden elde edilen deformasyon koşullarının istatistiksel analizi, gelişmiş ama kullanımı kolay olan ve karmaşık yüklemeler (deprem yüklemeleri gibi) altında gereksinim duyulan gerilmelerin tahmin edildiği modellerin geliştirilmesi için kullanılacaktır. Bu hedefe ait uygulanacak yöntem, iş paketleri 1 ve 3' de belirtilmiştir.

YÜKSEK PARÇA GÜVENLİĞİ OLAN MODERN YÜKSEK DAYANIMLI YAPI ÇELİKLERİ

Yüksek dayanım gerektiren çelik konstrüksiyonlarda, örneğin; basınçlı depolar, basınçlı boru hatları bilhassa da ticari araç ve vinç yapımında, konstrüksiyonun izafi ağırlığı, konstrüksiyonun ekonomikliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İzafi ağırlığın taşıma kapasitesini etkilemeden azaltılması, konstrüksiyonun sağlamlığını ve parça güvenliğini ön planda tutmak anlamına gelmektedir. Bu, hafif yapı şekli ve aynı zamanda yüksek dayanıma sahip konstrüksiyonların güvenliğini arttırılması isteğini, çekme sınırı 550 MPa ve 1100 MPa asgari değerler arasında olan termo - mekanik açıdan haddelenmiş veya su verilmiş ince taneli yapı çelikleri ile **Thyssen Krupp Stahl AG** yerine getirmiştir.

Yenilikçi çelik ve haddeleme fabrikalarının teknolojileri sayesinde bu modern yüksek dayanımlı yapı çelikleri yüksek mukavemetlerine rağmen mükemmel bir dayanıma, soğukta şekil vermeye ve kaynaklamaya elverişli bir yapıya sahiptir. Bu çeliklerin önemli özelliklerinden biri ise, gevrek kırılmaya karşı yüksek dayanımlarının olmasıdır. Resim 1' de basınçlı depo yapımı örneği üzerinde yüksek mukavemete sahip çelikleri P355 (St52 - 3) çelikleri ile karşılaştırarak, bunların kullanımı sırasında elde edilen ağırlık tasarrufunu göstermektedir.

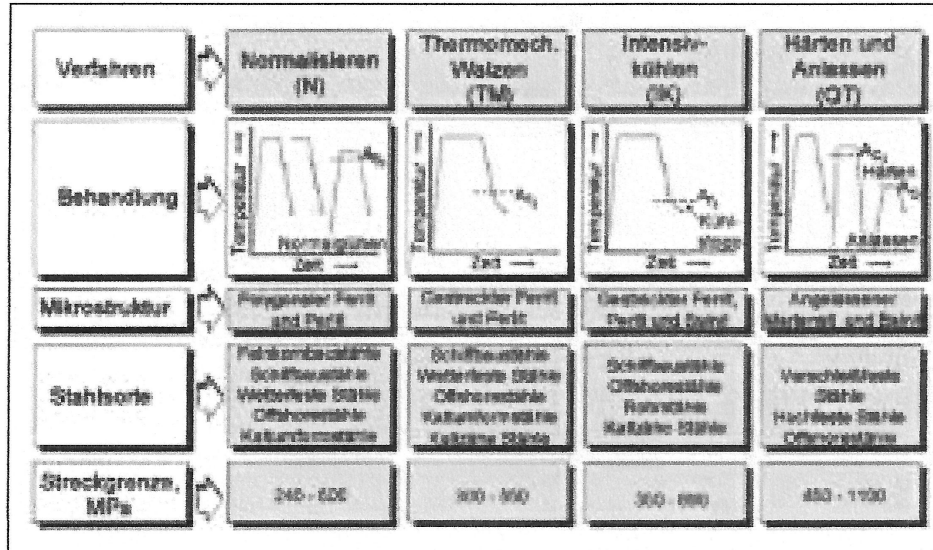


Resim 1) Su Depolarında P355 çeliklerinin yerine yüksek dayanımlı çelikler kullanılarak sac kalınlığının taşıma kapasitesini etkilemeden azaltılması.

Yüksek Dayanımlı Yapı Çeliklerinin Geliştirilmesi ve Üretilmesi

Çekme sınırı 550 MPa ve 1100 MPa asgari değerler arasında olan modern yüksek dayanımlı yapı çelikleri, yüksek mukavemet, yüksek dayanım ve aynı zamanda gevrek kırılma, şekillendirme ve kaynaklama işlemlerine yönelik yüksek talepleri yerine getirmektedir. Çeliklerin dengeli bir kimyasal bileşiminin yanı sıra, kombine üfleme ve pota son işlemlerine sahip modern bir çelik fabrikası metalürjisi ile yenilikçi haddeleme ve ısıtma işlem teknolojilerinin, metal bilimi mekanizmaları altında tutarlı kullanımı olmazsa olmazdır.

Normal tavlama ve normalize edilerek dönüştürülmüş çeliklerin yanı sıra, bilhassa da termodinamik olarak haddelenmiş veya haddeleme sırasında hızlandırılmış olarak soğutulan çelikler ve aynı zamanda farklı alaşım yapılarına sahip su verilmemiş çelikler kullanılmaktadır. Resim 2' de yüksek dayanıma sahip ince taneli çeliklerin önemli üretimin metotlarına, yani doku yapısı, kullanım alanları ve buradan çıkarılan çekme sınırı asgari değerlerine ilişkin genel bir bilgi vermektedir. Aşağıda çekme sınırı asgari değerleri 550 MPa olan çelikler konu alınacaktır.



Resim 2) Farklı mukavemet sınıflarına sahip ince taneli çeliklerin üretimi

Normal haddeleme, akabinde normal tavlama veya avantajlı olan normalize edilmiş haddeleme ile en fazla çekme sınırı asgari değeri 500 MPa olan çelikler elde edilebilir iken, termo-mekanik haddeleme (TM) ve hızlandırılmış soğutma ile çekme sınırı asgari değeri 700 MPa' a varan yüksek dayanımlı çeliklerin oluşturulması mümkündür. Termo - mekanik haddeleme sırasında kimyasal bileşimlerin, bilhassa da mikro alaşım ve şekillendirme - zaman - ısı sürecinin karşılıklı uyumu sağlanmıştır. Son şekillendirme Ar3 dönüştürme noktası yakınlarında, çeliğin mikro alaşımı ile bağlantılı olarak örneğin niyobyum ile rekristalize edilmemiş östenitin dönüşümü ve soğuması sırasında, çekme sınırını ve mukavemeti olumlu şekilde etkileyen oldukça ince bir ferritik doku oluşacak şekilde, yapılmaktadır.

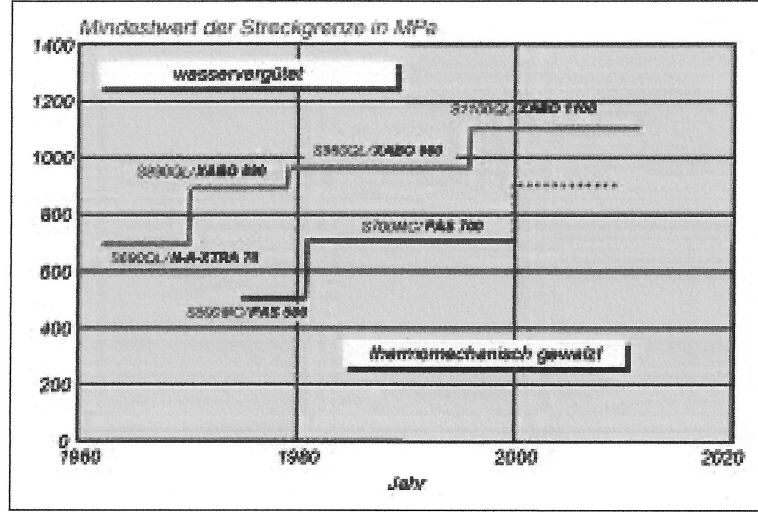
Böylelikle alaşım elemanlarının toplam miktarı asgari düzeyde tutulabilmektedir. Hızlandırılmış soğutma işlemi ile elverişli işleme koşullarında ve aynı karbon eşdeğerinde hava soğutma işlemine karşın daha yüksek bir çekme sınırı elde edilir. Aksi yönde düşünülecek olursa, önceden belirlenmiş bir çekme sınırı veya mukavemeti hava soğutmalı termo - mekanik haddelenmeden veya normal tavlamadan daha zayıf yani daha ucuz kimyasal bileşimler ile elde edilebilir.

Bilhassa daha yüksek sac kalınlıklarında mümkün olan en yüksek dayanım ve mukavemet değerlerini elde edebilmek için, su verilmiş çelik çeşitleri mevcuttur. Su verme işlemi yüksek kapasiteli tesislerde yapılmakta ve Ac3 ısı değerleri üzerine çıkan etkili bir ısıtma işlemi ile başlamaktadır. Isıtmanın akabinde saclar basınçlı su ile hızlı bir soğutma işleminden geçer. Böylelikle martenzit ve bainit aşamalarında bir doku dönüşümü elde edilir. Kimyasal bileşimim yanı sıra, sertleştirmeyi takip eden işlem mekanik özellikler bakımından en önemli işlemdir. Günümüzde, doğrudan sertleştirme yöntemi ile yani doğrudan hadde ısısı ile yapılan sertleştirme işlemi ile su verme işlemi kolaylaştırılmaya çalışılır.

İşlem sırasında iyileştirilen sertleştirilme, aynı zamanda kaynak işlemi uygunluğunun iyileştirilmesi içinde kullanılabilen, alaşım miktarlarının daha da azaltılmasını sağlamaktadır.

Çekme Sınırı Minimum Değeri 1100 MPa' a Kadar Olan Modern Yapı Çelikleri

Termo - mekanik haddelenmiş ve su verilmiş ve çekme sınırı 550 MPa üzerinde olan yüksek mukavemetli sac levha yapı çeliklerinin geliştirilmesi, Thyssen Krupp Stahl AG şirketinde 30 yıl önce başlamıştır (Resim 3). Çeliklerin alaşımları ve mekanik özellikleri (Tablo 1)' de gösterilmiştir. Sac levhalar dikdörtgen sac levha olarak ve aynı zamanda da düşük kalınlıklarda geniş sıcak şeritlerden (bant sacları) kesilmiş olarak da üretilmektedir. Yüksek mukavemetli ince taneli yapı çelikleri **N-A-XTRA** ve **XABO** su verme işlemi ile elde edilen ince martenzit - bainit dokularıyla, yüksek mukavemeti, mükemmel dayanımı ve yüksek yorulma direnci ile birleştirmektedir. Bu nedenle birçok kullanım alanı için alaşım içeriği düşük malzemeler mevcuttur. Thyssen Krupp Stahl AG bu bağlamda, dikdörtgen sac hattı üzerinden 10 mm - 2.000 mm sac kalınlığı arası üretimine karşın, bant sac üretiminin avantajlarını kullanmaktadır. Bant sac üretiminin optimize edilmesi ile dikdörtgen sac levhalarda elde edilemeyen iyileştirilmiş kalınlık toleransları elde edilebilmektedir. Böylece tüketici için konstrüksiyonun elverişli hale getirilmesine ve aynı zamanda izafi ağırlık ve işleme giderlerine ilişkin yeni imkânlar sunulmaktadır. Mobil vinç yapımında bant sac üretiminin bu avantajları her geçen yıl daha da fazla kullanılmaktadır



Resim 3) Yüksek mukavemetli sac levha çeliklerinin üretimi

XABO 1100 ile su verilmiş çeliklerin ulaşılabilir çekme sınırlarına yönelik üretimin geçici bir tepe noktası verilmiştir. Bu yeni yüksek mukavemetli ince taneli yapı çeliği XABO 1100 sac levha müşterilerinin izafi ağırlığın azaltılması ve kullanım ağırlığının yükseltilmesine ilişkin taleplerini karşılamaktadır. CrNiMoV bazında düşük alaşımlı çelik 40 mm' ye kadar olan kalınlıklarda üretilmektedir. Mükemmel mukavemet parametreleri, ihtiyaca uygun dayanımları ile aynı zamanda düşük ısılarda da kombine edilebilmektedir (Tablo 1). XABO 1100 sac levhaları günümüzde vinçlerin kaynaklanmamış gevşetme direkleri için kullanılmaktadır. Bu yüksek yüklü çeki parçaları bugüne kadar kullanılan halatların yerini almaktadır. Bunun dışında XABO 1100 sac levhaları gelecekte vinç kolu üretiminde de kullanılacaktır.

Sondergüte TKS	Güte gem. Euronorm	Legierungs- zusätze	Herstellung	min. Re (MPa)	Rm (MPa)	min. A ₅ (%)	min. T ₂₇ (°C)
N-A-XTRA (M) 56	S550QL	CrMo	QT	550	640 - 820	16	-40/-60
N-A-XTRA (M) 63	S620QL			620	700 - 890	15	-40/-60
N-A-XTRA (M) 70	S690QL			690	770 - 940	14	-40/-60
XABO 890	S890QL	CrMoNiV		890	940 - 1100	11	-40
XABO 960	S960QL			960	980 - 1150	10	-40
XABO 1100	—			1100	1200 - 1500	8	-40
PAS 500	S500MC	MoNbTi	TM	500	550 - 700	14	-20
PAS 600	S600MC			600	650 - 820	13	-20
PAS 700	S700MC			700	750 - 950	12	-20

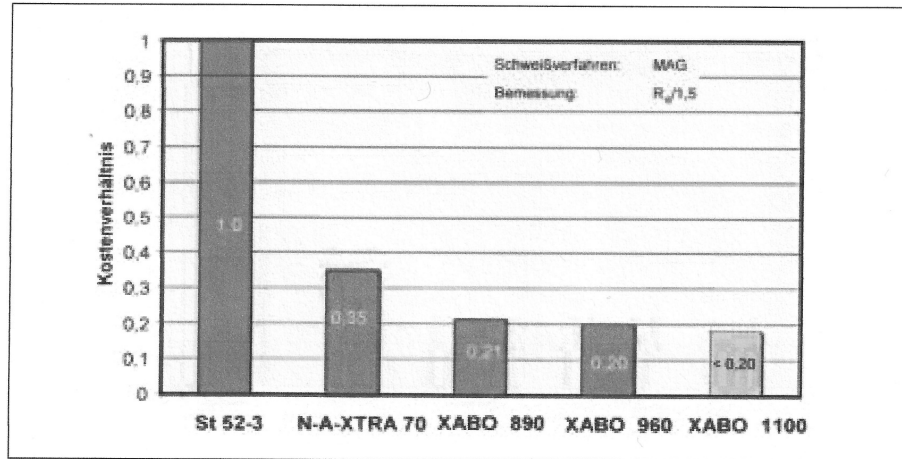
Tablo 1) Yüksek mukavemetli yapı çeliklerinin özellikleri

N-A-XTRA ve XABO su verilmiş ve çekme sınırları asgari değeri 1100 MPa' a kadar olan çeliklerin sağlanmasına paralel olarak, çekme sınırı asgari değeri 690 MPa' a kadar olan ve özelliklerine haddeleme aşamasında sonradan yapılan ısıtıl işlemine gerek kalmadan ulaşan, termo-mekanik haddeleme (TM) metotları ile haddelenmiş **PAS** çeliklerin yapımı da sürmektedir. Bu çelikler, düşük karbon değerleri ve avantajlı ayırım durumu nedeniyle iyi bir dayanımın yanı sıra 8 mm' e kadar olan kalınlıklarda soğuk şekillendirmeye de son derece uygundur ve bu nedenle ticari araç yapımında yerlerini almışlardır (Tablo 1).

Thyssen Krupp Stahl AG ısıtıl işlem bandı üzerinden üretilen bu çeliklerin üretiminin dışında alaşım konseptinin ve üretim koşullarının sürekli geliştirilmesi sayesinde bugün 2500 mm eninde PAS 700 - 15 mm arası dikdörtgen sac levhaları Termo - mekanik haddeleme üzerinden imal edebilmektedir. Çekme sınırı asgari değeri 700 MPa olan bu çelik su verilmiş N-A-XTRA 70 (S690QL) çeliğine bir alternatif oluşturmaktadır.

Çekme sınırı asgari değerleri 550 MPa - 1100 MPa arası olan çelikler bilhassa yüksek dayanım gerektiren kaynaklanmış konstrüksiyonlarda, ticari araç ve mobil vinç yapımında öne çıkmaktadır. Bu çeliklerin iktisadilik durumunun belgelendirilmesine ilişkin resim 4 de mobil vinç yapımındaki çelik seçiminin kaynak konstrüksiyonlarının üretim maliyetlerine ne şekilde etki ettiği gösterilmiştir.

Sonuçlar önde gelen Alman bir vinç üreticisinin analizlerini baz almaktadır. Klasik S355 (St 52-3) kullanımının yerine S960QL kullanımı, yaklaşık olarak % 80 tasarruf sağlamaktadır. Aynı zamanda XABO 1100 ile ek tasarruf sağlanır. Vinç yapımında dikkat edilmesi gereken bir başka hususta, yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı ile, izin verilen azami ağırlığın yükseldiği ve böylece daha düşük spesifik işletme giderlerin tahakkuk edeceğidir.

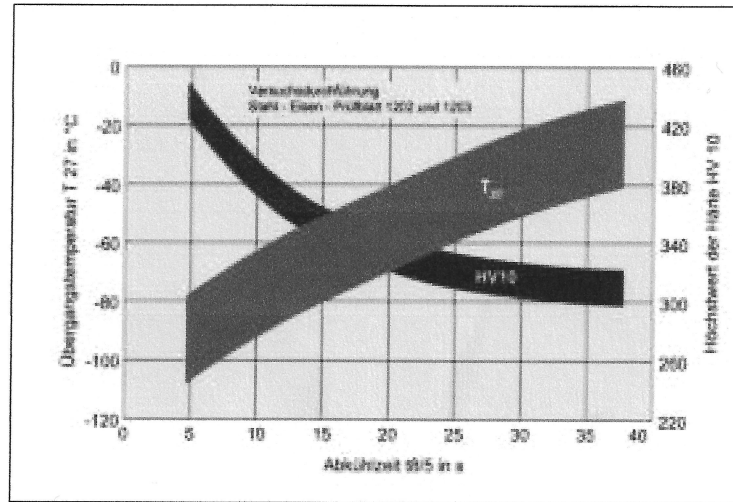


Resim 4) Mobil vinç üretiminde S355 çeliklerinin kullanımı nedeniyle kaynaklama işlemi ile yapılan konstrüksiyonların üretim maliyetleri

Bu modern yapı çelikleri mevcut kaynaklama işlemleri ile iyi bir şekilde kaynaklanabilir durumdadır. Düşük karbon değeri nedeniyle, su oranı düşük birinci sınıf kaynaklama maddelerinin kullanımında soğuk çatlamaya karşı güvenlidirler. DIN EN 1011 kapsamında soğuk çatlamaları önlemek adına belirtilen fikirler (CET-Konsepti) hidrojen füzyonunu korumak adına yapılan kaynak yerindeki ön ısıtma ve soğutma işleminin geciktirilmesi

işleminin daha kalın saclarda gerekli olduğunu göstermektedir. CET-Konsepti kapsamında soğuk çatlamaya karşı güvenliğin belirlenmesine ilişkin, çelik bileşimi, sac kalınlığı, kaynak malzemesi içerisindeki hidrojen oranı, ısı eklenmesi ve öz gerilme durumu gibi parametreler matematiksel olarak kaydedilmektedir.

Yüksek mukavemetli çeliklerde kaynaklama koşulları, kaynaklama bileşimlerinin mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Burada önemli olan uygun bir soğuma süresinin $t_{8/5}$ belirlenmesidir. $t_{8/5}$ soğuma süresinde kaynaklama teknolojilerinin sayısız etki parametreleri, kaynaklama koşullarını karakterize eden, merkezi bir ölçüt olarak bir araya getirilmiştir. Kaynaklama bileşimi dâhilinde en elverişli özellikleri koruyabilmek adına, modern yapı çeliklerinin soğuma süresi $t_{8/5}$ 5 s ve 25 s arasında olmalıdır. N-A-XTRA 70 Resim 5' deki örneğinde olduğu gibi, daha kısa soğuma sürelerinde yani düşük ısı etkisinde, alaşım içeriği nedeniyle, ısı etki alanında, bağlantı noktasındaki kırılma riskini arttıran ve dolayısıyla izin verilemeyecek kadar yüksek olan azami sertlik değerleri oluşmaktadır. Diğer yandan çok fazla ısı verilmesi kaynak ek yerlerinin ısı verilen kısımlarında, geçiş ısısının T_{27} değerlerinden belli olan yetersiz bir dayanım oluşmaktadır.

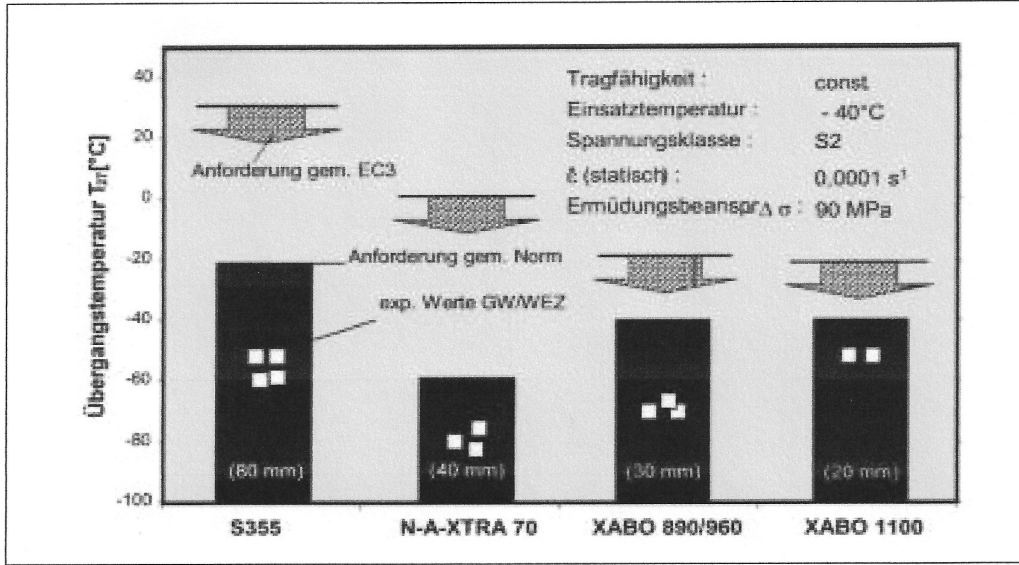


Resim 5) N-A-XTRA 70 çelik çeşidin çok katmanlı bağlantılarının WEZ kapsamındaki dayanım ve maksimum sertliği

Modern güvenlik konseptleri ile yüksek sağlamlığı olan çeliklerin kırılma davranışlarının değerlendirilmesi

Kaynaklanmış çelik yapılar konseptinde kırılma ve deformasyon davranışlarının bilinmesi, güvenli bir konstrüksiyonun önemli bir ön koşuludur. Kaynaklanmış konstrüksiyonların yapı elemanlarının güvenliğini, bilhassa da ani gevrek kırılma halindeki başarısızlığa karşı tespit edebilmek için, kırılma mekaniği parametreleri temelinde nicel olarak güvenlik analizleri artarak uygulanmaktadır (PD 6493). Burada çatlak oluşumuna meyilli olan yapı elemanlarından hareket edilir ve güvenlik tespiti özellikle aşınmaya tabii olan parçanın

sağlamlığının malzemenin kaynaklama bağlantısındaki ölçülen kırılma mekaniğine ilişkin sağlamlığının karşılaştırılması ile yapılır. Kırılma mekaniği parametrelerinin basitleştirilmiş tahmini için, geçmişte kırılma mekaniği – parametreleri (gerilim yoğunluğu faktörü, çatlak genişlemesi) ve çentik darbesi bükme çalışması (geçiş ısısı) parametreleri hazırlanmış ve örnekler Eurocode 3 içerisine yerleştirilmiştir.



Resim 6) Kaynak bağlantılarının WEZ ve hammadde kırılma davranışlarının değerlendirilmesi (sabit taşıyabilirliği halindeki)

Modern sağlam çelikler ile kaynaklanmış yapıların güvenli şekilde işlenmesinin mümkün olup olmadığını tespit edebilmek için, ilgili güvenlik analizleri yapılmıştır. Resim 6` da örnek olarak çekme sınırı azami değeri 1100 MPa olan çeliklerin, hammadde ve WEZ sağlamlık seviyelerini Eurocode 3 sağlamlık şartları gereğince karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Sağlamlığa yönelik beklentilerin artan dayanım ile yükseldiği görülmektedir. İncelenen çelikler için her bir çekme sınırı derecesinde, sağlamlığın her daim taleplerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Kırılma mekaniği bakımından çeliklerin kırılmaya karşı direnci her halükarda gerekli yapı parçası sağlamlığı üzerinde bulunmaktadır. Burada sağlamlık rezervi için avantajlı olan, hammaddenin artan çekme sınırı ile yapılan konstrüksiyonlarında daha ince sac kalınlıklarına geçilebileceğidir. Tüm yüksek mukavemetli çeliklerin sağlamlık seviyesi kaynaklanmış çelik konstrüksiyonların güvenli şekilde kullanılması için uygundur.

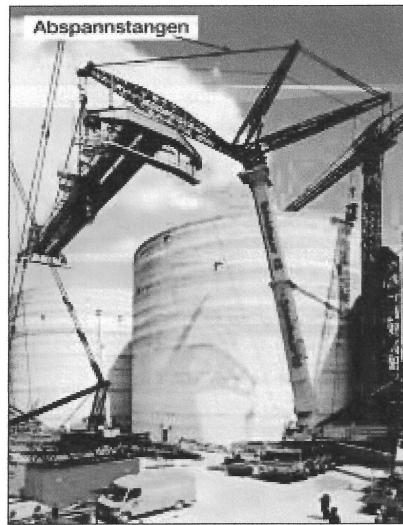
Yüksek mukavemetli modern çeliklerin uygulamalarına yönelik örnekler

Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı birçok durumda sac kalınlığının indirgenebilmesini sağlamakta ve böylece malzeme ve işleme giderlerinin ve aynı zamanda işletmenin yürüyen maliyetlerinin düşürülmesini sağlamaktadır. Geniş sağlamlık spektrumu tasarımcıya, aşınma ve işleme şartlarını göz önüne alarak en uygun çelik çeşidini seçme imkanı vermektedir.

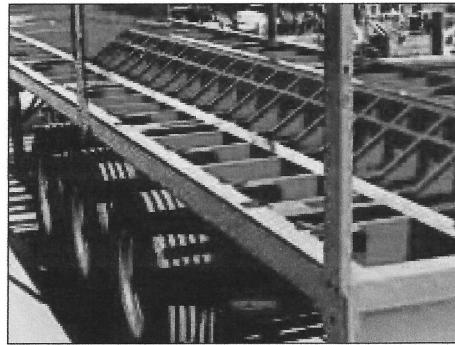
Tipik kullanım örnekleri (Resim 7, 8) aşağıdaki gibidir

- Basıncılı depolar, basınçlı boru hatları,
- Ticari araçlar ve mobil vinçler,
- Raylı ağır yük araçları,
- Madencilik aletleri.

Tasarımcılar ve çelik inşaatçıları, yapı parçalarının veya yapıların ağırlıklarını ve ölçülerini yüksek mukavemetli çelikler ile sınırlandırabilme imkanını kullanmaktadırlar. Bazı durumlarda yapıların yüksekliğine ilişkin teknik sınırlar, ancak bu çeliklerin kullanımı ile aşılabilmektedir.



Resim 7) Mobil vinç yapımı için azami çekme sınırı 1100 MPa olan yüksek mukavemetli su verilmiş sac levhalar



Resim 8) Ticari araç yapımı için azami çekme sınırı 700 MPa olan TM haddelenmiş bant ve dikdörtgen saclar

Hafif konstrüksiyon ve ağırlığın azaltılmasına ilişkin yükselen talepleri karşılamak adına, yüksek aşındırmaya tabi kaynaklanmış yapı çelikleri ile ilgili sağlamlık, dayanım ve kaynaklama uygunluğu bakımından oldukça yüksek beklentiler bulunmaktadır. Bunun için

Thyssen Krupp Stahl AG, çekme sınırı asgari değeri 1100 MPa olan yüksek mukavemetli su verilmiş sac levhaları N-A-XTRA ve XABO kullanıma sunmaktadır. Bu bağlamda özellikle avantajlı olan ise, bant sacı olarak üretilmesidir, çünkü burada genelde dikdörtgen saclarda erişilemeyen iyileştirilmiş kalınlık toleransları izlenmektedir. Tüketici açısından böylece konstrüksiyonun optimize edilmesine yönelik yeni imkanlar bulunmaktadır. Aynı zamanda çekme sınırı asgari değeri 700 MPa olan ve özelliklerini haddelenme sırasında sonradan ısıtıl işlem görmeksizin kazanan PAS serisi yüksek mukavemetli Termo - Mekanik haddelenmiş çelikler kullanıma sunulmaktadır. Bant sacları olarak üretilmiş bu çelikler, sağlamlık ve dayanımlarının yanı sıra son derece iyi soğuk şekillendirme özelliklerine ve mükemmel bir yüzey kalitesine sahiptirler. Modern yüksek mukavemetli sac levhaların yenilikçi güvenlik konseptleri temelindeki kırılma mekaniğine ilişkin yapı parçası değerlendirmeleri bu çeliklerin, kritik aşındırma koşullarının kabulünde dâhil, kaynaklanmış konstrüksiyonların güvenli şekilde işletilmesi güvence altına alan bir sağlamlık seviyesine sahip olduklarını göstermektedir.

ÇELİK YAPILARDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Aynı yada benzer alaşımlı metallerin ısı etkisi altında birleştirilmelerine “*Kaynak*” denir.

İnsanoğlu günümüzden yaklaşık 3500 yıl kadar önce, iki metal parçasını sıcak veya soğuk halde çekiçleyerek kaynak edip birleştirmeyi gerçekleştirmiştir. Bu işlem “*Demirci Kaynağı*” olarak isimlendirilmiştir. Batılı Tarihçiler, demirci kaynağı yardımıyla demirin, M.Ö. 1400 yıllarında Ön Asya da yaygın bir şekilde birleştirildiğini yazmaktadır.

Kaynak yönteminin endüstriyel uygulamaları ise 19.y.y.’ın ikinci yarısında başlamıştır. Oksijenin endüstriyel çapta elde edilmesi , özellikle tamir işlerinde oksî - asetilen kaynağının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Elektrik arkı 19. y.y.’ın sonlarında Volta tarafından keşfedilmiş fakat bu enerji ancak 19. y.y.’ın son çeyreğinde kaynakta kullanılmaya başlanmıştır. 1920 - 1940’lı yıllar arasında, örtülü elektrotların geliştirilmesi, elektrik ark kaynağının popülaritesini arttırmış ve bütün metallerin kaynağı için bilinen yöntemlerin geliştirilmesine ve yeni yöntemlerinin keşfine neden olmuştur.

Çelik yapı uygulamalarında kullanılan tüm kaynak yöntemlerinde, kaynaklanan metalik malzemenin kaynak bölgesinin, metalin erime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekir. Böyle bir ısıtma işlemini izleyen soğuma, metalde içyapı değişikliklerine neden olduğu gibi, “yüksek sıcaklık, kaynak metal, cüruf, esas metal ve ortam atmosferi” arasında birtakım kimyasal reaksiyonların oluşmasını da kolaylaştırır.

Kaynak metal, elektrik arkı veya gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında erir ve daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağzı içine dökülür. Bu işlem sırasında, kaynaklanan malzemenin kaynak dikişine bitişik kısımlarında, metalin erime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış bölgeler ortaya çıkar. Uygulanan ısıl işlemin değişkenliğinden dolayı kaynak bölgesinde, mekanik özellikleri ve içyapısı, esas metalden ve kaynak metalinden farklı olan bölgeler ortaya çıkar. Farklı özelliklerdeki bu bölgelerde, gerilme - şekildeğiştirme davranışında ve korozyona karşı dayanımda esas metalden farklı davranışlar görülür.

Kaynak yapılan bir parçada kaynak bölgesini; Erime Bölgesi ve Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) olarak ikiye ayırmak mümkündür. Erime bölgesi, kimyasal birleşim olarak esas metal ve kaynak metal karışımından oluşur. Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) ise, kaynak sırasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısı çevirimlerden etkilenmiş ve dolayısıyla içyapı değişimine uğramış olan bölgedir. Bu bölge, kaynak metal ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi sırasında sıcaklığın metalin özelliklerini etkilediği bölgedir. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450 - 700 °C arasında değişmektedir. Burada erişilen maksimum sıcaklığa bağlı olarak farklı içyapı ve özellik gösteren bölgeler görülür (Resim 1).



Resim 1) Kaynakli birleşimde ısıdan etkilenme bölgeleri

Kaynaklama işlemi sırasında ITAB hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonra da parça kalınlığına, kaynağa uygulanan enerjiye ve kaynaklanan metallere uygulanan ön tav sıcaklığına bağlı olarak da hızlı bir biçimde soğumaktadır. Bu hızlı ısınma ve hızlı soğumanın bir sonucu olarak, kaynaklanan metalik malzemenin birleşimine göre, sert ve kırılgan bir bölge oluşur. Bu bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılmalar bu bölgede oluşmaktadır (Resim 2).



Resim 2) Kaynaklı birleşimlerde hasar oluşumları

Çelik Yapılarda Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Malzemelerin kaynaklı birleştirilmesinde kullanılan kaynak yöntemleri;

- Uygulandığı malzeme cinsine göre; metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı,
- Yapılış amacına göre; birleştirme kaynağı ve doldurma kaynağı,
- Uygulanış şekline göre; El kaynağı, Yarı mekanize kaynak, Tam mekanize kaynak ve Otomatik kaynak,
- Yapılacak kaynak işleminin cinsine göre; Basınç Kaynağı ve Eritme Kaynağı

şeklinde gruplandırılabilir.

Plastik Malzeme Kaynağı; aynı veya farklı cinsten termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi ısı ve basınç kullanarak, aynı cinsten bir plastik ilave malzemesi katarak veya katmadan birleştirme işlemidir.

Metal Kaynağı ise; metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak, aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirme işlemidir.

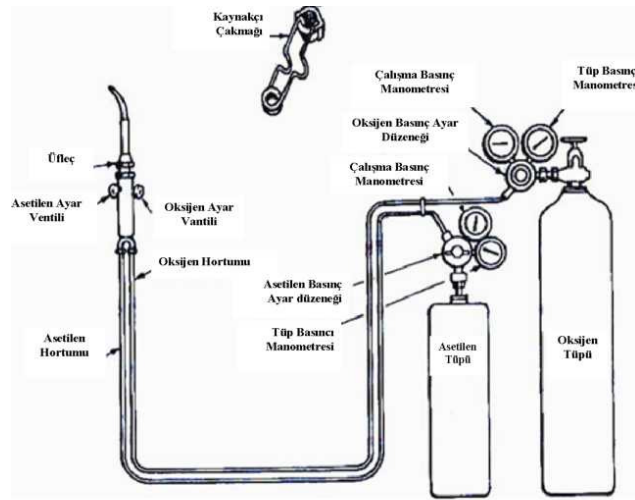
Kaynaklama işlemi, uygulanan ısı derecesinin metallerin ergime noktasına kadar yükseltilmesi ile yapılıyorsa *Ergitme kaynağı*, uygulanan ısı metallerde plastik kıvam oluşturacak derecede ise *Basınç kaynağı* adı verilir.

Çelik yapı uygulamalarında kullanılan kaynak yöntemi “Eritme” kaynağıdır. Bu gruba giren kaynak yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılanları ise; “Gaz eritme” kaynağı ve “Elektrik Ark” kaynağı yöntemleridir.

Gaz Eritme Kaynağı

Bu kaynak yönteminde, kaynak için gerekli ısı, biri yanıcı diğeri yakıcı olan gazların birlikte yakılmasıyla oluşan alevden elde edilir. Yakıcı gaz olarak çoğunlukla Oksijen, yanıcı gaz olarak ise “Asetilen - C_2H_2 , Hidrojen - H_2 , Metan - CH_4 , Propan - C_3H_8 , Bütan - C_4H_{10} , Propan - Bütan karışımı - LPG, Havagazı, Benzin ve Benzol buharı” gazlarından biri kullanılmaktadır.

Gaz eritme kaynağında, yanıcı gaz olarak genellikle asetilen gazı kullanılır. Bunun nedeni, asetilen gazının alev sıcaklığının, tutuşma hızının ve ısı değeri diğerlerine nazaran daha yüksek olmasıdır. Bun nedenle, gaz eritme kaynağı denilince akla “Oksi - Asetilen Kaynağı” gelir (Şekil 1).



Şekil 1. Oksi-Asetilen kaynağı donanım şeması

Bu yöntemle çekilen kaynak dikişlerinin mukavemeti düşük olduğu için, çelik yapılarda, kuvvet aktaran birleşimlerin kaynaklı teşkilinde kullanılmamaktadır. Ancak önemsiz birleşimlerde, tamirat ve dolgu işlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yöntem günümüzde atölye ve şantiye ortamında çelik levha ve profillerin kesilmesi işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Resim 3). Modern çelik yapı atölyelerinde ise, levha ve profillerin kesilmesi işleminde aynı yöntem çok daha gelişmiş donanımlar yardımıyla uygulanmaktadır. Bu işlem için kullanılan modern cihazlara “Plazma Kesiciler” denilmektedir (Resim 4).



Resim 3) Oksi - Asetilen kaynağı ile metal parçaların kesilmesi



Resim 4) Plazma kesme

Elektrik Ark Kaynağı

Tüm kaynak yöntemlerinde, kaynaklama işlemini gerçekleştirebilmek için; bir kaynak enerjisine, bu enerjiyi sağlayan ve kaynak bölgesine taşıyan bir donanıma, kaynak ağzını doldurmak için bir ek kaynak metaline ihtiyaç vardır.

Bu üç unsur elektrik ark kaynağında; “ark, kaynak makinesi ve kaynak elektrotu” tarafından sağlanır. Ayrıca kaynakçıyı korumak, kaynaklanan parçaları bir arada tutabilmek, kaynak pozisyonunu ayarlayabilmek ve çalışma koşullarını kolaylaştırabilmek için bir takım yardımcı araç ve gerece ihtiyaç bulunmaktadır (Resim 5).

Elektrik ark kaynağında kaynak için gerekli ısı, elektrik arkı tarafından sağlanır. Kaynak ağzını doldurmak için gerekli ek kaynak metalinin ilave edilme biçimi ve kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden korunma biçimlerine göre çeşitli ark kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Elektrik ark kaynağı, çelik yapı uygulamalarında en yaygın kullanılan eritme kaynağı yöntemidir.

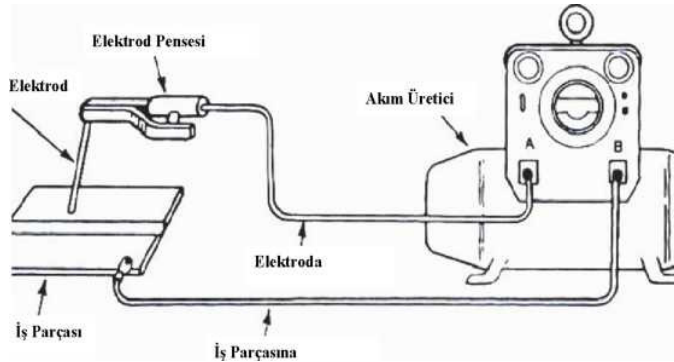


Resim 5) Kaynaklamada kullanılan yardımcı kaynak teçhizatları

Elektrot Kaynağı

Bu kaynak yönteminde, kaynak metali olarak örtülü elektrot kullanılır. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı, ark kaynak yöntemleri içinde en basit ve en popüler olan yöntemdir. Bu yöntem, uygulamada demir esaslı veya demir dışı metal ve alaşımların kaynağında 1.2 mm' den daha kalın parçalara, her kaynak pozisyonunda uygulanabilmektedir.

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan elektrik ark kaynağında, kaynak için gerekli elektrik akımı, bir kaynak akım üretici tarafından sağlanır. Bu akım kablolar yardımıyla iş parçası ve elektrot pensesine iletilir. Kaynakçı elektrotu penseye takar ve iş parçasına değdirerek elektrik arkını oluşturur (Şekil 2, Resim 6). Arkın başlatılması, yanması, boyunun ayarlanması, söndürülmesi, kaynak hızı ve elektrot metalinin kaynak ağzını doldurması için gerekli manipülasyonlar tamamen kaynakçı tarafından yapılır (Resim 6). Kaynağın kalitesine kaynakçının el marifetinin etkisi çok önemlidir. Kaynak sonrası dikiş üzerinde oluşan cüruf kaynakçı tarafından temizlenir.



Şekil 2) Elektrot kaynağı şeması



Resim 6) Elektrot kaynağında arkin oluşumu

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ve eriyen elektrot arasında yanar ve bu şekilde eriyen elektrot aynı zamanda kaynak metali haline geçer. Elektrot örtüsü de aynı anda yanarak erir. Bu esnada açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cüruf da kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar (Resim 7).



Resim 7. Elektrot kaynağı uygulaması

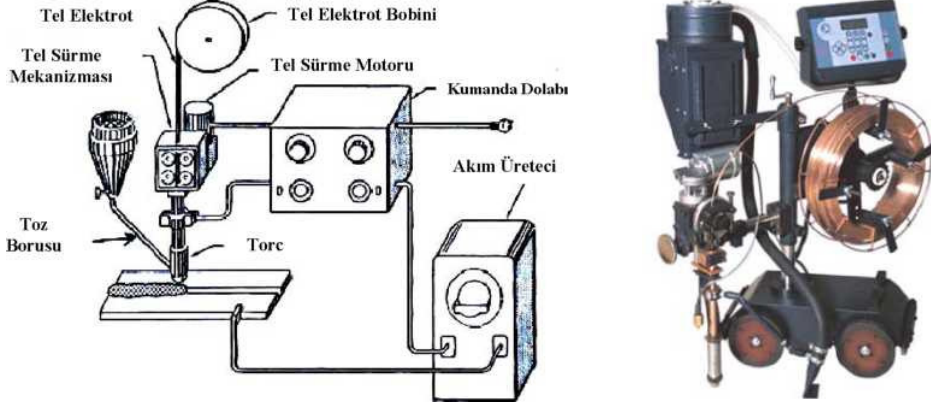
Elektrot kaynağı ile değişik biçimlerdeki iş parçalarını her pozisyonda kaynaklamak mümkündür. Bu yöntemde uygulanan kaynak pozisyonları; Oluk pozisyonunda yatay kaynak, iç ve köşe birleştirmelerinde yatay kaynak, aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya düşey kaynak, korniş kaynağı ve tavan kaynağı şeklinde sıralanabilir.

Örtülü elektrotla ark kaynağında, kaynak makinelerinin göreceli olarak daha ucuz ve basit olması, kaynakçının önemli ölçüde hareket serbestliğine sahip olması ve aynı kaynak makinesi ile sadece elektrot tipini değiştirerek farklı metallerin kaynağının yapılabilmesi bu yöntemin imalatta yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur.

Tozaltı Kaynağı

Temel olarak bir elektrik ark kaynağıdır. Bu kaynak yönteminde ark, bir mekanizma tarafından otomatik olarak kaynak bölgesine gönderilen çıplak tel ile iş parçası arasında oluşur. Aynı zamanda, kaynak yerine devamlı olarak bir toz dökülür ve ark, üzerine gelen toz altında yanar. Bu nedenle de, bu kaynaklama yöntemi *“Tozaltı Kaynak Yöntemi”* olarak isimlendirilmiştir (Resim 8).

Bu yöntemde, ark, bir toz örtüsü altında kaldığından etrafa ışınlm yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir kısmı (yaklaşık % 64'ü) doğrudan kaynak için harcanmış olur ve toz örtüsü kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korur (Resim 9).



Resim 8) Toz altı kaynak donanım şeması ve kaynak



Resim 9) Kaynak bölgesinin üzerini örten özel toz malzemesi

Tozaltı kaynağı, otomatik bir kaynak yöntemi olmanın yanında, güçlü bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi ile 1,2 mm den 300 mm kalınlığa kadar olan tüm çelik elemanların kaynağını yapmak mümkündür.

Tozaltı kaynağı ile elle yapılan ark kaynağı arasındaki karakteristik farklılıklar genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tozaltı kaynağında 200 ila 500 Amper akım şiddeti ve 6 ila 300 m/saat arasında kaynak hızları kullanılır.
- Tozaltı kaynağında eriyen metalin 2/3'ünü esas metal ve 1/3'ünü ilave metal oluşturur. Bu nedenle, ilave metal sarfiyatı oldukça azdır.

- Toz altı kaynağında kaynak kafası (toz hunisi, tel iletme mekanizması, ayar ve kumanda tertibatı) hızı ayarlanabilen ve sabit tutulabilen bir arabaya monte edildiğinden, sürekli kaynak yapma imkanı vardır.
- Kaynak yerinin iyi bir şekilde cürufıyla örtülmesi, yavaş soğumayı sağlar. Bu ise kaynak hatalarının meydana gelme riskini azaltır ve kaynak kalitesini artırır.
- Kaynak yerinin toz tarafından gayet iyi bir biçimde örtülmesi nedeniyle, elektrik enerjisi kaybı çok azdır. El ile yapılan ark kaynağında ise çevreye yayılan ısı ve ışık enerjisi nedeniyle, elektrik enerjisi kaybı yüksektir.
- Tozun kaynak yerini gayet iyi bir şekilde koruması sebebiyle; ultraviyole ışınları, gaz ve tozdan korunmak için özel tedbirlere ihtiyaç yoktur. El ile yapılan kaynakta, kaynakçının göz ve cildini koruması için maske ve özel elbise kullanması gereklidir.

Bu kaynak yönteminin bazı Sakıncaları da vardır. Bunlarda aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- El ile kullanılmak için geliştirilmiş olan donanım iyi sonuç vermemiştir. Otomatik kullanımı gerekli olduğundan parçanın şekli iletme tertibatının yörüngesine uygun olmalıdır.
- Toz altı kaynak yöntemi, ancak yatay kaynak dikişleri için uygundur. Her ne kadar bugün özel bir tertibatla dik ve korniş kaynağı yapabilme imkânı sağlanmış olsa da, tavan kaynaklarını bu yöntem ile yapma imkânı yoktur.
- Boru kaynağında da ancak boru kaynaklama sırasında döndürüldüğü takdirde bu yöntemle kaynak yapmak mümkündür ve kısa dikişler halinde makinenin ayarlanması gereklidir. Kaybedilen zaman dikkate alındığında, sonuç ekonomik değildir (Resim 10 ve 11).
- Toz altı kaynak yöntemi ile sadece çelikler kaynak yapılabilmektedir.



Resim 10. Özel Kaynak döndürme tertibatı



Resim 11. Dairesel kesitlerin tozaltı kaynağı uygulaması

Gazaltı Kaynağı

Gaz altı kaynağı, genel olarak kaynak yeri bir gazla korunan özel bir ark kaynağı yöntemidir. Bu yöntemde, dışarıdan sağlanan özel bir gazla korunan ve otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrot kullanılır. İlk ayarlar kaynakçı tarafından yapılır. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti ve elektrot besleme hızı kaynak makinesi tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur.

Kaynak donanımı; kaynak torcu ve kablo grubu, elektrot besleme ünitesi, güç ünitesi ve koruyucu gaz ünitesi olmak üzere dört gruptan oluşur. Torc ve kablo grubunun görevi koruyucu gazı ark bölgesine taşımak, ortama elektrot sağlamak ve güç ünitesinden gelen akımı ark bölgesine ulaştırmaktır. Kaynak torcunun tetiğine basıldığında, iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrot iletilir ve ark oluşur.

Bu yöntemde, kaynak nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve genel kaynak kalitesini etkileyen bazı kaynak değişkenleri vardır. Bunlar; kaynak akımı (elektrot besleme hızı), kutuplama, ark gerilimi (ark boyu), kaynak hızı, serbest elektrot uzunluğu, kaynak pozisyonu, elektrot çapı ve koruyucu gazın bileşimi ve debisi olarak sıralanabilir. Yeterli kaliteye sahip kaynak dikişleri elde edebilmek için bu değişkenlerin etkilerini iyi anlamak ve bunları kontrol etmek gerekir.

Bu değişkenler birbirinden bağımsız değildir. Birinin değiştirilmesi, arzu edilen sonucu elde edebilmek için değer birinin veya birkaçının değiştirilmesini gerektirir. Her bir uygulamada en uygun ayarları seçmek için önemli ölçüde yetenek ve tecrübe gerekir. Kaynak değişkenlerinin en uygun değerlerini seçerken esas metalin tipi, elektrot bileşimi, kaynak pozisyonu ve kaynak bağlantısının kalitesi ile ilgili istekler dikkate alınmalıdır.

Yöntemin yaygın olarak kullanılma nedeni, sağladığı üstünlüklerden kaynaklanmaktadır.

Bu üstünlükler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Ticari metal ve alaşımların tümünün kaynağında kullanılabilen, eriyen elektrotla yapılan tek kaynak yöntemidir,
- Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı uzunlukta elektrot kullanma problemi yoktur,
- Kaynak her pozisyonunda yapılabilir. Bu tozaltı kaynağında mümkün değildir,
- Metal yığma hızı elektrik ark kaynağına oranla oldukça yüksektir,
- Ortama sürekli elektrot beslenmesi ve yüksek metal yığma hızı nedeniyle, kaynak hızları elektrik ark kaynağına göre yüksektir,
- Ortama elektrot beslemesi sürekli olarak yapıldığı için hiç durmadan uzun dikişler çekilebilir,
- Sprey iletim kullanıldığında, elektrik ark kaynağına göre daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece iç köşe kaynaklarında aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişleri çekmek mümkün olur,
- Yoğun bir kaynak cürufu oluşmaz. Bu nedenle temizlik için harcanan zaman azdır,

Bu üstünlükleri nedeniyle yöntem, yüksek üretime ve otomatik kaynak uygulamalarına uygun hale getirilmiştir. Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, gazaltı kaynağının kullanımını zorlaştıran bazı sınırlamalar da vardır.

Bu sınırlamalar aşağıda sıralanmıştır:

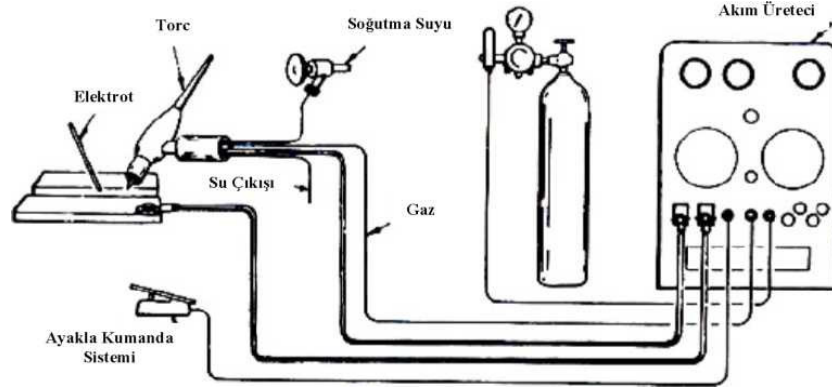
- Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına göre daha karmaşık, daha pahalı ve bir yerden başka bir yere taşınması daha zordur.
- Kaynak torcunun elektrik ark kaynağı pensesinden daha büyük olması ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla torcun kaynak bölgesine (bağlantıya) 10 - 20 mm arasında yakın bir mesafeden tutulması gerektiği için bu yöntemin, ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması çok zordur.

- Kaynak arkı, koruyucu gazı bulunduğu yerden uzaklaştıran hava akımlarından korunmalıdır. Bu nedenle, kaynak alanının etrafı hava akımına karşı muhafaza altına alınmadıkça, açık alanlarda kullanılmamalıdır.

Kullanılan elektrot ve gazların cinslerine göre koruyucu gaz kaynak yöntemlerini sınıflandırmak mümkündür. Bugüne kadar uygulamada kullanılan koruyucu gaz kaynak yöntemleri TIG ve MIG/MAG Kaynağı olarak sınıflandırılabilir.

TIG “Tungsten Inert Gas” Kaynağı

Bu yöntem, 1940-1944 yıllarında Amerika Birleşik Devletlerinde magnezyum ve diğer hafif metal alaşımlarının kaynağı için geliştirilmiş ve koruyucu gaz olarak da helyum gazı kullanılmıştır. Bu yöntemde, kaynak arkı, erimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında gerçekleşmektedir. Ark, elektrot ve erimiş banyo havanın tesirinden bir argon veya helyum atmosferi ile korunmaktadır. Koruyucu gazın soy bir gaz olması dolayısıyla oksidasyon ve nitrür teşekkülü gibi, istenmeyen haller önlenmektedir. Kaynak işlemi içinde oksi - asetilen kaynağında olduğu gibi, ayrıca bir kaynak metaline ihtiyaç vardır. Kaynak metali kaynak ortamına dışarıdan katılır (Şekil 3, Resim 12).



Şekil 3) TIG kaynak donanım şeması



Resim 12) TIG Kaynak Uygulamaları

TIG kaynağında başlangıçta helyum gazı kullanılmış, daha sonraları argon gazı kullanılmaya başlanmıştır. Her iki gaz da tek atomlu ve soy gazdır. Bu nedenle, diğer elementlerle birleşmezler, yanmazlar, renksiz ve kokusuzdurlar. Helyum gazı havadan hafif, argon gazı ise havadan daha ağırdır. Bu nedenle, helyum gazı uçar ve kaynak bölgesini koruma kabiliyeti azdır. Argon gazı havadan daha ağır olduğu için, kaynak bölgesini daha iyi korur.

TIG kaynağında, saf tungsten veya tungstenin toryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılmasıyla elde edilen elektrotlar kullanılır. Elektrotların uygun akım şiddeti ile yüklenmeleri gerekir. Aksi halde, aşırı yüklemeye elektrot ucunda erime oluşur ve bu nedenle kararsız bir ark meydana gelir.

Yüksek kaliteli birleşimlerin sağlanmasında, kaynak ağzlarının ve ilave metalin (elektrot) iyi temizlenmesi gerekir. Mevcut kir, pislik ve oksitler bir tel fırça veya benzeri bir aletle temizlenmelidir. Uzun dikişler kaynak işleminden önce puntalamalı ve arkın etrafındaki argon zarfının parçalanmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, TIG kaynağının avantajlarından tam olarak faydalanabilmek için, birleştirilecek parçaların ağız hazırlığı, ağzların birbirine tam olarak temas etmeleri ve ağzların aynı düzlemde olması hususlarında çok titiz olunmalıdır.

TIG Kaynağı, genel olarak hafif metal ve alaşımlarla, bakır ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. Ayrıca, kaynak kabiliyeti kötü olan bronzlar, titanyum alaşımları ve zirkonyum gibi malzemelerin kaynağı da gözeneksiz olarak yapılabilir. TIG kaynağında; kaynak hızı yüksektir, kaynak ısısı bir bölgeye teksif edilebilir, ısıl distorsiyonlar azdır, kaynak dikişleri temizdir, kaynaktan sonra dikişin temizlenmesine gerek yoktur ve kolay mekanize edilebilir olması önemli avantajlarındandır. Genel olarak TIG yöntemi ile yapılan kaynak birleşimlerinin büyük bir kısmını alın bağlantıları oluşturur. Saçların birleştirilmesinde, ince saçların kullanıldığı kutu profillerin imalatında, depo ve siloların yapımında ve silindirik cebri boruların teşkilinde alın birleşimleri kullanılır.

MIG-“Metal *Inert Gas*” kaynağında, genel olarak argon atmosferi altında kaynak yapılmaktadır. İlk olarak 1948 yılında ABD de “Linde Air Products Company” tarafından bulunarak, önce alüminyum ve alaşımlarının sonra da yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının ve karbonlu çeliklerin kaynağında kullanılmıştır.

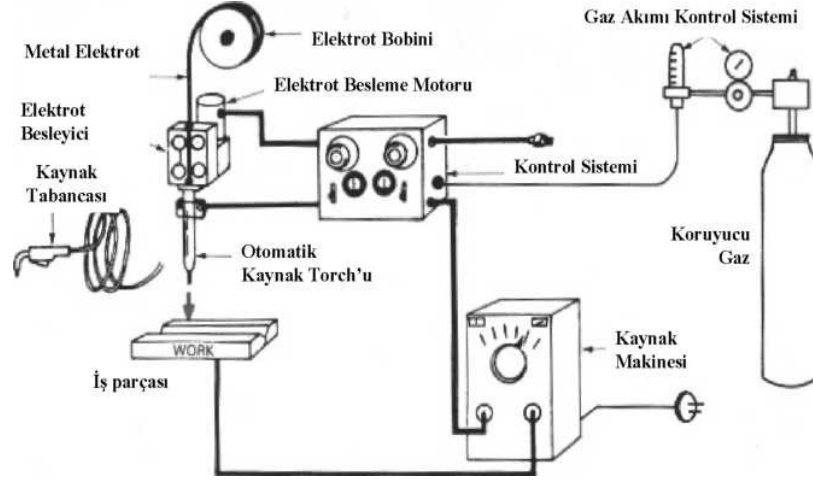
MIG / MAG Kaynağı

MIG kaynak yöntemi, TIG yönteminden arkın, kaynak yerine otomatik olarak gelen ilave metal ile iş parçası arasında teşekkül etmesi ile ayrılır.

MIG kaynak donanımı aşağıdaki parçalardan oluşur (Şekil 4):

- Bir doğru akım membaı,
- Kaynak tabancası,

- Çıplak elektrot, argon, kaynak akımı, suyun giriş ve çıkışını sağlayan hortum,
- Kaynak telinin hareketini sağlayan donanım,
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, argon gazının akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda sistemi,
- Basınç düşürme manometresi ve ölçü aleti ile donatılmış bir adet basınçlı argon tüpü,



Şekil 4) MIG kaynak donanım şeması

Bu kaynak yönteminde mükemmel bir erime özelliğine ancak yüksek akımla çalışıldığında ulaşılabilir. Yüksek akım şiddeti derin bir nüfuziyet sağlar. Bu da 20 mm kalınlığa kadar ağız açmadan kaynak yapma üstünlüğü sağlar.

MAG “Metal Active Gas” kaynağı ise 1950 yılların başlarında geliştirilmiş ve ilk olarak otomobil endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta sadece yatay pozisyonda kaynak yapabilme imkânı vardı. Fakat sonraki yıllarda ince çaplı elektrot kullanma imkânı sağlanarak her pozisyonda kaynak yapabilme mümkün hale getirilmiştir. Bu yöntemde başlangıçta koruyucu gaz olarak sadece CO₂ kullanılmıştır. Günümüzde ise, gereken durumlarda, arkı yumuşatmak ve sıçramayı azaltmak için CO₂’ e argon karıştırıp kullanılmaktadır. Karışım oranı % 75’ e kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde sağlanan önemli bir gelişme de koruyucu gazlar ile “Sprey ark” yönteminin bulunmasıdır. Argon gazı içersine çok az miktarda oksijen ilave edilerek çeliklerin kaynağında uygulanması ile, kalın çaplı elektrotlarla da her pozisyonda çalışılabilir hale gelinmiş ve çok düzgün kaynak dikişleri elde edilmeye başlanmıştır.

MIG - MAG kaynak yönteminde, inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımı kullanılmaktadır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin

kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli türlerdeki çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır.

Bu kaynak yöntemlerinde kullanılacak olan koruyucu gazın seçiminde; kaynaklanan metal veya alaşımın türü, ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi, kaynak hızı, parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi, tedarik edilebilirlik, gazın maliyeti ve kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler” gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

MIG/MAG kaynak yöntemlerinde kullanılan elektrotlar ise; “yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılan alaşımsız teller, alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan alaşımlı teller ve kenetli veya özlü teller” olarak gruplandırılabilir.

MIG/MAG kaynak yönteminde, kaynaklanacak olan parçalarda kaynak ağzının hazırlanması da çok önemli bir husustur. Kaynak ağzı tasarımını etkileyen en önemli faktörler; “bağlantıdan beklenen dayanım, kaynak pozisyonu, parça kalınlığı ve kaynaklanacak malzemelerin türü” olarak yazılabilir.

Sonuç olarak MIG / MAG kaynak yöntemi geniş ayar olanakları, çeşitli yardımcı malzeme ve donanımları sayesinde günümüz endüstrisinde ince saçlardan oldukça kalın kesitli parçalara kadar yaygın bir kullanım alanı vardır. Günümüzde çelik yapılarda, özellikle atölye ortamında, gerekli önlemlerin alınması durumunda şantiye ortamında da, yapılacak olan kaynaklı birleşimlerinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Resim 13).



Resim 13) MIG Elektrik Ark kaynağı uygulaması

YENİ KAYNAK ve TEDAVİ YÖNTEMLERİ

YÜKSEK FREKANS YÜZEY DÖVME YÖNTEMLERİ

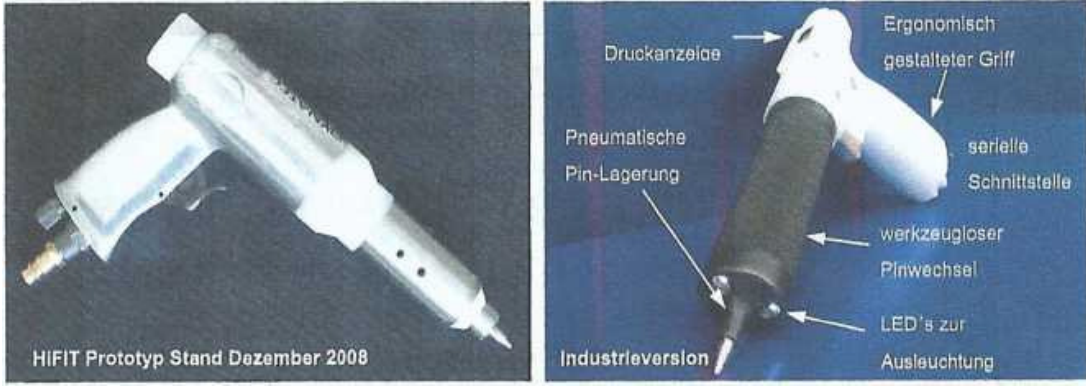
Yüksek frekanslı yüzey dövme yöntemleri, Yüksek Frekans Etki Tedavi (HiFIT) ve Ultrasonik Etki Tedavi (UIT) olarak adlandırılır. Böylece bu kavram altında Tedavi yöntemlerinin yeni bir grubu olarak tanımlanır.

Bu yöntem geleneksel bir çekiç ve çekiç ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek bir frekans aracılığıyla kırıcı çekiçlemeyi karakterize eder. 20 - 100 Hz frekans aralığında çalışan geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, aksine yüksek frekanslı çekiçleme ile tedavide 180 Hz üstünde bir başarı sağlamaktadır. Buna ek olarak, bu yöntem aracılığıyla tanımlanan yüzey tabakası yorulma mukavemeti önemli bir artışa neden olan sınır tabaka değişikliklerine neden olur. Bu sınır tabaka değişikliklerin detaylı analiz araştırma projesinin bir odak noktası oldu.

YÜKSEK FREKANS ETKİ TEDAVİ (HiFIT)

Yüksek Frekans Etki Tedavi (HiFIT) yönteminde basınçlı hava ile çalışan bir yüksek frekans çekiç yöntemi konu edilir. Çekiç başı olarak, yuvarlak uçlu sertleştirilmiş bir metal pim (pin) kullanılır. Pim çapı 2 ve 4 mm arasında ayarlanabilir. Tercihen pimler 3 mm bir çaplı olarak tercih edilir. Çekiç frekansı uygulamaya bağlı olarak 180 ve 250 Hz arasındaki bulunur. Pin geometrisine ek olarak ilerleme hızlı birleşimde vurma yoğunluğu ve vurma frekansı elde edecek sonuç için çok önemlidir.

Şekil 9' da 2008 yılı sonunda tamamlanmış son protatif modeli gösteriyor. Sağ tarafta seri üretimi tamamlanmış ve endüstriyel kullanıma uygun ve geliştirilmiş son hali gösteriliyor. Kolları ergonomik açıdan geliştirilmiştir. Pimin değiştirilmesi herhangi bir ek aparata ihtiyaç olmadan yapılmaktadır. Elektronik ve bağlantı kutusu bir seri arabirim üzerinde bir kurula kola bağlanmıştır, bunun yanında enerji tedarigi için pil entegre edilmiştir. Daha düşük mukavemetli malzemeler için 5 - 6 bar ile faaliyete geçirmek mümkündür.



Şekil 1) HiFIT - Cihazı: Prototip ve Sanayi Sürümü

HiFIT Cihazının Teknik Verilerine Bir Bakış

- Pnömatik tahrik, 6 ila 8 bar Basıncılı hava, hava tüketimi 400 l/min,
- Farklı malzemeler için ayarlanabilir çekiç frekansı ve çekiç yoğunluğu,
- 180 Hz ile 250 Hz arasında çekiç frekansı,
- Çalışma hızı aşağı yukarı 5 mrn / s,
- Çekicinin kalibrasyonu ve kalite kontrol için seri arayüz,
- Bağlantı USB adaptörü ve sağlanan yazılım ile gerçekleştirilmektedir,
- Çekiç işleminin kaydı mümkündür,
- Çalışma alanı aydınlatmak için LED ışıklar,

kullanılır.

ULTRASONİK DARBE TEDAVİ YÖNTEMİ (UIT)

Ultrasonik Darbe Tedavi (UIT) esnasında, ultrasonik dönüştürücü üzerinden 27 kHz ultrasonik dalgalar üretilir. Mekanik çekiç frekansı bu cihaz için 200 Hz dir. Uygulamaya bağlı olarak, 3 mm, veya 4,8 arasında çaplara sahip 2 - 4 sert metal çubuklar kullanılabilir. Uçları 2 ve 2,5 mm yarıçaplı yuvarlanır. Tedavinin yoğunluğu, cihaz üzerine monte edilmiş ultrasonik dönüştürücü genişliğinin hangi etkide olacağı 1 - 5 kademedeki kontrollarla sağlanmaktadır. Şekil 2' de Ultrasonik Darbe Tedavi (UIT) cihazı görülmektedir.



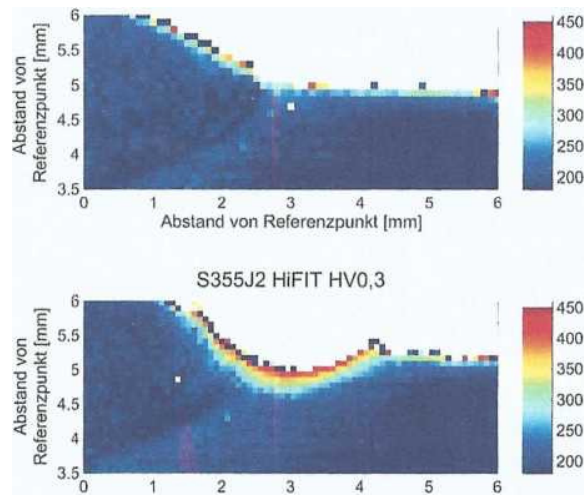
Şekil 2) UIT - Su soğutmalı ve jeneratörlü Ultrasonik Darbe Tedavi Cihazı

Etkinlik ve etkileri

Yüksek frekanslı çekiç yönteminin etkinliği ve etkilerinin analizi için sayısız araştırma gerçekleştirilmiştir. Sınır tabaka değişiklikleri üstüne işlemsel parametrelerin etkisi keza bu çalışmamızda araştırılmıştır. Aşağıdaki yapılan testlerin sonuçları özetlenmiştir.

Sınır Tabaka Değişiklikleri

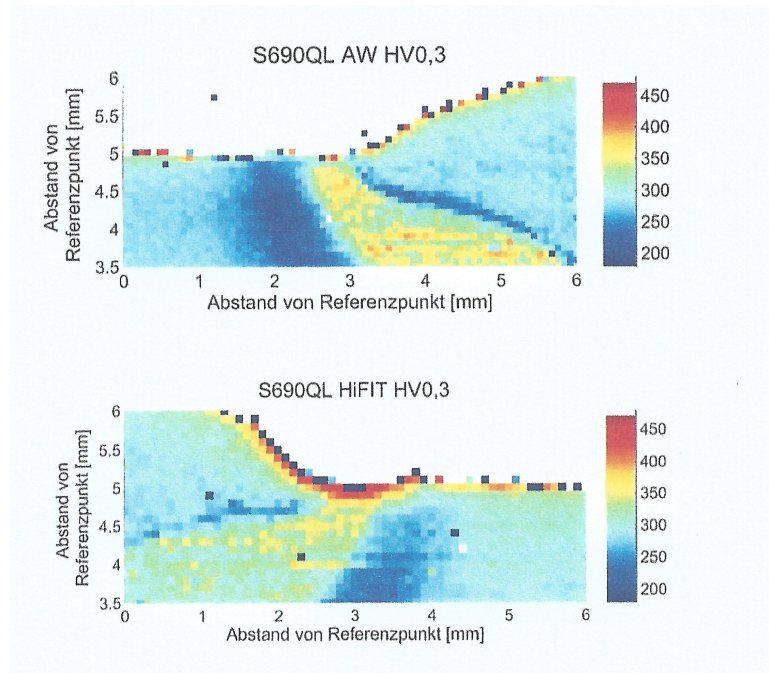
Yüksek frekans çekiçleme yöntemleri pekleşme ilişkili olarak sınır tabakasının plastik deformasyonu üretir. 0,2-0,3 mm arasında bir kalınlığa sahip olan bir sınır tabakası soğuk tedavi yardımıyla oluşturulacaktır. Şekil 3 ve Şekil 4` de bir UCI cihazıyla yüzeysel olarak elde edilen sertlik değerlerinin (HV0,3) sonuçları işlenmiş yada işlenmemiş kaynak dikişlerinde karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 3) UCI - yüzey sertliği HV0, 3 S355J2 Çeliği (tedavi türüne bağlı olarak).

S335J2 çeliğinin kaynak dikişlerinin HiFIT yöntemi ile yapılan tedavi bölgesinde 0,2-0,3 mm kalınlıklı bir sınır tabakası 330 - 450 (HV0,3) sertliğine kadar sertleştirilmiştir. Başlangıç sertliği 200 - 280 HV0,3 dır. UIT işlemi esnasında Sınır tabaka sertliği biraz daha küçüktür. 0,2 mm derinliğe kadar burada sertlik değeri 330-400 HV0,3 civarındadır. (Şekil 4)`deki S690QL çeliğinin kaynak dikişindeki sertlik yayılımı S355J2 çeliği için karşılaştırma daaçık olarak yüksek başlangıç yükselmektedir. sertliği göstermektedir. Özellikle ergitme bölgesinde bu sertlik 450 HV0,3 e kadar çıkmaktadır. (HiFIT) yada (UIT) tedavi yöntemine göre yinede 0,2 mm kalınlıklı sınır tabakasında, özellikle iri taneli bölgede, 350 HV0,3 den daha büyük bir sertlik olabilmektedir.

Çekiçlenen örneklerde gerçekleştirilen karşılaştırma ölçümleri sadece en dış sınır tabakasında sertliklerin olduğunu göstermektedir.



Şekil 4) Tedavi türüne bağlı olarak UCI - Yüzey sertlikli S690QL Çeliği

Bu modern ve çağdaş kaynak yöntemlerinin uygulama olanakları:

Kaynak çeliğin birleştirilmesi için en yaygın kullanılan yöntemdir. Uygun bir kaynak dikişi elde etmek için bir çok parametreye ihtiyaç bulunmaktadır. Tekrarlı olarak ortaya çıkan yüklemeler belirli ölçüye kadar tolere edilebilir. Tekrarlı yüklemelerde yapı kısımları başarısız olabilir. Yukarıda bahsedilen tekrarlı yüklemelerde, zamanla büyüyen ve sistemin göçmesine neden olan lokal çatlaklar oluşur. Dinamik olarak yüklenmiş yapı kısımlarının ve konstrüksiyonların yorulması, yıllık maliyeti milyarlar mertebesinde zararlara neden olan hasarlar oluşturur. Genellikle kaynak dikişleri geçişlerinde büyük kaynak dikişi çatlakları

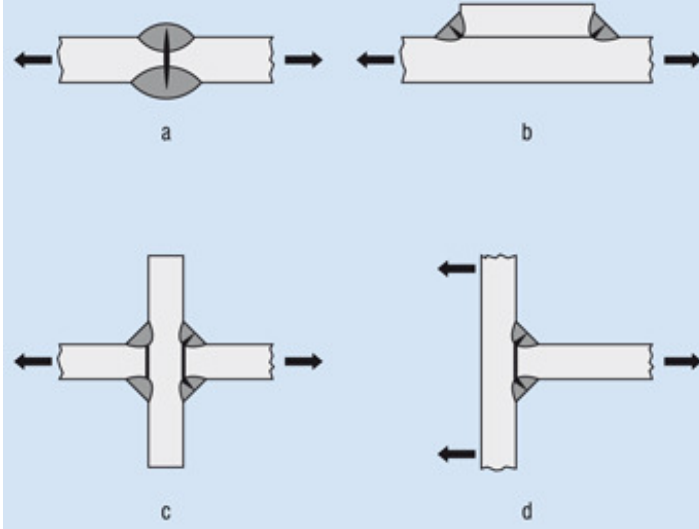
oluşabilir. Kaynak dikişi geçişleri bir çok durumda yapı kısımlarının ve taşıyıcı sistemin ömrünü sınırlandırabilir.



Yöntemin kullanılabilirliği;

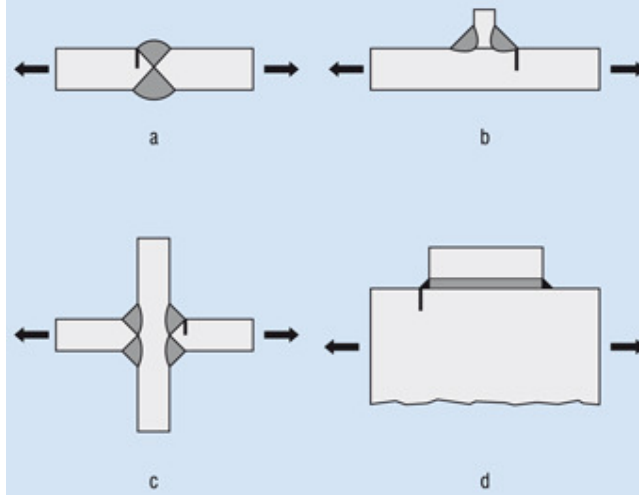
Her konstrüksiyon HiFIT Yönteminin kullanımına uygun değildir (Şekil 5a). HiFIT profesyonel kaynaklı birleşimleri ömrünü, performans ve dayanıklılık sorunlarını iyileştirir. Bu yüzden kullanmadan önce kullanım kılavuzunu dikkatlice okunmalıdır. Resimler birkaç örneği göstermektedir.

Abb. 5: HiFIT ungeeignet



Şekil 5a) Uygun olmayan kaynaklı birleşimler

Abb. 6: HiFIT geeignet



Şekil 5b) Uygun olan kaynaklı birleşimler

Yüksek frekanslı çekiç yöntemimde;

- Verimlilik,
- Tekrar üretilebilirlik,
- Güvenilebilirlik,

sağlanır.

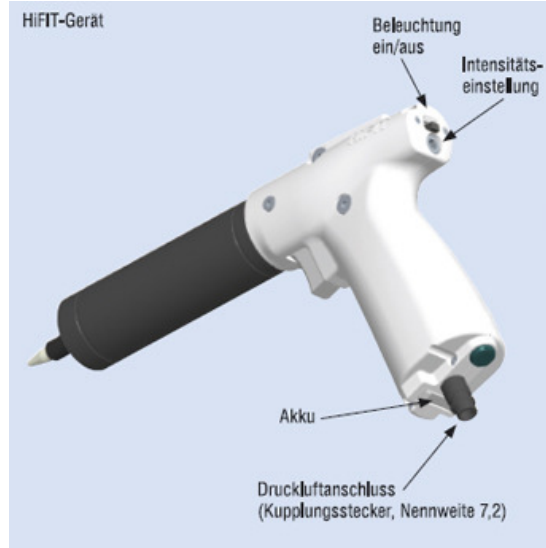
Uygulama alanları;

- Çelik köprüler,
- Yapı makinaları,
- Krenler(Vinçler),
- Kaldırma aksesuarları,
- Rüzgar türbinleri,
- Trenler,

dir.

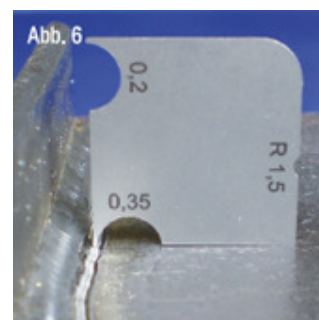
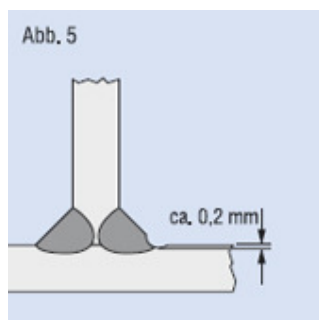
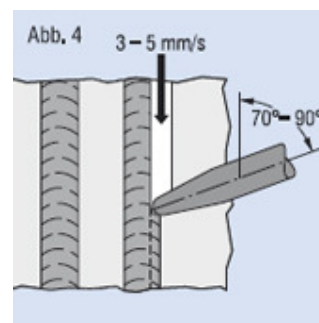
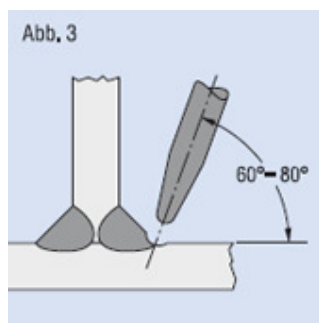
Cihazın üretim dataları, yedek parçaları ve aksesuarları:

Hava kaynağı	:	6 ile 8 bar
Güç. kaynağı(Akü)	:	3,7 V, 950mah
Boyutları	:	288x46x170 mm
Ağırlığı	:	1800 gr
Depolama sıcaklığı	:	+60 C ⁰
Manometre ölçüm aralığı	:	(+/- 0,2 bar)
Hava ihtiyacı	:	en az 400 l/min



HiFIT cihazının özellikleri:

- Kompakt, sağlam tasarım
- Güçlü
- Uzun ömürlü
- Hafif
- Taşınması kolay
- Entegre basınç göstergesi
- Aşınmış parçalar kolayca değiştirilebilir
- Çalışma sonucu son derece kolay tekrarlanabilir.





Kren kirişlerinin bölme ve kemerleri arasındaki kaynak dikişlerinde yorulma dayanımının yükseltilmesi için HiFIT yönteminin kullanımı



HiFIT yöntemi çelik köprü yapıların yorulma dayanımının yükseltilmesi için kullanılır.

Hazırlanacak kaynak dikişi detaylarına erişim genellikle problemlidir. HiFIT cihazının küçük boyutları sahip olması kaynak dikişlerinin yapımında zor yerlere ulaşımını da mümkün kılar.



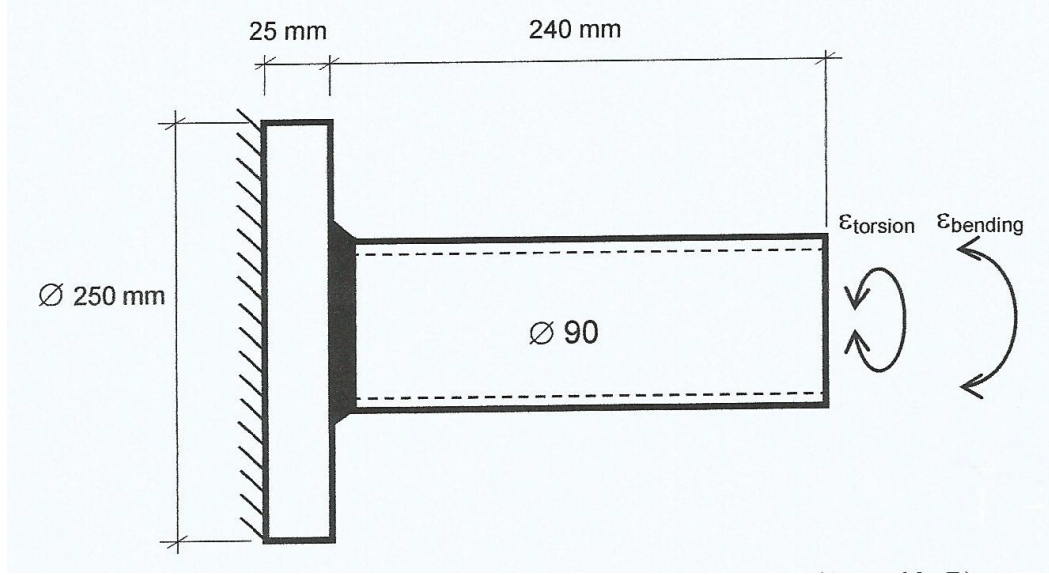
Rüzgar türbinlerinin gövdesindeki kaynak dikişlerinde yorulma dayanımının yükseltilmesi için
HiFIT yönteminin kullanımı



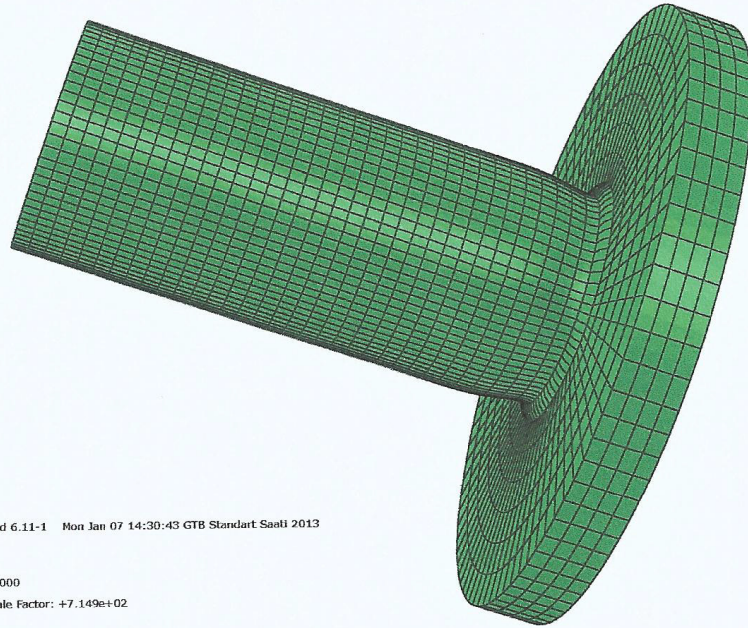
HiFIT Kaynak yönteminin kullanımı

ABAQUS MODELLEMESİ ve ÇÖZÜMLERİ

Problemin çözümünde ABAQUS Programı kullanılmıştır.

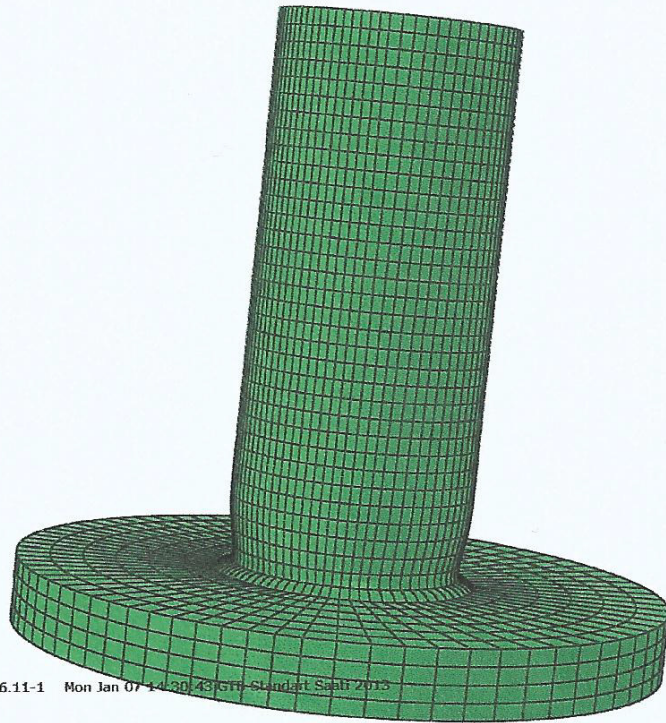


Şekil 1) Yönlendirme Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunesi Boyutları



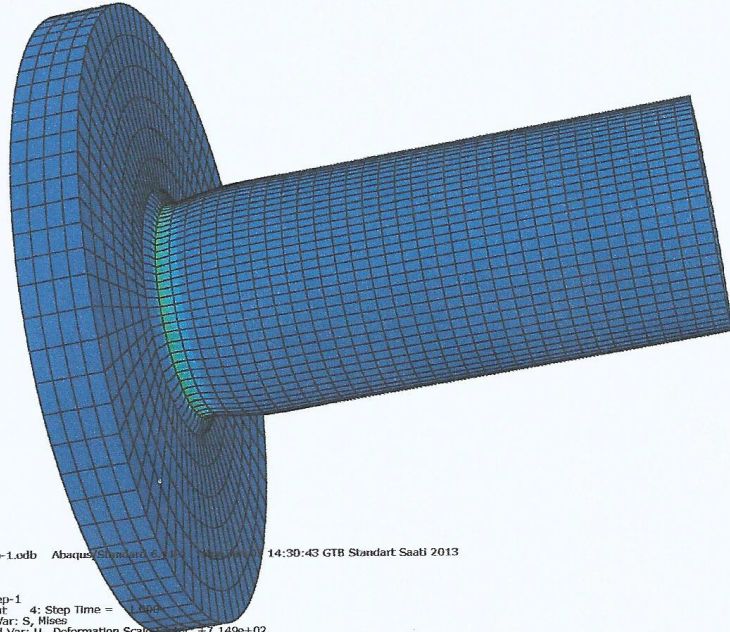
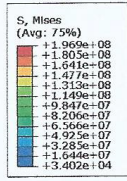
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 6.11-1 Mon Jan 07 14:30:43 GTB Standard Saati 2013

Step: Step-1
Increment 4: Step Time = 1.000
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +7.149e+02



ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 6.11-1 Mon Jan 07 14:30:43 GTB Standard Saati 2013

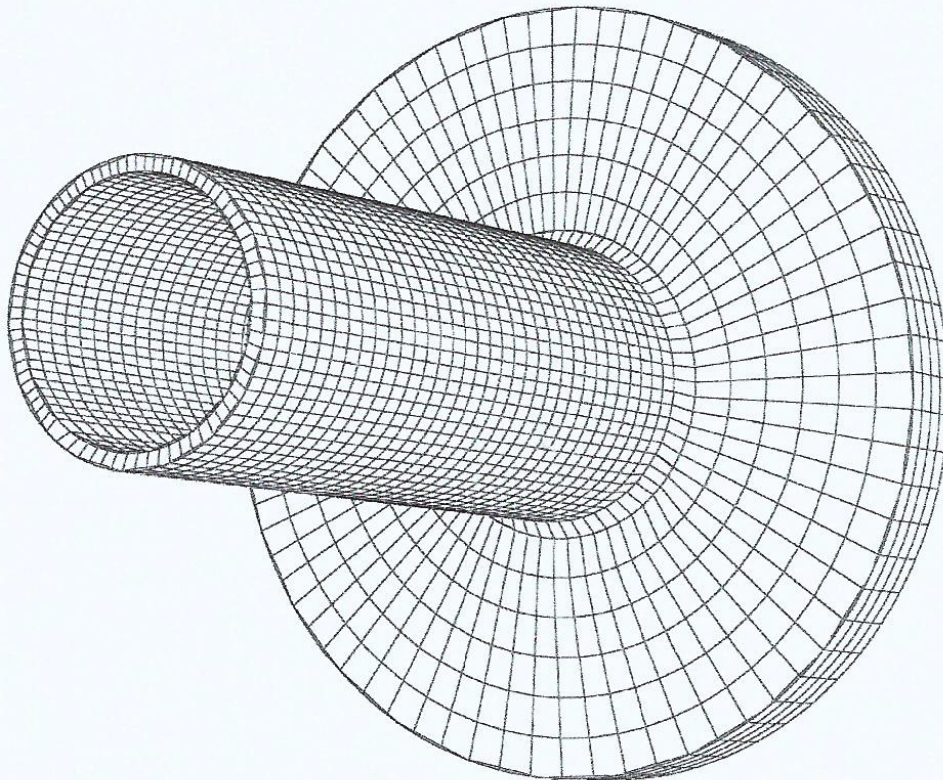
Step: Step-1
Increment 4: Step Time = 1.000
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +7.149e+02

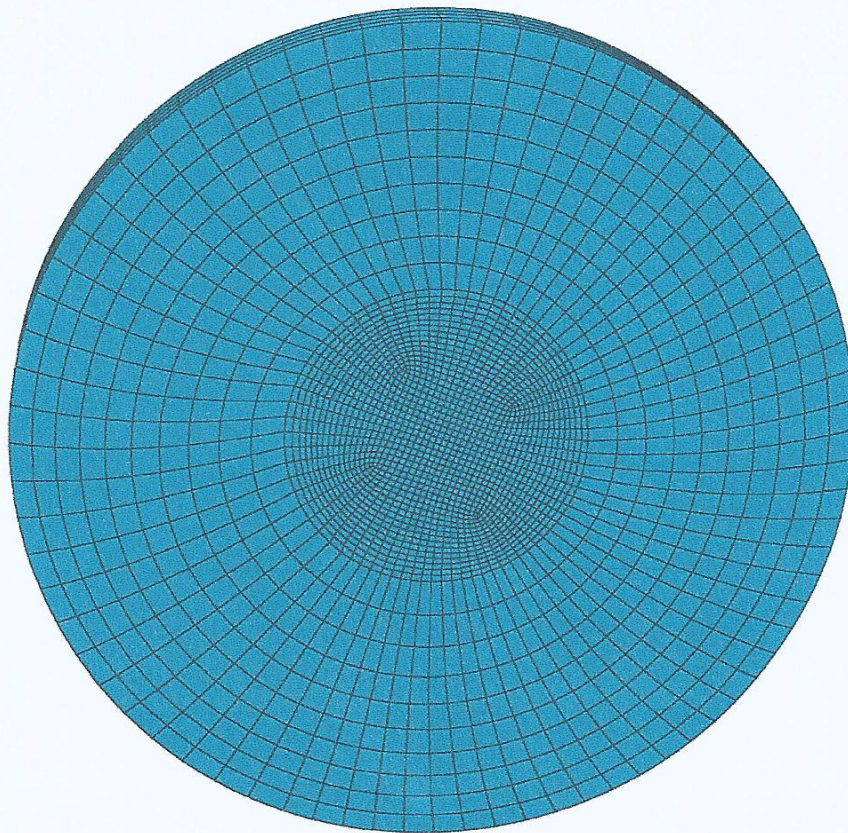
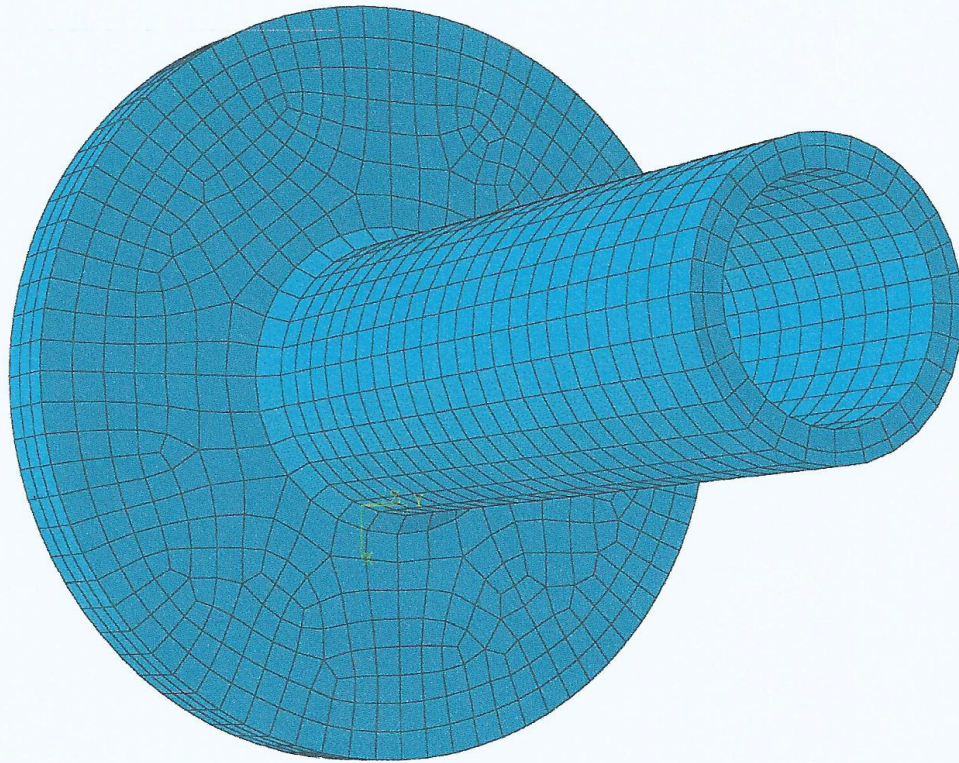


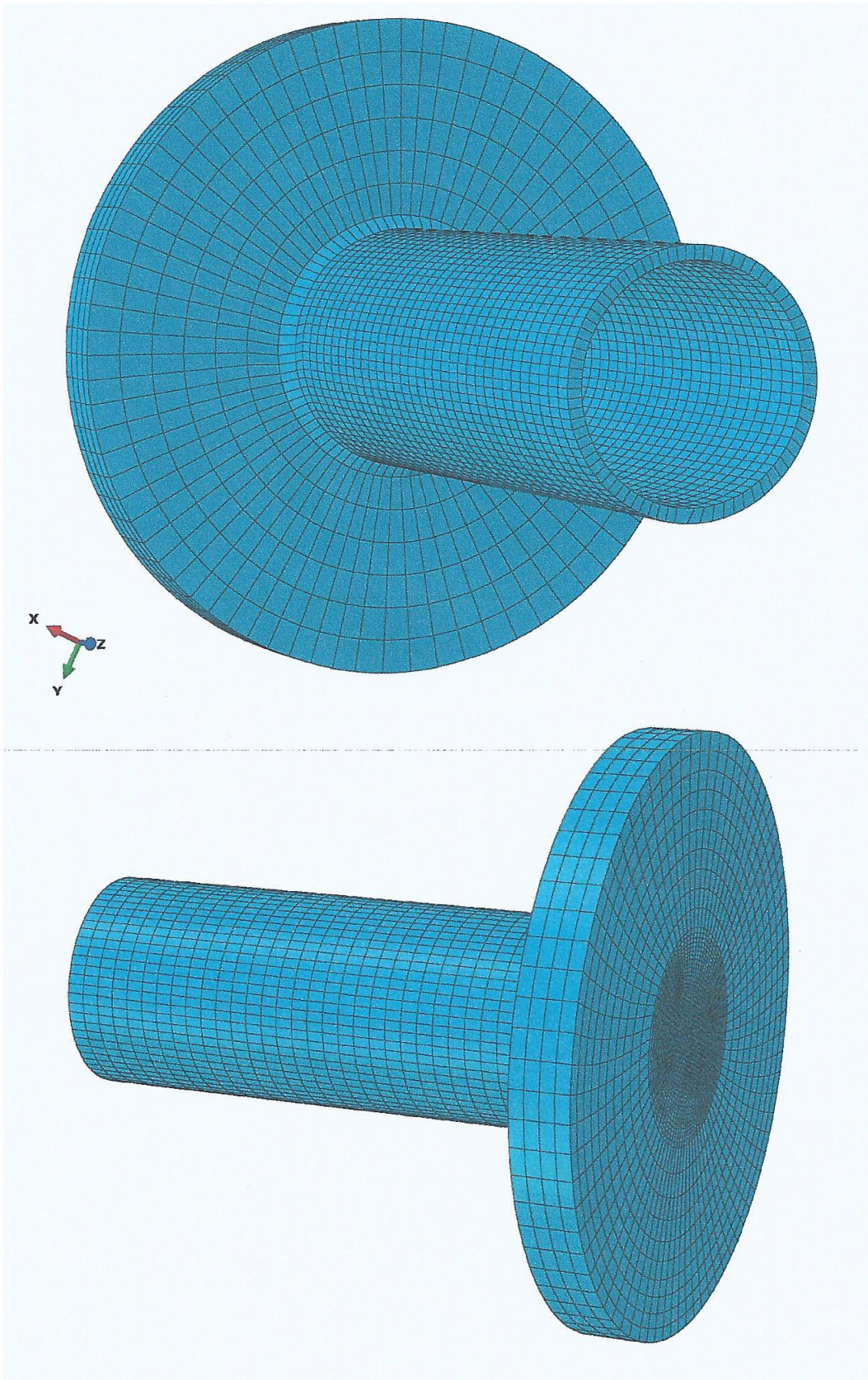
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 6.7.0 14:30:43 GTB Standart Saati 2013

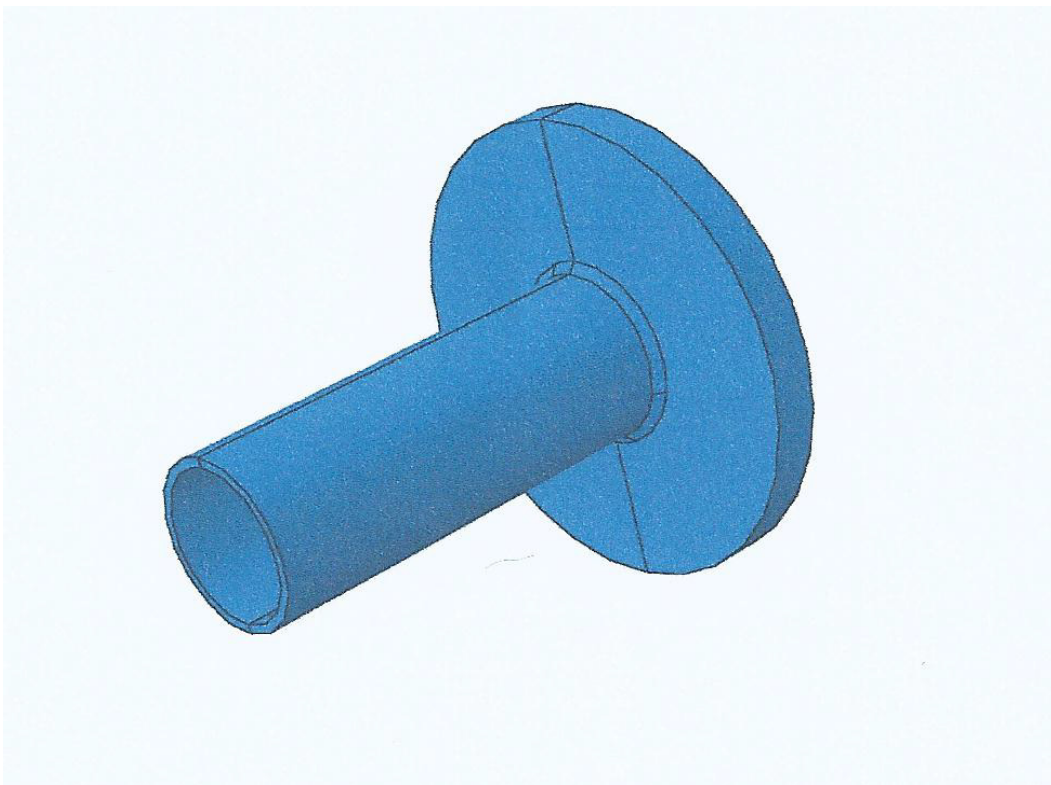
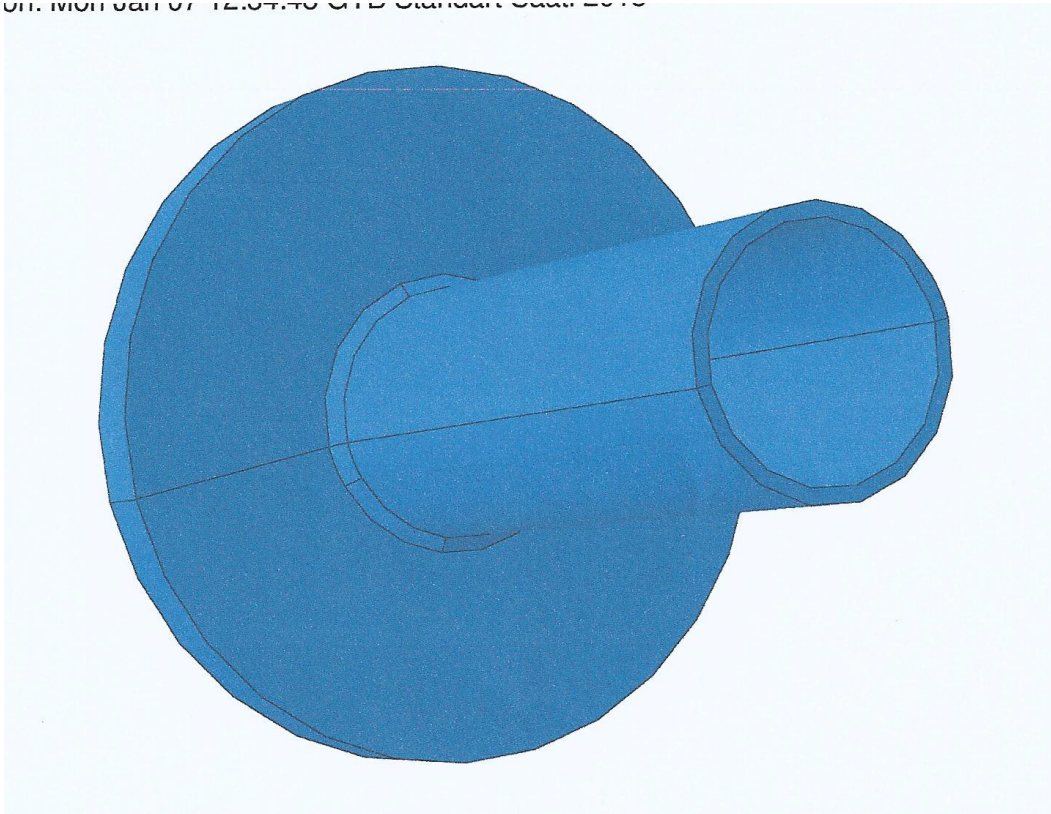


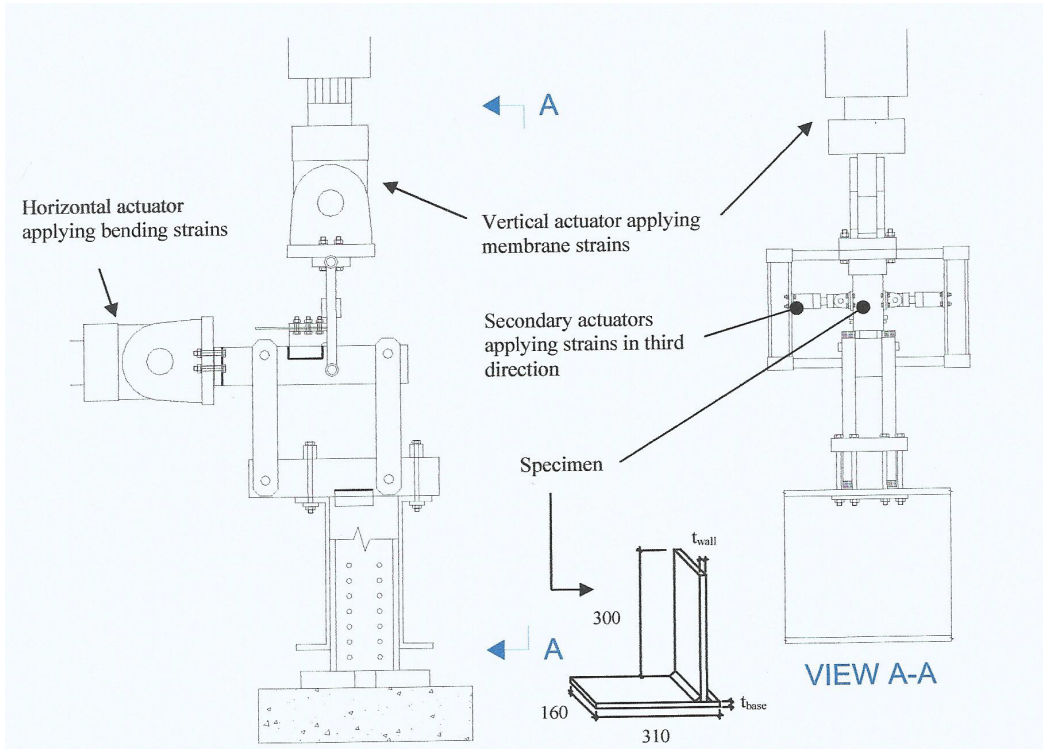
Step: Step-1
Increment: 4: Step Time = 1.0e-05
Primary Var: S_y Mises
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +7.149e+02











Sekil 2) Deney çerçevesi

Table 2. Test matrix for Assembly B (pier-to-base connection)

		Bending		Torsion		Combined, in-phase	
Strain range	Ratio ranges shear/normal strain	CA	VA	CA	VA	CA	VA
Level 1 ^a		4	6	4	6		
Level 2 ^b		4		4			
Level 1	ratio 1					4	6
Level 2						4	
Level 1	ratio 2					4	6
Level 2						4	
Total:		8	6	8	6	16	12
Grand Total ^c :							56

^a Number of cycles between 5 and 10

^b Number of cycles less than 5

^c Total number of specimens for each steel grade (S355 and S690Q)

Table 1. Test matrix for assembly 1 (wall-to-base connection of tanks)

					New	New	Old (corroded)
T-joint, steel S355 and S690 Q	Test type	Rotation range (bending) in rad.	Membrane strain level % ϵ_y	Axial strain 2nd direction	Size 1	Size 2	Size 1
Uniaxial fatigue loading (bending w/constant axial strain)	CA	0.3	10%		*	*	*
	CA	0.3	50%		*	*	*
	CA	0.4	10%		*	*	*
	CA	0.4	50%		*	*	*
	CA	0.5	10%		4	4	4
	VA	Represent. history	Represent. level		6		6
Biaxial fatigue loading (bending w/variable axial stain)	CA	0.5	In-phase		4		4
	VA	Represent. history	In-phase		6		6
Multiaxial fatigue loading (with additionnal in-phase axial 2nd direction)	CA	0.5	In-phase	range 1	4		
	CA	0.5	In-phase	range 2	4	4	
	VA	Represent. history	In-phase	range 1	6	6	
				Total	34	14	20
Grand total *							68

* Tests already carried out at EPFL within a completed one year study (refer to report Aug. 2010)

* For each steel grade (S355 and S690Q)

Swiss Federal Institute of Technology – Lausanne (EPFL)

Referanslar ve Son Yayınlar:

- [Cortes et al. 2006] CORTES, G., LOPEZ, R., SAFFAR, A., *Earthquake Induced Damage Estimation In Steel Buildings*, Proceedings of the 4th Latin American and Caribbean Conference, Mayaguez, PR, June 21-26, 2006.
- [Cortes 2006] CORTES, G., *Earthquake Induced Damage Estimation In Steel Buildings*, Master's Thesis, University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico, USA, 2006.
- [Cortes and Liu 2010] CORTES, G., LIU, J., *Analysis and Design of Steel Slit Panel Frames (SSPFs) for Seismic Areas*, Engineering Journal. AISC. (Accepted for publication)
- [Cortes and Liu 2010] CORTES, G., LIU, J., *Experimental Evaluation of Steel Slit Panel Frames for Seismic Resistance*, Journal of Constructional Steel Research. Elsevier, ISSN 0143-974X, DOI: 10.1016/j.jcsr.2010.08.002.
- [Cortes 2009] CORTES, G., *Steel Slit Panel Frames for Lateral Resistance of Steel Buildings*, PhD Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 2009.
- [Cortes and Nussbaumer 2010] CORTES, G., NUSSBAUMER, A., *Seismic Behavior of Shell-to-Base Connections in Large Storage Tanks*, Report No. IC 495, ICOM, EPFL, Lausanne.
- [Cortes et al. 2010] CORTES, G., NUSSBAUMER, A., LATTION, E., BERGER, C., *Experimental Determination of the Capacity of Wall-to-Base Connections in Storage Tanks*, Journal of Constructional Steel Research. Elsevier. (Submitted).
- [Dubois 1994] DUBOIS, V., *Fatigue de détails soudés traités sous sollicitations d'amplitude variable*, Thèse N° 1260, EPFL, ICOM, 1994.
- [Haldimann-Sturm et al. 2007] HALDIMANN-STURM, S., NUSSBAUMER, A., *Determination of allowable defects in cast steel nodes for tubular bridge applications*, International Journal of Fatigue, Elsevier Ltd., vol. 30, 2008, pp. 528-537 (available online 27 March 2007).
- [Imhof et al. 2001] IMHOF, D., NUSSBAUMER, A., *On the Practical Use of Weld Improvement Methods*, Progress in Structural Engineering and Materials, Wiley Interscience, Vol. 3, N° 1, 2001, pp. 95-105.

- [Mashiri et al 2007] MASHIRI, F. R., ZHAO, X, HIRT, M. A., and NUSSBAUMER, A., *Size Effect of Welded Thin-Walled Tubular Joints*, International Journal of Structural Stability and Dynamics (IJSSD), World Scientific Publishing Co., Vol. 7, No. 1, 2007, pp. 101-127.
- [Nussbaumer et al 2008] NUSSBAUMER, A. and BORGES, L., *Size effects in the fatigue behavior of welded tubular bridge joints*, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Wiley interscience, Vol. 39, N°10, Oct. 2008, pp. 740-748.
- [Peeker et al. 1998] PEEKER, E., NIEMI, E., *Fatigue crack propagation model based on a local strain approach*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 49, No. 2, pp. 139-155, Elsevier, September 1998.
- [Schumacher et al 2009] SCHUMACHER, A., COSTA BORGES, L., NUSSBAUMER, A., *A critical examination of the size effect correction for welded steel tubular joints*, International Journal of Fatigue, Elsevier Ltd., vol. 31, 2009, pp. 1422–1433.
- [Walbridge et al 2008] WALBRIDGE, S. and NUSSBAUMER, A., *Probabilistic fatigue analysis of shop and field treated tubular truss bridges*, Journal of Constructional Steel Research, Elsevier Ltd., Vol. 64, 2008, pp. 156-166.

Graz University of Technology (TUG)

Referanslar ve Son Yayınlar:

- [Greiner and Wallner 1997] GREINER, R., WALLNER, S., The new part “strength of shells” of Eurocode 3.1, Proceedings of the International Conference on Carrying capacity of steel shell structures, 1-3 October 1997, Brno, Czech Republic, pp. 119-125. Part 2: ULCF of welded joints under variable multi-axial load 8
- [Greiner and Taras 2006] GREINER, R., TARAS, A., Zylindrische Behälter aus Stahl - Bemessungskonzept und statische Tragwirkung, in Stahlbau Kalender 2006, Kuhlmann, U. (ed.), pp 636-710, Ernst&Sohn, Berlin, 2006.
- [Greiner et al. 2007] GREINER, R., TARAS, A., BRUNNER, H., Statistisch begründete Festigkeitskennwerte genieteter Bauteile - statische Festigkeit und Wöhlerlinienkatalog, Stahlbau, pp. 537-552, Ernst&Sohn, Berlin, 2007

- [Greiner and Kettler 2008] GREINER, R., KETTLER, M., Seismic response of tanks in view of shell theory, Conference on Structures and Granular Solids-From Scientific Principles to Engineering Applications, Taylor & Francis Group 2008, pp. 159-168, ISBN 978-0-415-47594-5
- [Greiner et al 2009a] GREINER, R., OFNER, R. TARAS, A., Local Fatigue Failures in Highway Composite Bridges, Proceedings of the Conference Fatigue & Fracture 2009, Philadelphia (USA), July 27-28, 2009.
- [Greiner et al 2009b] GREINER, R., TARAS, A., UNTERWEGER, H., Tragverhalten an Gurtdickensprüngen geschweißter Biegeträger, Stahlbau, pp. 451-461, Ernst&Sohn, Berlin, 2009
- [Kettler and Greiner 2005] KETTLER, M., GREINER, R., Seismic Design Calculations of Large Cylindrical Flat-Bottom Storage Tanks, National Steel Conference, Xanthi/Greece, September 28, 2005
- [Kettler 2008] KETTLER, M., Earthquake Design of Large Liquid-Filled Steel Storage Tanks, VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 2008.
- [Taras and Greiner 2005] TARAS, A., GREINER, R., Design of wind girders for open-top liquid storage tanks made of steel, Proceedings of the Conference Shell Structures: Theory and Applications (2005), pp. 553-558, Taylor & Francis Group, ISBN 0-415-38390-0
- [Taras and Greiner 2006] TARAS, A., GREINER, R., Verification of the validity of conventional design rules for steel-lined pressure tunnels under external, Proceedings of the International Seminar on Hydropower Plants (2006), pp. 39-50, TU Vienna, 2006.
- [Taras and Greiner 2008a] TARAS, A., GREINER, R., Torsional and Flexural-Torsional Buckling - a Study on Laterally Restrained I-sections, Journal of Constructional Steel Research, 64, pp.725-731, Elsevier, London, 2010.
- [Taras and Greiner 2008b] TARAS, A., GREINER, R., Versuche an genieteten Brückenlängsträgern. Statisches Verhalten, Ermüdungsfestigkeit und Rissausbreitung, Stahlbau, pp. 507-514, Ernst&Sohn, Berlin, 2008
- [Taras and Greiner 2009] TARAS, A., GREINER, R., Fatigue Failures at Stiffener Connections in Highway Composite Bridges, Proceedings Fatigue Design 2009 - International Conference on the Respective Input of the Numerical Simulation and the

- Experimental Approach in Fatigue Design, pp. 39-50, CETIM/Senlis, France (2009)
- [Taras 2010] TARAS, A., Contribution to the Development of Consistent Stability Design Rules for Steel Members, PhD Thesis, Graz University of Technology, Austria, 2010.
- [Taras and Greiner 2010a] TARAS, A., GREINER, R., New design curves for lateral - torsional buckling - Proposal based on a consistent derivation, Journal of Constructional Steel Research, 66, pp.648-663, Elsevier, London, 2010.
- [Taras and Greiner 2010b] TARAS, A., GREINER, R., Development and Application of a Fatigue Class Catalogue for Riveted Bridge Components, Structural Engineering International, Vol. 20, pp.91-103, IABSE – Zürich (CH), 2010.

Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Referanslar ve Son Yayınlar:

- [Knoedel and Ummenhofer 2003] Knoedel, P., Ummenhofer, T.: *Flat Bottom Tanks Endangered by Ice Lenses*. Krupka, V. (ed.): Proc., Int. Conf. Design, Inspection, Maintenance and Operation of Cylindrical Steel Tanks and Pipelines, 2003, Prague, Czech Republic, 8.-11. Oktober 2003.
- [Knoedel and Ummenhofer 2004] Knoedel, P., Ummenhofer, T.: *Design of Squat Steel Tanks with $R/T > 5000$* . Motro, R. (ed.): Proc., IASS Symposium: Shell and Spatial Structures from Models to Realization, 2004, Montpellier, 20.–24. September 2004.
- [Medgenberg and Ummenhofer 2007] Medgenberg, J., Ummenhofer, T.: *Characterization of early fatigue damage in welded structures by thermal imaging*. Proceedings of the 6th International Conference on Fracture and Damage Mechanics, 2007, 17-19 July, Portugal. Key Engineering Materials, Vols. 348-349, pp. 297-300.
- [Medgenberg 2008a] Medgenberg, J., *Investigation of localized fatigue properties in unalloyed steels by infrared thermography*, PhD- thesis, Technical University of Braunschweig, 2008.
- [Medgenberg and Ummenhofer 2008b] Medgenberg, J., Ummenhofer, T.: *Analyse von Ermüdungsschädigung bei Stahl durch thermografische Analyse*

des thermomechanischen Kopplungsverhaltens. Bauingenieur, Juni 2008, pp. 277-287.

[Medgenberg and Ummenhofer 2008c] Medgenberg, J., Ummenhofer, T.: *Insitu fatigue damage investigations in welded metallic components by infrared techniques*. Journal of ASTM International, Vol. 5, Issue 9, 2008.

[Medgenberg and Ummenhofer 2009] Medgenberg, J., Ummenhofer, T.: *Investigations on local fatigue by infrared thermography*. Materialprüfung 3-2009, pp.156-165.

[Plum and Ummenhofer 2009] Plum, R.; Ummenhofer, T.: *Ultrasound excited thermography of thick-walled steel load bearing members*. QIRT Journal 2009 Vol. 6 No. 1, S. 79-100.

[Scharff et al 2008] Scharff, R., Siems, M., Ummenhofer, T.: *Einsparpotentiale bei Tragkonstruktionen von Offshore-Windenergieanlagen*. Stahlbau Vol. 77, 2008, pp. 624-629.

[Ummenhofer and Herion 2009] Running Research Project FOSTA P778: *Bemessung von ermüdungsbeanspruchten Bauteilen aus hoch- und ultrahochfesten Feinkornbaustählen im Kran- und Anlagenbau* (Design of fatigue loaded members made of high or extra high strength fine grain steels used in crane and plant structures), 2009.

[Ummenhofer et al 2009] Ummenhofer, T., Herion, S., Weich, I.: *Schweißnahtnachbehandlung mit höherfrequenten Hämmerverfahren - Ermüdungsfestigkeit, Qualitätssicherung, Bemessung*. Stahlbau, Vol. 78, 2009, pp. 605-612.

[Ummenhofer and Medgenberg 2009] Ummenhofer, T., Medgenberg, J.: *On the use of infrared thermography for the analysis of fatigue damage processes in welded joints*. International Journal of Fatigue, Vol. 31, 2009, pp. 130–137.

Referanslar

- [ASME 2004] ASME, *Boiler and Pressure Vessel Code*, American Society of Mechanical Engineers, ASME Press, New York, 2004.
- [Berger and Lattion 2009] BERGER, C. and LATTION, E., *Réservoirs Sous Charges Sismiques*, Master's Degree Thesis, IMAC-ICOM, EPFL, Lausanne, June 2009.
- [Castiglioni et al. 2009] CASTIGLIONI, C. A., PUCINOTTI, F., *Failure Criteria and Cumulative Damage Models for Steel Components Under Cyclic Loading*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, pp. 751-765, Elsevier, 2009.
- [Charkaluk et al. 2004] CHARKALUK, E., CONSTANTINESCU, E., *Dissipation and fatigue damage - a unified method to treat fatigue damage*, MP Materials Testing, Vol. 46, No. 10, pp.524-530, 2004.
- [Eurocode 3, 2007] EUROCODE 3, *Design of steel structures, part 1-6, Strength and Stability of Shell Structures*, EN 1993-1-6, CEN - European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
- [Eurocode 8, 2007] EUROCODE 8, *Design of structures for earthquake resistance, part 4, Silos, Tanks and Pipelines*, EN 1998-4, CEN - European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
- [Hamdan 2000] HAMDAN, F. H., *Seismic Behaviour of Cylindrical Steel Liquid Storage Tanks*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 53, pp. 307-333, Elsevier, 2000.
- [Kanvinde et al. 2008] KANVINDE, A. M., DEIERLEIN, G. G., *Validation of Cyclic Growth Model for Fracture Initiation in Blunt Notch and Dogbone Steel Specimens*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 134, No. 9, pp. 1528-2537, 2008.
- [Kettler 2004] KETTLER, M., *Earthquake Design of Large Liquid-Filled Storage Tanks*, Master's Degree thesis, Technical University of Graz, Austria, 2004.
- [Krapez and Pacou 2002] KRAPEZ, J. C., PACOU, D., *Thermography detection of damage initiation during fatigue tests*, Proceedings of SPIE, Vol. 4710, pp. 435-449, Orlando, Florida, 2002.
- [Malhotra 1997] MALHOTRA, P., *Seismic Response of Soil-Supported Unanchored Liquid-Storage Tanks*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 4, pp. 440-450, 1997.

- [Miner 1945] MINER, M. A., *Cumulative Damage in Fatigue*, Trans. ASME 67, A159 – A164, 1945.
- [Ohashi et al. 2001] OHASHI, M., Yamamoto, H., and Itoh, Y., *Fracture Behavior of a Structural Component under Bending Load*, Engineering Failure Analysis, 8, pp. 541-556, 2001.
- [Scharf 1989] Scharf, K., *Beiträge zur Erfassung des Verhaltens von erdbebenerregten, oberirdischen Tankbauwerken*, Dissertation, Universität Wien, 1989.
- [Shih 1981] SHIH, C. F., *Failure of Liquid Storage Tanks due to Earthquake Excitation*, PhD thesis, California Institute of Technology, California, USA, 1981.
- [Wasicek et al. 2008] WASICEK, M., FISCHER, F.D., KOLEDNIK, O., *Auswirkung von monotoner und zyklischer Belastung auf die Undichtheit eines Tankbodenecks*, Stahlbau 77, pp.524-530, Wiley – Ernst&Sohn, Berlin, 2008.
- [Yang 2003] YANG, B., *Thermographic detection of fatigue damage of reactor pressure vessel (RPV) steels*, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 12, No. 3, pp.345-353, 2003.

Çalışmanın Önemi ve Yaratacağı Etki

Bilim Dünyasında

Proje ekibinin kendi alanında uzman kişilerden oluşmasının araştırma konusunun bütünsel bir şekilde anlaşılmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Önerilen çalışmanın, düşük çevrimli yorulma, kabuk yapılar, sismik yapıların tasarımı, termografiksel aletler, sismik hareketlerde meydana gelen depo sızıntıları ve tüp şekilli Taşıyıcı alanlarında aktif olarak çalışan araştırmacılar için faydalı sonuçlar ortaya çıkaracağı beklenmektedir.

Çok eksenli yükleme koşullarında gözlemlenen Ultra Düşük Çevrimli Yorulma (UDÇY) konusunda ortaya çıkan bilgi birikiminin çelik depolar, silolar, boru hatları ve basınçlı tüpler gibi yapılara doğrudan uygulaması mümkündür. Ultra Düşük Çevrimli Yorulma farklı binalardaki kolon - kiriş bağlantıları ve kolon temel bağlantıları gibi birçok yapıda gözlemlenebildiği için, bilim dünyası bu olayın daha derinlemesine anlaşılmasından birçok fayda sağlayacaktır.

Toplum ve Mühendislik Mesleğine Katkı

Petrol ve diğer petrol ürünlerinin saklanması için kullanılan depolar çelik plakaların birbiriyle kaynaklanması ile elde edilmektedir. Üretim kolaylığı ve maliyetler düşünülerek, bu depolar zemin üzerinde kendi ağırlıkları ile durmakta ve herhangi bir yere sabitlenmemektedir. Depremler, bu depolarda büyük hasarlara neden olarak, kabul edilemez seviyede ekonomik ve çevresel tehlikelere sebep olmaktadır. Depolardaki duvar - taban bağlantısı yüksek öneme sahip olup, bu bağlantının yırtılması depoların ömürlerini etkileyen önemli bir etkidir. Bu bağlantının yırtılması sonucu depoda sızıntı meydana gelebilmekte ve hatta ani patlamalar gerçekleşebilmektedir. İsviçre’de bulunan ve sismik yüklere maruz kalan silo ve depoların tasarımının onaylanması için kullanılan Eurocode 3 ve Eurocode 8’in 4. kısımları, kaldırma riski ve duvar - taban bozulmasından dolayı birçoğunun güçlendirilmesi gerektiğini göstermiştir. Bununla birlikte, bu tahminlerde kullanılan tasarım kurallarının teorik altyapısı oldukça yetersiz veya tamamen bilinmediğinden bu kuralların ne derece sıkı olduğu tahmin edilememektedir. Bu çalışmada elde edilecek sonuçlar, yaygın olarak kullanılan bu depoların sismik güvenliğinin ne düzeyde olduğunun tahmin edilmesinde daha güvenli bir yaklaşım sunacaktır. Bununla birlikte, tüp kesitli Taşıyıcının kaynaklı taban bağlantısı için geliştirilen hasar listelerinin doğruluğunun tespiti, elde edilen sonuçların benzer bağlantılı parçalar içeren diğer alanlarda da uygulanabilmesini sağlayacaktır.

Araştırma Sonuçlarının Endüstriye Aktarılması

İlgili Avrupa standart komitelerine yapılan başvurular düşünüldüğünde, sonuçlar çelik konstrüksiyonların ve depoların yapımını düzenleyen Eurocode’ ları değiştirebilecek potansiyele sahiptir. Bu durum, toplumun yapı ve çevre güvenliği için endüstriyel altyapı çalışmalarından talep ettiği isteklerin karşılanması için önemli bir katkı sağlayacaktır. Ayrıca, sigorta şirketleri ve operatörler de bu çalışma sonucu ortaya çıkacak bilgi birikimi ile ilgilenebilir ve bu sayede su anda geçerli olan fiyatlar hakkında daha doğru hüküm verebilirler.

Projeye Dahil Olan Uluslararası Takım Üyeleri:

1) Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Prof.Dr.Dipl.-Ing.Thomas Ummenhofer

2) Ecole Polytechnique Lausanne (EPFL):

Prof. Dr. Alain Nussbaumer, İCOM

3) Technische Universität Graz:

Dr. Andreas Taras, Prof. Dr. Richard Greiner (Bilimsel Danışman)

SONUÇLAR

Almanya da ayrıntılı Araştırma Programında belirtilen aşamaların önemli bir kısmı gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma projesi 3 ülkenin katılımıyla gerçekleştirilmektedir. Her bir ülkenin bu projedeki katkıları bölüşülmüştür. Bu bölüşüm dahilinde çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca bu proje 3 yıllık bir zamana yayılmış projedir. Bu projenin hazırlanması aşamasında da bulunmuş bir öğretim üyesiyim. Proje hazırlık ön çalışmaları yaklaşık 1 yıl sürmüştür. Kendim Çelik Yapılar ve Deprem Mühendisliği konusunda teorik olarak ve uygulamalarda bizzat bulunmuş bir uzman olarak ve Avrupa da büyük ölçekli depremler olmadığı için de benden çok yararlanma ihtiyacı duymuşlardır. Bu sebeple beni de bu projede deprem uzmanı olarak değerlendirmişlerdir.

Projenin kabulü 2013 başlarında gerçekleşmiştir. Bu proje 3 ülkenin katılımıyla yapılan bir proje olmasına karşın, proje mali destekleri her ülkenin kendi kurumları tarafından karşılanmaktadır. Almanya grubunun mali desteği DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) tarafından sağlanmaktadır.

Ayrıntılı Araştırma Planında da belirtildiği gibi 3 iş paketi planlanmıştır. 1. iş paketinde belirtilen bütün aşamalar gerçekleştirilmiştir. Bu iş paketi içerisinde literatür taramasının yapılması, proje ekibin daha önce gerçekleştirdiği ve literatüre sunduğu çalışmaların sonuçlarının araştırmacı tarafından yeniden elde edilerek doğrulanması sağlanmış, böylece teorik ve nümerik çalışmalara başlanmıştır. Projedeki ekiple ve Laboratuar ekipleriyle uyumun sağlanması çok önemli idi. Üniversitenin Laboratuar imkanları titizlikle incelenmiş ve en kritik detayına kadar elemanlardan bilgiler alınmıştır. Bu şekilde hem bilimsel çalışan ekiple ve hem de laboratuar ekibi ile sağlıklı bir uyum sağlanmıştır. Bu şekilde laboratuvarın ve bu laboratuarda yer alan cihazların tanınması tarafımdan sağlanmıştır. Çalışmalar esnasında bu uyum hiç bozulmamıştır. Bu iş paketinde belirtilen plan mayıs sonuna kadar devam etmiştir.

Daha sonra 2. iş paketine geçilmiştir. Bu aşamada Üniversitede kullanılan paket program ABAQUS Bilgisayar Programı idi. Halbuki biz Sakarya Üniversitesinde Genellikle SAP 2000 ve Ansys Programlarına göre hesaplarımızı yapıyor idik. Bana bu programları bu projede Uluslararası ekip olarak kullanmıyoruz dediler. Bu şekilde hemen ABAQU programını proje ekibindeki arkadaşların desteği ile öğrenmeye başladım. Şu anda onlar seviyesinde bulunmaktayım. Bu aşamadan sonra Proje Modelleme ekibine beni de aldılar. Çalışmamızla ilgili ABAQUS Modellenmesi ekibimiz tarafından yapılmakta idi. ABAQUS Modelleme örnekleri burada bahsedilmektedir. Ekibimizin hazırladığı bilgisayar modellemeleri 3 ülke ekibi tarafından uygun görülmüştür.

Bu arada bu raporda da belirttiğim gibi, normal kaynaklama yöntemleri yanında bir kaç yıl içinde geliştirilen ve Almanya da çok sıklıkla kullanılan kaynak yöntemleri tarafımdan öğrenilmiştir. Ayrıca maalesef Türkiye' miz de pek sıklıkla kullanmadığımız Yüksek Mukavemetli Yapı Çelikleri de Almanya da yoğun olarak kullanılmaktadır. Tabii ki bu çeliklerin kaynak yöntemleri de normal çeliklerin kaynak yöntemlerinden çok farklıdır. Bu çalışmalar esnasında Yüksek Mukavemetli çelikler konusunda bilgiler araştırılmış ve bu çeliklerle ilgili çeşitli malzeme deneyler Üniversite Laboratuarın da gerçekleştirilmiştir. Bu konuda çalışmalarımızla ilgili olarak sayısız malzeme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Yüksek

mukavemetli Çeliklerin hangi aşamalarda üretildikleri, malzeme iç yapılarının nasıl olduğu, dane dağılımlarının nasıl gerçekleştiği teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmalarla ilgili detaylı bilgi bu raporda verilmektedir. Bunun dışında metalurjik aletler kullanılarak bu projede kullanılan çeliklerin iç yapıları incelenmiştir. ABAQUS Modellemesinde elde edilen malzeme karakteristikleri kullanılarak ABAQU Modelleri geliştirilmiş ve hesaplanmıştır.

Araştırma Planının son aşamasında (Yaklaşık 20 günlük süre içinde) temel deneylerimize baz olacak ön yönlendirme deney serisine geçilmiştir. Bu deneyler esnasında deney setinin "setup" ının nasıl yapılacağı, bu esnada deney sisteminde meydana gelen aksaklıklar, deney numunesinin deney esnasında oluşturdukları aksaklıklar belirlenmiştir. Bu aksaklıklar proje ortakları olan 3 ülke ile paylaşılmıştır. Bu paylaşımlar her ülkenin kendi laboratuvarlarındaki yaptıkları ön yönlendirme deneyleri ile devam etmektedir. Bu paylaşımlar Sakarya Üniversitesinden almış olduğum 4 aylık süre içinde devam etmiştir. Ana deney serisine maalesef geçilememiştir. Böyle bir aksaklığın olabileceği düşünülerek 6 aylık olarak planlanmış ama Üniversitemizden şahsıma 4 aylık süre ile destek verileceği belirtilmiş. Uzatma talebim 2 ay Sakarya Üniversitesinden + 2 ay da kendi imkanlarımla olmak üzere 4 ay süre uzatılması talebinde bulunulmuş. Talep dosyası hazırlanıp komisyona gönderilmiş, maalesef olumlu cevap alınamamıştır. Buna rağmen çalışmalarımın yarım kalmaması için kendi imkanlarımla karşılamak üzere 2 + 2 toplam 4 aylık süre talebinde bulunulmuş. Bu talebimi Rektörlüğümüz uygun görmüş ve çalışmalarımız Almanya da devam etmektedir. Bu proje kısa süreli bir proje değildir. 3 yıl sürecek bir projedir. Ayrıca bu proje Almanya daki Üniversitenin tek başına hazırladığı bir proje de değildir. Bu nedenle çalışmalar belirli aralıklarla 3' lü toplantılar yapılarak devam etmektedir. Bu nedenle çok hızlı çalışılamamaktadır. Projenin her aşaması istişare edilerek gerçekleştirilmektedir. Şahsımın isteği bu projede çalışmalarımı daha da devam ettirmektir. Bu amaçla çeşitli Yurtiçi ve Yurtdışı burs ve diğer destek imkanları tarafımdan araştırılmaktadır. Bu imkanlar bulunursa devam etmeyi, bulunmaması durumunda kendi imkanlarımı kullanarak bir süre daha bu projedeki çalışmalarına devam etmektir. Kendimi geliştirmek ve Uluslararası Dergilerde yayınlanacak Makalelere diğer ekip arkadaşları ile katılmak ve bilime katkıda bulunmaktır. Bu amaç doğrultusunda çalışmalarına devam etmekteyim. Kısıtlı da olsa Üniversitemin bana vermiş olduğu destek için teşekkürlerimi iletirim. Sonuç raporum bu minvaldedir.

29.Ağustos.2013

Doç.Dr.Ahmet Necati YELGİN