

EN AW 7020-T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA KAYNAK SONRASI ISIL İŞLEMİN KOROZYON DİRENCİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Barış KOÇ*

Metaller ve Malzeme Yüksek Mühendisi,
FNSS Savunma Sistemleri AŞ, Ankara
baris.koc@fnss.com.tr

Javier GARCIA

Makina Yüksek Mühendisi,
FNSS Savunma Sistemleri AŞ
javier.garcia@fnss.com.tr

ÖZET

Yüksek dayanımlı, yaşlandırılabilir ve kaynaklanabilir alüminyum 7020-T651 alaşımı yüksek yorulma ve akma dayanımı dolayısıyla kaynaklı askeri yapılarda kullanılmaktadır. Bu alaşım ark kaynağı için 5356 kaynak teli ile yeterli kaynaklanabilirliğe sahiptir ve kaynaktan sonra ana malzemenin T4 temperine eşdeğer mekanik özellikler elde edilebilir. Ancak, bu malzeme kaynak edildiğinde ısıdan etkilenen bölgede kaynağın her iki tarafında pullanma korozyonuna karşı yüksek duyarlılık göstermektedir. Dolayısıyla, bu alaşımı kaynaklı tasarımda başarıyla kullanabilmek için pullanma korozyonuna karşı önlem alınması gereklidir. Kaynaktan sonra yapılan basamaklı suni yaşlandırma ısıl işlemi, pullanma korozyonuna karşı direnci kayda değer şekilde arttırmaktadır [1,2]. Bu çalışmanın amacı, EN AW 7020-T651 alüminyum alaşımında kaynak sonrası ısıl işlemin pullanma korozyonu direnci ve mekanik dayanım üzerindeki etkisini görmektir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum 7020, kaynak, pullanma korozyonu, mekanik özellikler

Effect of Post-Weld Heat Treatment on Corrosion Resistance and Mechanical Properties of EN AW 7020-T651 Alloy

ABSTRACT

Heat treatable, high strength, weldable 7020-T651 alloy is used due to its high fatigue strength and high yield strength in welded military structures. This alloy has satisfactory arc weldability with filler metal 5356 and after welding, mechanical properties equivalent to those of the parent metal in the T4 temper can be achieved. However, it shows a strong sensitivity to exfoliation corrosion in the heat affected zone, on either side of the welding bead once it has been incorporated into a welded structure. In order to successfully use this material in welded design suitable precaution must be taken against exfoliation corrosion. Step aging after welding will provide an appreciable measure of protection against exfoliation corrosion [1,2]. It is the aim of this study to see the effect of heat treatment after welding, on exfoliation corrosion resistance and mechanical strength of EN AW 7020-T651 aluminium alloy.

Keywords : Aluminium 7020, welding, exfoliation corrosion, mechanical properties

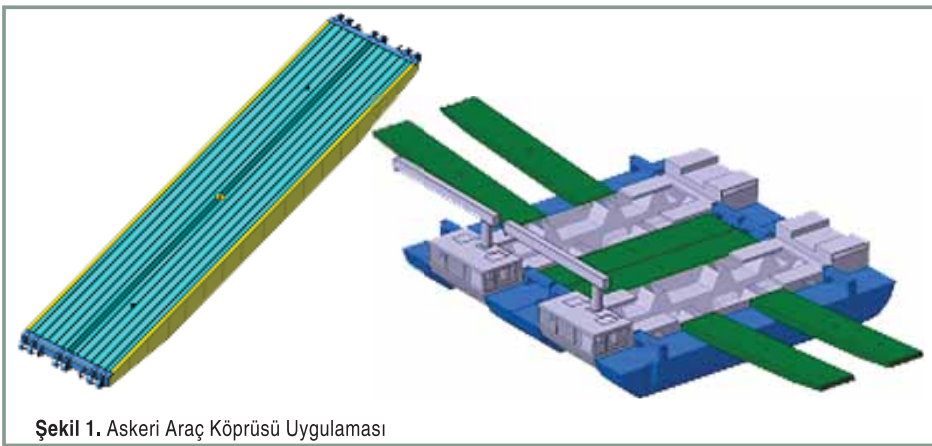
* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 05.12.2011
Kabul tarihi : 23.12.2011

1. GİRİŞ

EN AW 7020 [AlZn4.5Mg1] alaşımı haddelenmiş veya ekstrüzyon yarı-mamul olarak hafifliğin önemli olduğu zırhlı araçlar, askeri köprüler, yapısal mühendislik parçaları ve havacılık gibi alanlarda sıklıkla kullanılır.

Bu çalışmanın temelini oluşturan askeri araç köprüsü uygulaması Şekil 1'de gösterilmektedir. Türk Silahlı Kuvvetleri için yapılan Seyyar Yüzücü Hücum Köprüsü olarak adlandırılan bu araçta, sağda yeşil renkle gösterilen rampalarda diğer alüminyum alaşımları içinde kaynak sonrası



Şekil 1. Askeri Araç Köprüsü Uygulaması

en yüksek akma dayanımına sahip olmasından dolayı 7020-T651 alüminyum alaşımı kaynaklı imalat malzemesi olarak seçilmiştir. Bu aracın amacı nehir veya deniz gibi sulu açıklıklardan ana muharebe tanklarını veya zırhlı araçları karşı tarafa geçirmektir. Bu görev dolayısıyla rampalar 100 tona kadar dinamik yüklemelere maruz kalmaktadır. Şekil 1'de sol tarafta da gösterilen rampa üzerinde türkuaz renkle gösterilen plakalar ile sarı ve mavi renkle gösterilen C-profil şeklinde ekstrüzyonlar kullanılmaktadır. Rampa içinde ise

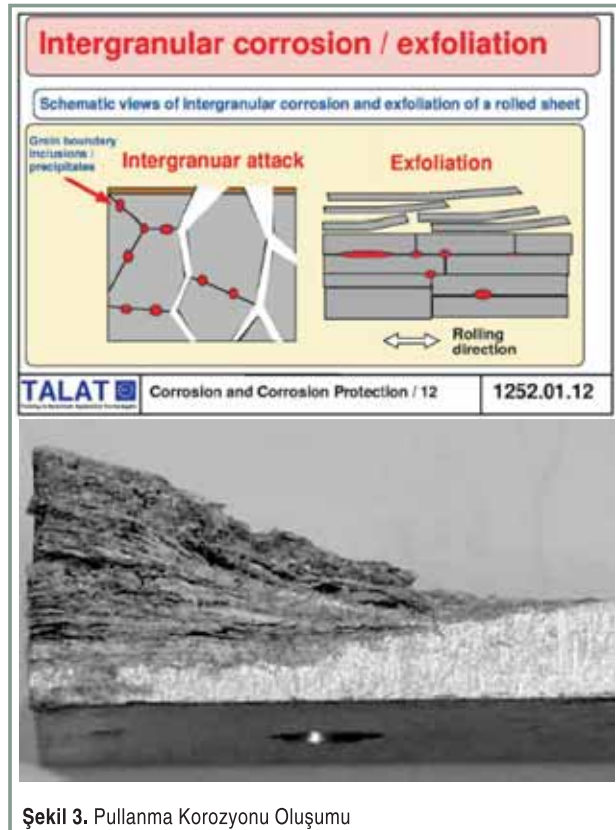


Şekil 2. Rampalar Operasyon Esnasında

eğilme direncini arttırmak için T-profillerden yararlanılmaktadır. Rampa kompleksi bu parçaları birbirine kaynak ederek oluşturulmaktadır. Rampaların üzerinden zırhlı araç geçerken fotoğrafı Şekil 2'de gösterilmiştir.

7020 gibi en fazla %0.20 Bakır içeren 7000 serisi alüminyum alaşımları TIG ve MIG yöntemleriyle kaynak edilebilir. Kaynaktan sonra soğuma esnasında, ısıdan etkilenen bölge (IEB), havada su verilmiş hâle gelir ve T4 (doğal yaşlanma) temperine eşdeğer mekanik özellikler sergiler [1,3].

Üretici firmalardan teslim alındığı hâlde (T651) ana malzemenin korozyon direnci iyileştirilmiş durumdadır. Ancak, ana malzeme kaynak edildiğinde ısının etkisiyle çökeltiler çözünür ve büyür. Bundan dolayı kaynaklı yapı ısıdan etkilenen bölgede, tane sınırlarına paralel olarak ilerleyip ana malzemenin, katman katman soyulduğu taneler arasında oluşan bir korozyon türü olan pullanma korozyonuna duyarlı bir hâlde gelir (Şekil 3). Bunun sebebi kaynak sonrası ısıdan etkilenen bölgede çözünen ve doğal yaşlanma (T4) oluşacak bölge için



Şekil 3. Pullanma Korozyonu Oluşumu

($T > 350^{\circ}\text{C}$), Zn ve Mg içeriği açısından zenginleşmiş anodik bölgelerin tane sınırlarına paralel olarak oluşmasıdır [2].

Sonuç olarak, bu bölgede pullanma korozyonuna karşı direnci iyileştirmek için kaynaklı yapıyı suni yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutmak gerekmektedir. Diğer taraftan, yapılan bu ısıl işlemin üretici firmadan teslim alınan ana malzeme mekanik özelliklerinde anlamlı bir değişiklik oluşturmaması beklenir. Bu malzemenin kullanıldığı rampa gibi kaynaklı yapılarda imalat süresi uzun olabileceğinden; suni yaşlandırma öncesi doğal yaşlanma süresinin mekanik özelliklere etkisini, bu durum kaynak yöntem testleri için önem arz ettiğinden incelemek gerekir.

Bu çalışma, kaynak edilmiş EN AW 7020 alüminyum alaşımının pullanma korozyon direnci ve mekanik özelliklerini standart testlerle incelemek amacıyla ele alınmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan 7 mm kalınlığında EN AW 7020-T651 plakanın kimyasal özellikleri ve üç adet numunenin uzun enine yönde (LT) mekanik özellikleri ortalaması sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir [4].

2.1 Kaynak İşlemi

Pullanma korozyon hassasiyeti testi için, 100x300mm boyutlarında hadde yönüne paralel ve hadde yönüne dik yönde iki adet plaka kaynak edilmiştir.

Plakaların kaynağında ESAB MIG 5000i model kaynak

makinası kullanılmıştır. Her bir paso için uygulanan kaynak parametreleri Tablo 3'te verilmiştir.

Kaynak işlemini takiben kaynaklı plakalar X-ışınları muayenesine tabii tutulmuş ve EN 12517-2 "Kaynakların Tahribatsız Muayenesi- Alüminyum ve Alaşımlarında Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi- Kabul Seviyeleri," kalite seviyesi 1'e göre kabul edilmişlerdir.

2.2 Isıl İşlem

Suni yaşlandırma reçetesi olarak pullanma korozyon direncini en etkin olarak arttırdığı bilinen ve tasarım kodlarında belirtilen aşağıdaki basamaklar uygulanmıştır [5, 6, 7]:

1. basamak: >3 gün doğal yaşlanma
2. basamak: 90°C metal sıcaklığında sekiz saat bekletme
3. basamak: 145°C metal sıcaklığında 16 saat bekletme

Test numuneleri için basamaklı suni yaşlandırma için kullanılan WEISS SB22/300 model fırının ısıl işlem grafiği çıktısı Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu grafikten laboratuvar fırınının kullanılması ve kütlelenin az olması dolayısıyla ısıtma hızlarının yüksek olabildiği ve ısıl işlemin yaklaşık 25 saatlik sürede tamamlandığı görülmektedir.

Gerçek uygulamada ise kaynaklı rampa kompleksi için kütlelenin fazla olması dolayısıyla ısıtma hızları, rampa, mümkün olan en kısa sürede istenen sıcaklığa ulaşacak şekilde ayarlanabilmiştir. Bundan dolayı, ısıl işlem süresinin, kaynaklı rampa kompleksi için yaklaşık 30 saat dolayında olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın homojen bir şekilde

Tablo 1. EN AW-7020 [Al Zn4.5Mg1] T651 Malzeme Kimyasal Özellikleri (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Zr	Ti+Zr	Diğerleri		Al
									Her biri	Toplam	
0.1	0.27	0.14	0.23	1.3	4.7	0.18	0.13	0.16	0.015	0.15	Kalan

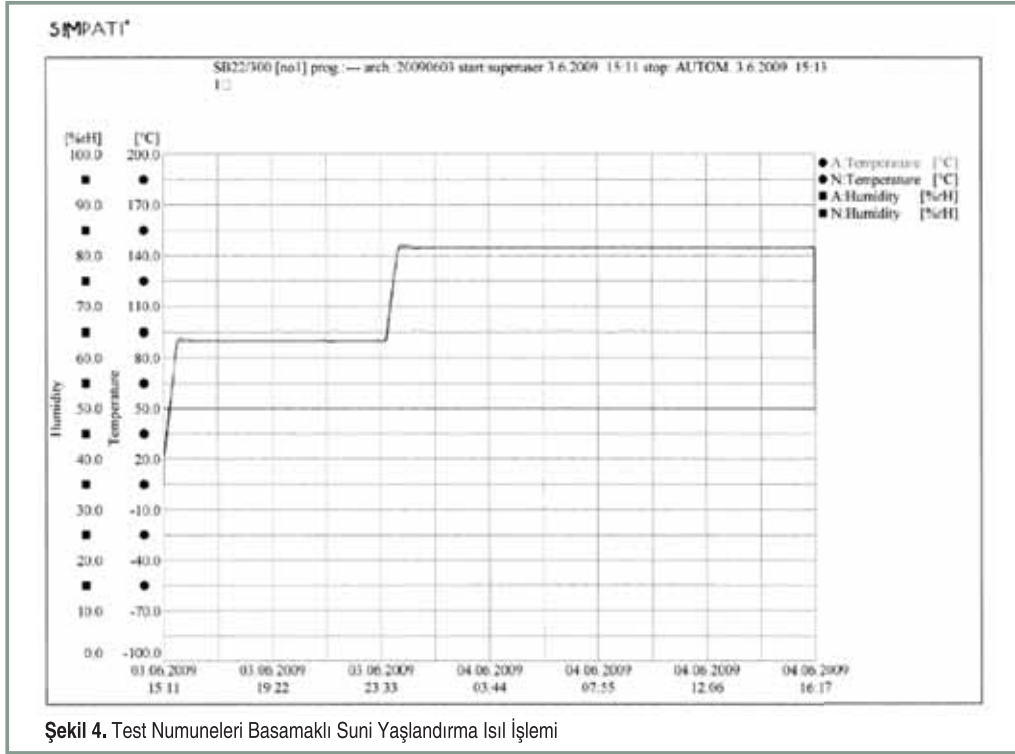
Tablo 2. EN AW-7020 [Al Zn4.5Mg1] T651 Ana Malzeme Mekanik Özellikleri

Akma Dayancı 0.2% (MPa)	333
Çekme Dayancı (MPa)	383
Uzama A_{50} (%)	14,8

dağılması önemli olduğundan toplam 10 adet ısıl çift, rampanın kalın ve ince kesitli bölgelerine uç ve orta kısımlarda bağlanmıştır (Şekil 5). 2. ve 3. basamakta tanımlanan bekleme sıcaklıklarına tüm ısıl çiftler $\pm 10^{\circ}\text{C}$ tolerans dahilinde ulaştıktan sonra bekleme süreleri başlatılmıştır. Isıl işlem tamamlandıktan sonra, rampa havada soğumaya

Tablo 3. Kaynak Parametreleri

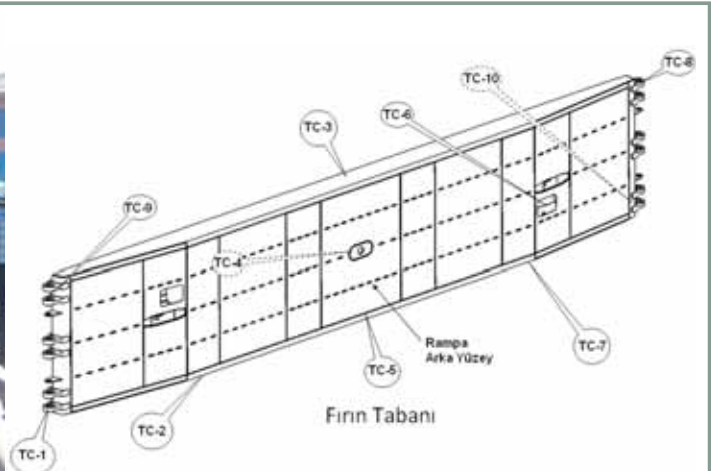
Paso Sırası	Paso Yeri	Kaynak İşlemi	İlave Metal Boyu	Koruyucu Gaz Debisi	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım Tipi/Kutu plama	Tel Sürme Hızı(m/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	Kök	131	1.2 mm	22 lt/dk (Ar)	180	24-25	DCRP	11	550	0.38
2	Arkadan Kök	131	1.2 mm	22 lt/dk (Ar)	170	24-25	DCRP	11	550	0.36
3	Kapak	131	1.2 mm	22 lt/dk (Ar)	180	24-25	DCRP	11	550	0.38
4	Kapak	131	1.2 mm	22 lt/dk (Ar)	180	24-25	DCRP	11	550	0.38



Şekil 4. Test Numuneleri Basamaklı Suni Yaşlandırma Isıl İşlemi



Şekil 5a. Kaynaklı Rampa Kompleksi Suni Yaşlandırma Isıl İşlemi Isıl Çift Yerleşimi



Şekil 5b. Kaynaklı Rampa Kompleksi Suni Yaşlandırma Isıl İşlemi Isıl Çift Yerleşimi

bırakılmıştır. Kaynaklı rampa kompleksinin ısı işlem grafiği çıktısı Şekil 6'da gösterilmiştir.

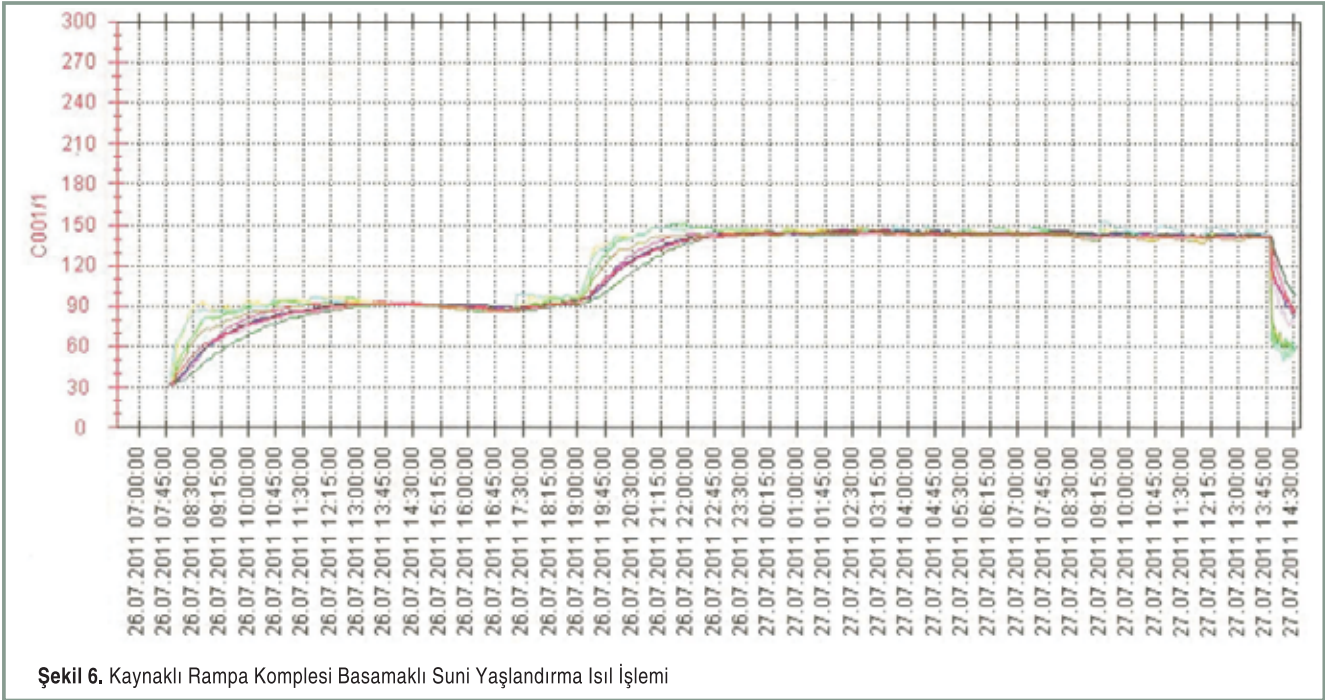
2.3 Pullanma Korozyon Hassasiyeti Testi

Kaynak sonrası suni yaşlandırma ısı işlemi pullanma korozyon direnci üzerindeki etkisini görebilmek için kaynak edilmiş plakalardan 50X100 mm boyutlarında çıkarılan aşağıdaki numuneler ASTM G34 "2XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımlarında pullanma korozyonu hassasiyeti belirlenmesi için standart test metodu" standardına göre test edilmiştir.

- 1 adet SA-L numune
- 1 adet SA-T numune
- 1 adet NA-L numune
- 1 adet NA-T numune

Doğal yaşlandırmaya bırakılmış numuneler kontrol numunesi amaçlı kullanılmışlardır.

"L" ve "T" yönlerindeki numuneler hadde yönünün pullanma korozyonu direnci üzerindeki etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır.



Şekil 6. Kaynaklı Rampa Komplexi Basamaklı Suni Yaşlandırma Isıl İşlemi

ASTM G34 test standardının gereği olarak aşağıdaki kimyasallarla test solüsyonu hazırlanarak numuneler 48 saat bu solüsyon içinde bekletilmiştir. Numune yüzey alanlarına göre gereken solüsyon hacmi yaklaşık 1250 ml olarak belirlenmiştir.

- NaCl (4.0 M)
- KNO₃ (0.5 M)
- HNO₃ (0.1 M)
- Deiyonize Su

2.4 Basamaklı Suni Yaşlandırma Sonrası Ana Malzeme Çekme Testi

Pullanma korozyon direncini iyileştirmek için yapılan basamaklı suni yaşlandırma ısıl işleminin, üretici firmadan teslim alınan ana malzemenin mekanik özelliklerinde anlamlı bir düşüş meydana getirmemesi gerekmektedir.

Bu durumu değerlendirmek için ISO 6892 “Metalik malzemeler - Çekme Testi - Bölüm 1: Oda Sıcaklığında Test Metodu” standardına göre hazırlanmış üç adet numune, basamaklı suni yaşlandırma işlemi sonrası çekme testine tabi tutulmuştur.

2.5 Basamaklı Suni Yaşlandırma Sonrası Kaynaklı Numune Çekme Testi

Bu malzemenin kaynaklı bir tasarımda kullanılması durumunda imalat süresi uzun olabileceği için basamaklı suni yaşlandırma ısıl işleminin farklı ön doğal yaşlandırma sürelerini takiben uygulanması gerekecektir. Bu durumun mekanik dayanım üzerindeki etkisini değerlendirebilmek

için ayrıca hazırlanmış hadde yönüne dik ve paralel kaynaklı plakalardan toplam 76 adet çekme numunesi ISO 4136 “Metalik Malzeme Kaynaklarında Tahribatlı Testler – Enine Çekme Testi” standardına göre test edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

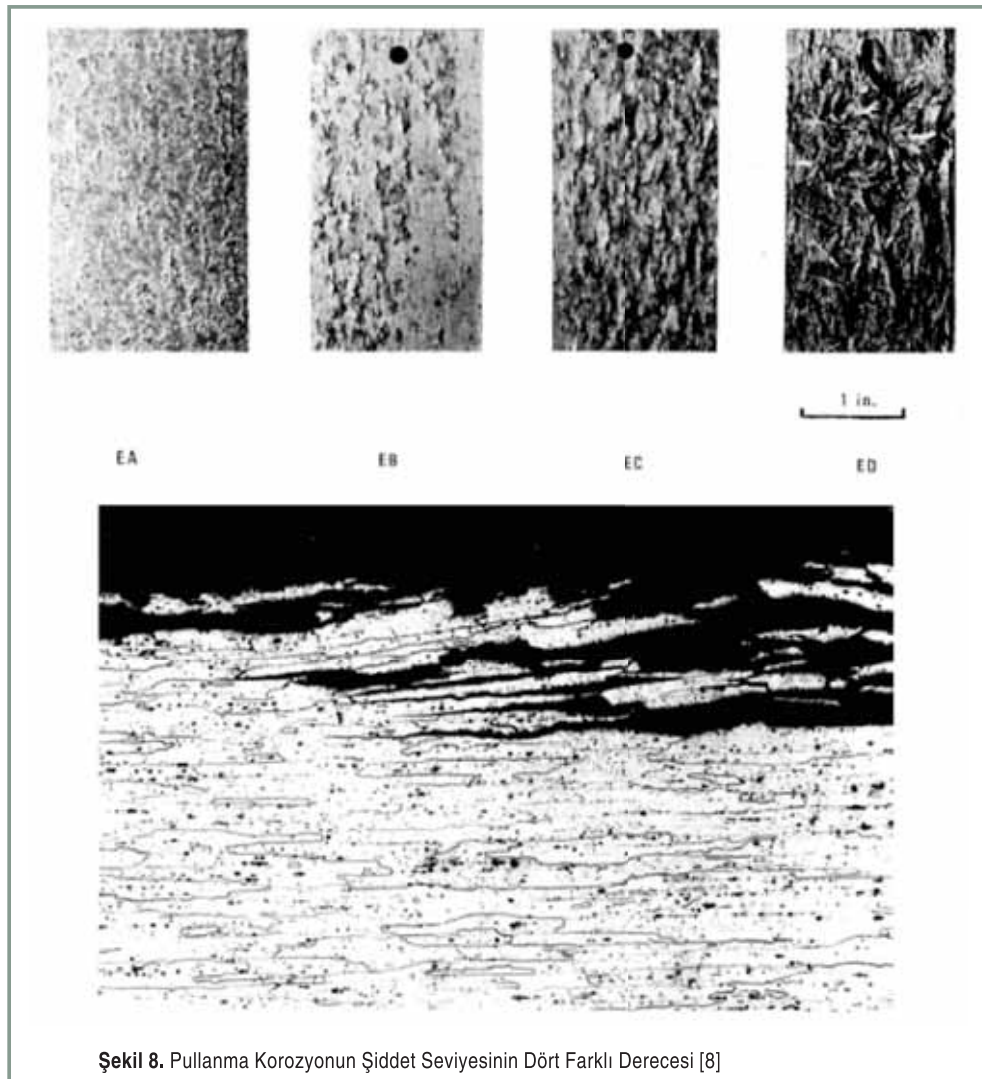
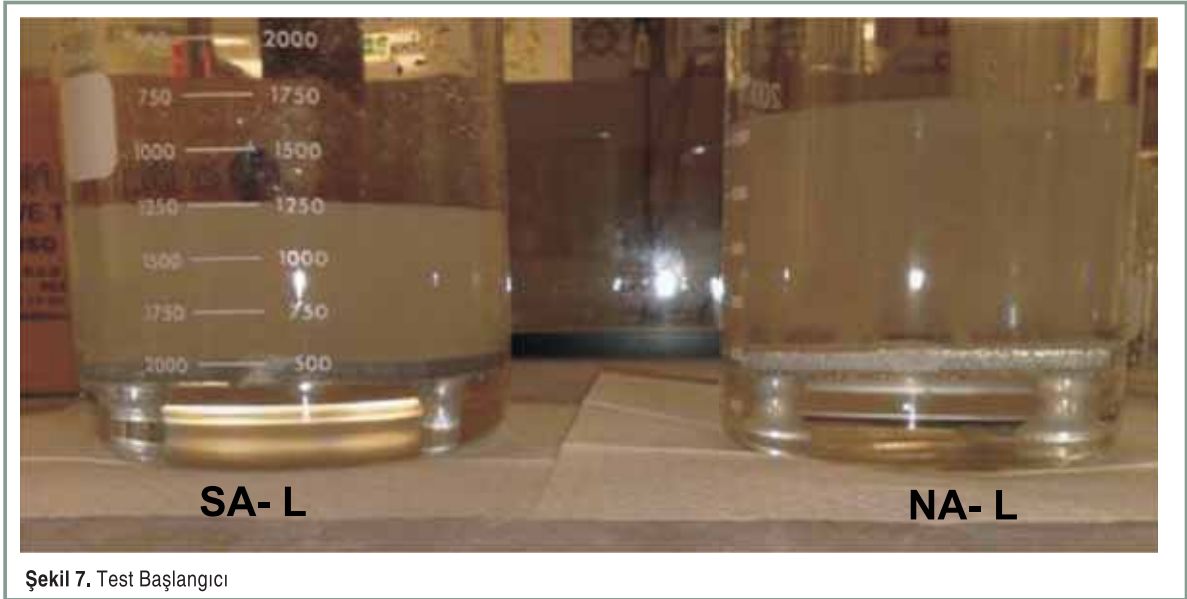
3.1 Pullanma Korozyon Hassasiyeti Testi Sonuçları

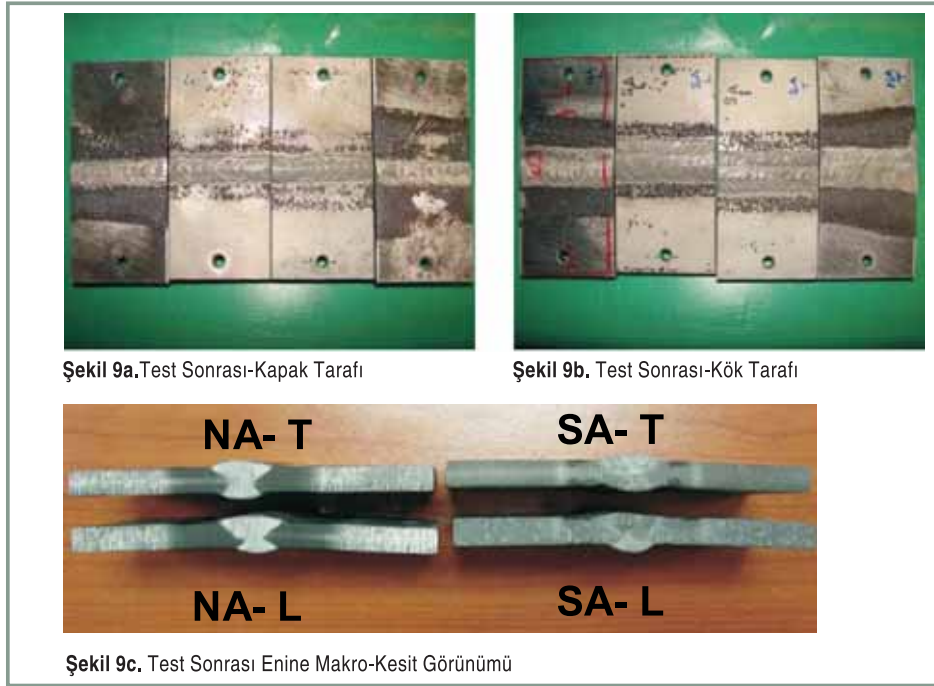
Test numuneleri Şekil 7’de görüldüğü gibi solüsyonun alt yüzeylere de homojen olarak ulaşması için altlarından pilyonlarla desteklenerek beher içerisindeki solüsyona yerleştirilmişlerdir. 48 saat bekletme süresi sonunda numuneler beher içinden alınıp hâlâ ıslak iken performans derecelendirmeleri yapılmıştır. Derecelendirme için test standardının içerisinde Şekil 8’de verilen karşılaştırma fotoğrafları kullanılmıştır.

Numunelerin test bitimindeki durumları Şekil 9’da görülebilmektedir. Test sonuçları Tablo 4’te raporlanmıştır.

Tablo 4’te görülebileceği üzere test süresi sonunda doğal yaşlandırmaya bırakılmış kaynaklı numuneler, ısıdan etkilenen bölgede et kalınlığında da azalmaya yol açan, en kötü şiddet seviyesi olan “ED” ile derecelendirilmişlerdir. Basamaklı suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş kaynaklı numuneler ise pullanma korozyonunun en düşük derecede olduğu şiddet seviyesi olan “EA” ile derecelendirilmişlerdir. Hadde yönlerine göre numunelerin pullanma korozyon dirençlerinde belirgin bir fark gözlenmemiştir.

Gerçek atmosfer şartlarında oluşan pullanma korozyonun oluşumu ile ASTM G34 pullanma korozyonu dereceleri





Tablo 4. Pullanma Korozyon Test Sonuçları

Numune No	Test Standardı	Malzeme	Kalınlık	Test Başlangıç Tarihi	Test Süresi	Derece
NA-L	ASTM G34	EN 485 / 7020 – T651 Kaynaklı	7 mm	23.02.2010 15:10	48 Saat	ED
SA-L	ASTM G34	EN 485 / 7020 – T651 Kaynaklı	7 mm	23.02.2010 15:10	48 Saat	EA
SA-T	ASTM G34	EN 485 / 7020 – T651 Kaynaklı	7 mm	15.02.2010 15:05	48 Saat	EA
NA-T	ASTM G34	EN 485 / 7020 – T651 Kaynaklı	7 mm	10.02.2010 10:35	48 Saat	ED

arasındaki korelasyonu değerlendirmek için ilgili ASTM görev grupları tarafından çalışmalar başlatılmıştır. Örneğin, 48 saatlik ASTM G34 pullanma korozyon testi sonrası EA şiddet dereceli numunelerin altı ile dokuz yıl deniz atmosferine maruz bırakıldıklarında başlangıç safhasında pullanma korozyonu gösterdikleri raporlanmıştır. ED şiddet dereceli numunelerin ise ilk bir yıl içerisinde aşırı derecede pullanma korozyonuna uğradıkları raporlanmıştır [8].

3.2 Basamaklı Suni Yaşlandırma Sonrası Ana Malzeme Çekme Testi Sonuçları

Test sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre basamaklı suni yaşlandırma ısıl işleminden sonra uzun enine yönde (LT) mekanik özellikler üzerinde önemli bir değişikliğin olmadığı görülmüştür.

3.3 Basamaklı Suni Yaşlandırma Sonrası Kaynaklı Numune Çekme Testi Sonuçları

Kaynak sonrası doğal yaşlandırmaya bırakılmış ve değişik doğal yaşlandırma sürelerinin ardından basamaklı suni yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulmuş çekme numunelerinin

Tablo 5. Basamaklı Suni Yaşlandırma İşleminde Önce ve Sonra EN AW-7020 [Al Zn4.5Mg1] T651 Ana Malzeme Mekanik Özellikleri

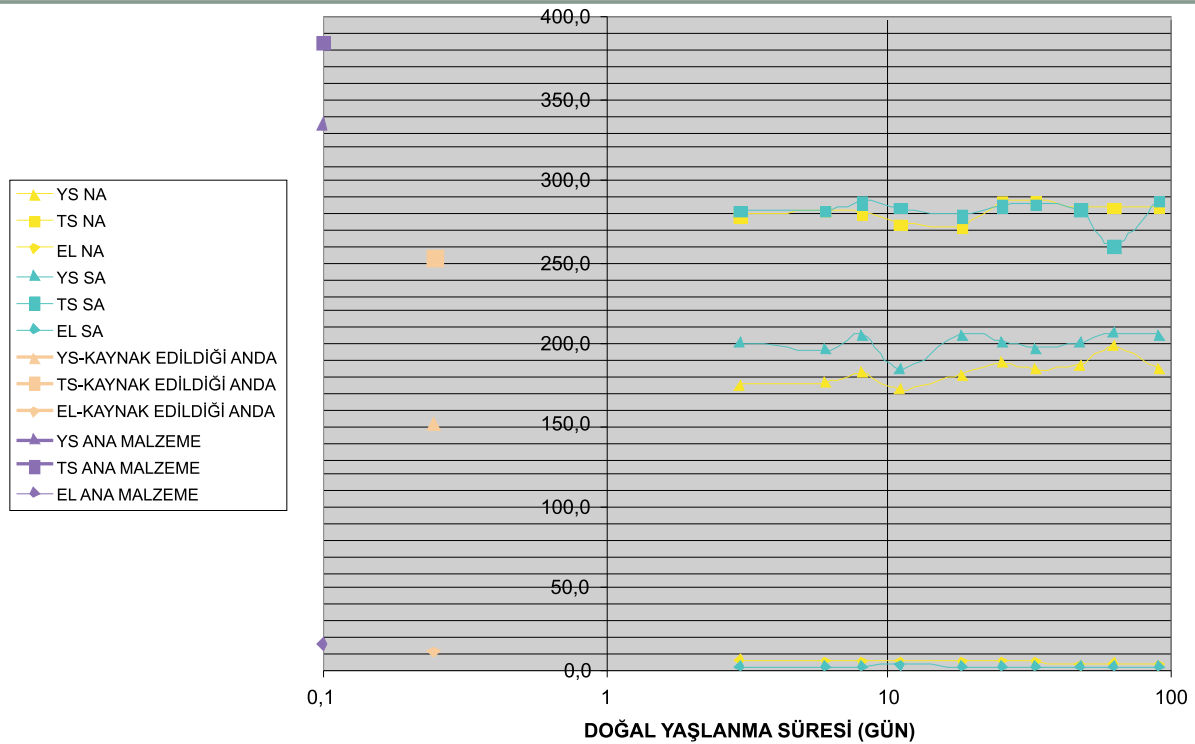
	Önce	Sonra
Akma Dayancı 0.2% (MPa)	335	331
Çekme Dayancı (MPa)	386	380
Uzama A ₅₀ (%)	15,7	14,4

test sonuçları Tablo 6 ve Şekil 10'da verilmiştir. Kaynak işlemi biter bitmez başlayan çekme testlerine 90 gün süreyle devam edilmiştir.

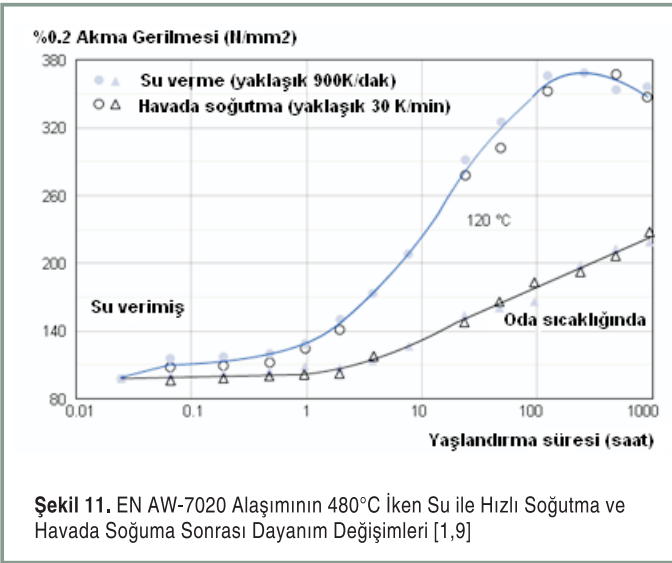
Test sonuçlarına göre, kaynak yöntem testleri açısından EN 15614-2 yöntem testi standardında 262,5 MPa olarak belirlenen çekme dayanımı değerinin tüm ön doğal yaşlandırma sürelerinde yakalanabildiği görülmüştür. Çekme dayanımı, EN AW 7020-7651 malzemesinin ait olduğu 23.2 numaralı grup için tanımlanan 0.75 birleştirme verim faktörü ile minimum ana malzeme çekme dayanımı olan 350 MPa ile çarpılarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Kaynak Sonrası Doğal Yaşlanma Sürelerinin (NA ve NA+SA süreleri) Mekanik Özelliklere Etkisi

Doğal Yaşlanma Süresi (Gün)	Ön Doğal Yaşlandırma Sonrası Basamaklı Suni Yaşlandırma (Gün)	YS NA (MPa)	TS NA (MPa)	EL NA (MPa)	YS SA (MPa)	TS SA (MPa)	EL SA (MPa)
0,1	Ana malzeme (7020-T651)	-	-	-	335,5	385,8	15,7
0,25	Kaynak edildiği anda	151,3	253,4	11,4	-	-	-
3	2	175,4	279,1	6,8	201,1	281,4	2,3
6	5	176,8	282,0	6,3	196,4	282,2	2,6
8	7	181,8	280,5	5,2	206,4	287,8	2,2
11	10	172,2	273,9	5,8	184,2	283,9	3,0
18	17	181,4	272,7	5,4	206,2	279,0	2,4
25	24	189,0	287,3	5,9	202,1	285,6	2,5
33	31	184,5	288,3	5,1	197,8	286,2	2,6
47	46	187,7	283,6	4,0	201,1	283,2	2,3
62	61	199,0	284,1	4,4	207,1	260,7	2,4
90	89	185,5	285,7	3,7	206,6	288,7	2,4



Şekil 10. Kaynak Sonrası Doğal Yaşlanma Sürelerinin (NA ve NA+SA süreleri) Mekanik Özelliklere Etkisi



Şekil 11. EN AW-7020 Alaşımının 480°C İken Su ile Hızlı Soğutma ve Havada Soğutma Sonrası Dayanım Değişimleri [1,9]

Mekanik özellikler ile ilgili diğer bir önemli nokta ise bu malzemenin kaynak sonrası ısıdan etkilenen bölgesinin doğal yaşlanma oluşan kısımlarında dayanımın Şekil 11'de görülebileceği üzere yaşlandırma süresiyle sürekli artmasıdır. Buna paralel olarak uzama değerlerinin azalacağı bilinmektedir. Bu etkiye soğuk sertleşme etkisi denilmektedir [9]. Bu etki yüzünden, bu malzemenin doğal yaşlandırılmış durumunda kullanılması önlenmelidir [10]. Bu etkiyi ortadan kaldırmak ve mikro-yapıyı daha kararlı hale getirmek için suni yaşlandırma ısıl işleminin yapılması gerekmektedir. Şekil 11, aynı zamanda EN AW-7020 alaşımının çözdürme tavlama sonrası soğutma hızının suni yaşlandırma veya doğal yaşlandırma sonrası elde edilen dayanım değerlerine etkisinin az olduğunu göstermektedir. Bunun için bu alaşım "su verme duyarlılığı az" ve "kendiliğinden yaşlanan" özellikli olarak tanımlanır [1, 10].

4. SONUÇ

Kaynak sonrası yapılan basamaklı suni yaşlandırma ısıl işleminin, malzemenin ısıdan etkilenen bölgelerinde korozyon özelliklerinde belirgin bir iyileşme sağladığı görülmüştür. Malzemenin kendiliğinden yaşlanabilir olması yani kaynak sonrası havada soğutma hızının, takip edecek olan yaşlandırma ısıl işlemi için yeterli olması, dolayısıyla su vererek hızlı soğutmayla elde edilebilecek mekanik özelliklere yakın değerler elde edilebilmesi, yaşlandırma prosesini kolaylaştırmaktadır. Başka bir deyişle, diğer yaşlandırılabilen alaşımlarda olduğu gibi çökeltilerin çözüldüğü bölgede yaşlanma etkisi oluşturacak çökeltilerin oluşması için, su vererek hızlı soğutma gereği bulunmamaktadır [1, 2].

Elde edilen pullanma korozyonu duyarlılığı testi sonuçlarına göre, bu malzemenin imal edilen kaynaklı bir kompleye

basamaklı suni yaşlandırma ısıl işlemi uygulandığı takdirde, gerçek atmosfer koşullarında ilave boya koruması da düşünüldüğünde uzun süre servis şartlarının sağlanabileceği öngörülmüştür. Bu duruma rağmen, kaynak bölgelerinin periyodik olarak muayene edilmesi önerilmektedir [2].

Son olarak, kaynak rampa kompleksi gibi kompleks bir kaynaklı yapının imalat süresi uzun zaman alabileceğinden, basamaklı suni yaşlandırma öncesi 90 günlük ön doğal yaşlanma süresinin mekanik özelliklere olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, T651 teslim şartında alınan ana malzemenin mekanik özelliklerinde basamaklı suni yaşlandırma işlemi sonrası bozulma olmadığı tespit edilmiştir.

KISALTMALAR

- IEB : Isıdan etkilenen bölge
 LT : Uzun enine yön
 DCRP : Doğru akım ters kutuplama
 SA : Basamaklı yaşlandırma (Step aging)
 NA : Doğal yaşlandırma (Natural aging)
 L : Hadde yönüne paralel kaynak edilmiş
 T : Hadde yönüne dik kaynak edilmiş

KAYNAKÇA

1. Aluminum-Verlag Marketing & Kommunikation GmbH, 1999, Aluminum Handbook, ISBN 3-87017-261-4, Fundamentals and Materials, Vol. 1, Oldenburg, Germany.
2. Vargel, C. 2004. Corrosion of Aluminum, ISBN: 0 08 044495 4, Elsevier Ltd.
3. Key to Metals, 1999-2010, "The Application of New Technology to Aluminum Armor Systems."
4. Aleris Aluminum Koblenz GmbH, Inspection Certificate No:1171147 (EN 10204/3.1), 2008.
5. EN 1090-3, 2008, Execution of Steel and Aluminum Structures – Part 3: Technical Requirements For Aluminum Structures.
6. Ma, T. 1997. "Weldability of Al-Zn-Mg Alloys," Doctorate Thesis, Delft Technical University.
7. Marold, M., Schneider, E. 1998. "Stress Corrosion Related Behaviour of Welded Parts Made of AlZn4,5Mg1".
8. ASTM G34, 2001. "Standard Test Method for Exfoliation Corrosion Susceptibility in 2XXX and 7XXX Series Aluminum Alloys (EXCO Test)".
9. Alumatter, European Aluminium Association (EAA) and MATTER at the University of Liverpool, <http://aluminium.matter.org.uk/> son erişim tarihi: Aralık 2011.
10. EN 485-2, 2007, "Aluminium and Aluminium Alloys – Sheet, Strip and Plate – Part 2: Mechanical Properties."