



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Anodik oksidasyonun AA7050-T7451 alaşımının yorulma performansına etkisi

## *The effect of anodic coating on fatigue performance of AA7050-T7451 alloy*

Yazar(lar) (Author(s)): Ufuk AKYILDIZ<sup>1</sup>, Oğuz POYRAZOĞLU<sup>2</sup>, Mehmet Yasin DEMİREL<sup>3</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-9971-6719

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-7073-1832

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-4244-8562

**To cite to this article:** Akyıldız U., Poyrazoğlu O. ve Demirel M. Y., “Anodik oksidasyonun AA7050-T7451 alaşımının yorulma performansına etkisi”, *Journal of Polytechnic*, 26(1): 191-198, (2023).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Akyıldız U., Poyrazoğlu O. ve Demirel M. Y., “Anodik oksidasyonun AA7050-T7451 alaşımının yorulma performansına etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 26(1): 191-198, (2023).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1002016

# Anodik Oksidasyonun AA7050-T7451 Alaşımının Yorulma Performansına Etkisi

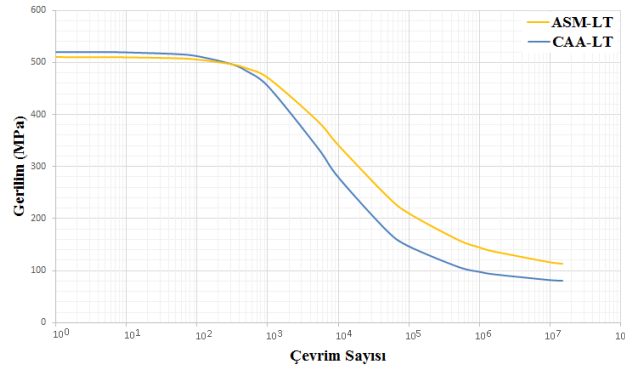
## The Effect of Anodic Coating on Fatigue Performance of AA7050-T7451 Alloy

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Anotlanmış ve anotlanmamış (ASM) numunelerin sertlik ve yüzey pürüzlülük değerleri / Hardness and surface roughness values of anodized and non-anodized (ASM) samples.
- ❖ AA7050-T7451 alaşımının mekanik özellikleri üzerinde anodik oksidasyonun etkisi. / The effect of anodizing on mechanical properties of AA7050-T7451 alloy.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kromik asit anotlama (CAA) işleminin, AA7050-T7451 alaşımının yorulma dayanımı üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. / The effects of chromic acid anodizing (CAA) treatment on the mechanical properties of AA7050-T7451 alloy were experimentally investigated.



Şekil. S-N yorulma grafikleri / Figure. S-N fatigue curve

### Amaç (Aim)

Anodik oksidasyonun AA7050-T7451 alaşımının yorulma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. / The effect of anodizing on the fatigue strength of AA7050-T7451 alloy was examined.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Eksenel yorulma testleri, bir rezonans test makinesi yardımıyla ASTM E466'ya göre -1 gerilim (R) oranında ve 90 Hz frekansta CAA ve ASM numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. / The axial fatigue tests were performed on CAA and ASM specimens at a stress (R) ratio of -1 and a frequency of 90 Hz in accordance with ASTM-E466 using a resonant testing machine.

### Özgünlük (Originality)

Anodik oksidasyon işleminin yorulma direncine etkisi yüksek çevrimlerde incelenmiştir. / The effect of anodic oxidation process on fatigue resistance was investigated at high cycles.

### Bulgular (Findings)

AA7050-T7451 alaşımının yorulma direnci, yüksek çevrimli gerilimlerde anotlama işleminden dolayı olumsuz etkilenmiştir. / The fatigue resistance of AA7050-T7451 alloy was adversely affected by the anodizing process at high cycling stresses.

### Sonuç (Conclusion)

Anodik oksidasyon işlemi malzemenin mekanik özelliklerini etkilediğinden dolayı bir tasarım kriteri olarak dikkate alınması gerekmektedir. / Cause the anodic oxidation process affects the mechanical properties of the material, it should be considered as a design criterion.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Anodik Oksidasyonun AA7050-T7451 Alaşımının Yorulma Performansına Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Ufuk AKYILDIZ<sup>1\*</sup>, Dr. Öğr. Üyesi Oğuz POYRAZOĞLU<sup>1</sup>, Mehmet Yasin DEMİREL<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Türkiye

(Geliş/Received : 29.09.2021 ; Kabul/Accepted : 19.10.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 26.10.2021)

## ÖZ

Alüminyum alaşımlarının, olumsuz çalışma koşullarında daha iyi korozyon direnci sergileyebilmesi için uygulanan anotlama işlemi, malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada, AA7050-T7451 alaşımının yorulma dayanımına anotlama işleminin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. 2-5 µm arasında değişen kaplama kalınlığına sahip kromik asitle anotlanmış (CAA) ve anodize olmayan (ASM) numuneler 90 Hz'lik bir frekansta ve R -1 gerilim genliğinde bir dizi eksenel yorulma testine tabi tutulmuştur. Test verileri ve Weibull denklemi yardımıyla oluşturulan S-N yorulma grafikleri anodik işlemin alaşımın yorulma performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. ASM ve CAA numuneler karşılaştırıldığında, anodik filmin düşük çevrimlerde yorulma mukavemetini etkilemediği ancak  $10^3 - 10^7$  çevrim döngüleri arasında AA7050-T7451 alaşımının yorulma performansını giderek azalttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, anodik oksidasyon, yorulma dayanımı, kromik asit.

## The Effect of Anodic Coating on Fatigue Performance of AA7050-T7451 Alloy

### ABSTRACT

The anodizing process applied for aluminum alloys to show better corrosion resistance under adverse working conditions affects the mechanical properties of material. In this study, the effects of anodic coating on the fatigue strength of AA7050-T7451 alloy were experimentally investigated. Chromic acid anodized (CAA) and non-anodized (ASM) specimens with coating thicknesses varying between 2-5 µm were conducted to a series of axial fatigue tests at a stress (R) ratio of -1 and a frequency of 90 Hz. S-N fatigue curves created with the test data and Weibull equation showed that the fatigue performance of the anodic process was significantly affected. When ASM and CAA samples were compared, it was observed that the anodic film did not affect the fatigue strength in low cycles, but the fatigue performance of the AA7050-T7451 alloy gradually decreased between  $10^3 - 10^4$  cycles.

**Keywords:** Aluminium, anodizing, fatigue performance, chromic acid.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum, içerdiği alaşım elementi ve oranına bağlı olarak farklı sınıflara ayrılmaktadır. Temel alaşım elementi çinko olan 7050 alaşımı, başta havacılık endüstrisi olmak üzere yüksek mekanik özellikler gerektiren uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir [1-3].

AA7050 alaşımının mekanik özelliklerini arttırmak için çökelme sertleştirme ısı işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemdeki basamaklar sırasıyla; solüsyona alma, su verme ve yaşlandırma olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır: Çözeltiye alma işleminde fazların homojen olarak çözünmesi, su verme işleminde aşırı doymuş katı çözelti elde etmek için oda sıcaklığına kadar soğutulması ve son olarak yaşlanma işleminde çözünmüş atomların oda sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklıklarda çökmesi olarak gerçekleşmektedir. T7451 temperi, çözeltiye alma ısı işlemi, kontrollü gerdirme ile iç

gerilmeleri giderme ve suni yaşlanma uygulanarak üretilmektedir [4-9].

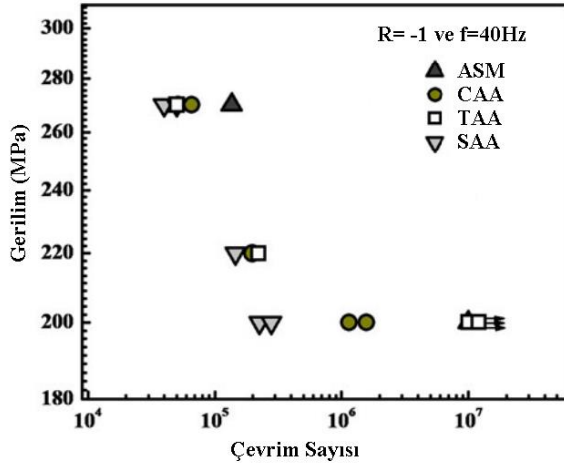
Üstün korozyon direncine sahip AA7050-T7451 alaşımı, atmosfere maruz kaldığında yüzeyde oksijene karşı dirençli ince bir oksit tabakası doğal olarak oluşturmaktadır. Bu oksit tabakası yüzeyin daha fazla oksidasyonunu engellemektedir. Ancak düşük veya yüksek pH değerlerindeki karasız yapısından dolayı kolaylıkla çözünebilmektedir. Bununla birlikte çalışma koşullarına bağlı olarak uzun süre aşındırıcı bir maddeye veya ortama maruz kaldığında da bozulmaktadır. Bu durumda metal yüzeyi zamanla tekrar korozyona uğramaya başlayacak ve önlem alınmaması halinde korozyon ilerleyerek ciddi hasarlara sebep olabilecektir [10-11].

Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak ve alüminyum alaşımlarının korozyon direncini arttırmak amacıyla anotlama işlemi uygulanmaktadır. Anotlama, alüminyum alaşımlarının korozyon ve aşınma direnci iyileştirmek amacıyla metal yüzeyinde kontrollü bir şekilde oksit ( $Al_2O_3$ ) film oluşumunu sağlayan elektrokimyasal bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Anotlamayla oluşturulan

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ufuk.akyildiz1@gazi.edu.tr

oksit film, kompakt bir iç katmandan ve gözenekli bir dış katmandan oluşmaktadır. CAA prosesi ile oluşturulan oksit film tabakası ( $Al_2O_3$ ) mükemmel korozyon direnci göstermesinden dolayı havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak gevrek yapısından dolayı çevrimsel gerilimler altında kolayca yorulma çatlakları başlangıcına sebep olabilmekte ve korozyondan kaynaklı yorulma direnci üzerinde doğal olarak olumsuz bir etki oluşturabilmektedir [12-13].

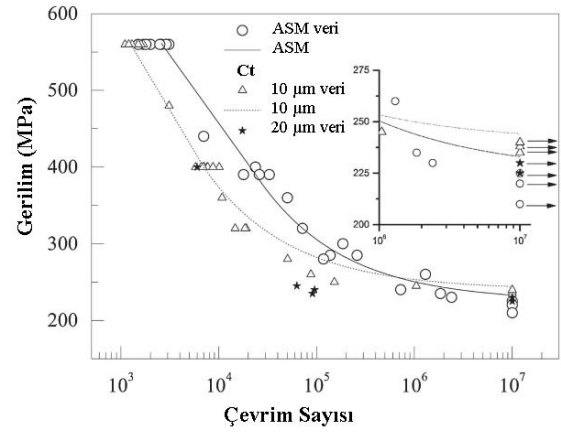
Literatürde AA7050 malzemesinin hadde yönüne bağlı olarak yüksek frekans ve çevrimlerde yorulma performansı üzerine yapılan çalışmaların az sayıda olduğu gözlenmiştir. Lee v.d. çalışmalarında, CAA, sülfürik asit (SAA) ve tartarik asit anotlama (TAA) uygulanmış AA7050-T7451 numunelerde, anotlamanın yorulma dayanımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Yorulma testlerinde R 0,1'lik bir gerilim genliği ile 200, 220 ve 270 MPa'lık üç farklı gerilim değeri kullanılmıştır. Deneyler sonrası Şekil 1'de elde edilen S-N yorulma grafiğinde, anotlamanın yorulma direncini azalttığı görülmektedir. Bu durumun önceden anodize edilmiş yüzeydeki çukurların düzensiz doğasının ve anodik tabakadaki mikro çatlakların bir sonucu olduğuna varsayılmıştır. Bununla birlikte, TAA'nın yüksek çevrimli gerilimlerde CAA ve SAA'ya göre daha fazla dirençli olduğu gözlemlenmiştir [14].



Şekil 1. Üç farklı anotlama işlemi uygulanmış AA7050-T7451 numuneler için S-N yorulma testi sonuçları (S-N fatigue test results for AA7050-T7451 specimens with three different anodizing processes)

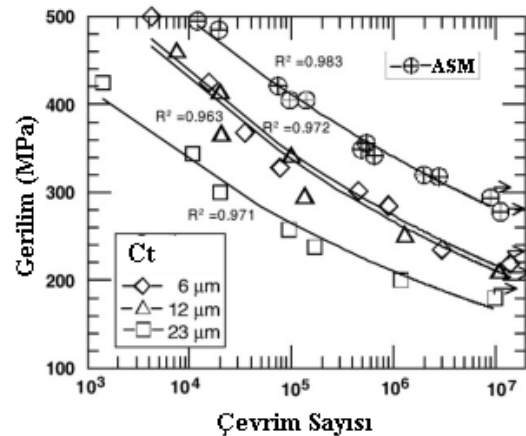
Teng-Shih ve Ying-Jhe, JIS Z2274 spesifikasyonuna göre yaptıkları çalışmalarda 8 mm'lik çapta ve 0.1 yüzey pürüzlüğünde üretilmiş AA7075-T73 test numunelerine SAA işlemi uygulandıktan sonra yorulma davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Yorulma testleri 40 Hz frekans ve 100 Nm momentumla gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, ASM numunelerin  $10^7$  çevrim döngüsündeki gerilim genliği 225 MPa iken, 10 ve 20  $\mu m$  SAA film kalınlığına sahip numuneler için bu değer sırasıyla 240 ve 230 MPa olarak belirlenmiştir. Şekil 2'de S-N yorulma grafiği gösterilmiştir. Bu grafikte,  $10^3$  ile  $10^5$  arasındaki çevrim

değerlerinde anodik kaplamanın yorulma dayanımı üzerinde bir azalmaya yol açtığı açık bir şekilde belirtilmiştir [15].



Şekil 2. Anotlanmış ve anotlanmamış AA7075-T73 test numunelerinin S-N yorulma grafikleri (S-N fatigue curves of anodized and non-anodized AA7075-T73 test specimens)

Bir diğer çalışmada ise Cirik ve Genel, SAA ile oluşturulan farklı kaplama kalınlığına sahip AA7075-T6 numunelerde anodik oksidasyonun yorulma direncine etkisi incelenmiştir. 95 Hz'lik bir frekansta döner tip yorulma test cihazı yardımıyla gerçekleştirilen testlerde, oksit filmin yorulma dayanımı üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu ve bu olumsuz etkinin kaplama kalınlığıyla orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Ancak artan oksit film kalınlığı daha iyi bir korozyon direnci göstermiştir. Şekil 3'te S-N yorulma grafikleri verilmiştir. Grafiklerde görülen bu azalmaya anotla işlemdeki oluşan derin mikro çatlakların, oksit tabakasının kırılkan yapısının ve metal-oksit arayüzünde bulunan düzensizliklerin neden olduğu belirtilmiştir [16].



Şekil 3. Anotlanmamış ve farklı kalınlıkta anotlanmış numunelerin S-N yorulma grafikleri (S-N fatigue curves of non-anodized and anodized samples of different thickness)

Yapılan bu çalışmada, hadde yönü bilinen AA7050-T7451 alaşımının mekanik özelliklerine CAA işleminin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneysel çalışmalarda kullanılan AA7050-T7451 alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir. Malzemenin hadde yüzeyi (L-LT) ve hadde yüzeyine dik (L-ST) düzlemdaki mikroyapısını gösteren optik mikroskopisi ise Şekil 4'te gösterilmiştir.

### 2.1. Yüzey İşlem (Surface Treatment)

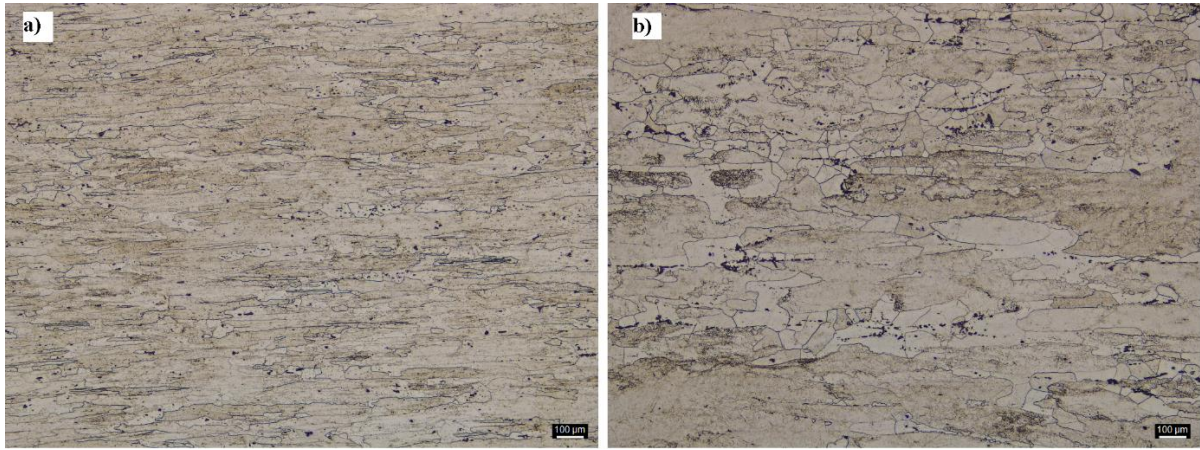
Anotlama öncesi deney numunelerini yağ, organik kir ve mevcut lekelerinden arındırmak için yağdan arındırma (vapor degreasing), alkali temizleme (alkaline clean), alkali dağlama (alkaline etching) ve asidik temizleme (acid pickling) işlemleri sırasıyla uygulanmıştır.

Bu ön hazırlık işlemleri, kaplamanın alt tabaka yüzeyine homojen bir şekilde etki etmesini sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Bu sayede, oksit film tabakasındaki olumsuz etkiler ortadan kaldırılarak korozyona karşı yeterli koruma elde edilmektedir.

**Çizelge 1.** 7050-T7451 alüminyum alaşımının kimyasal analiz sonuçları (Chemical analysis result of 7050-T7451 aluminium alloy)

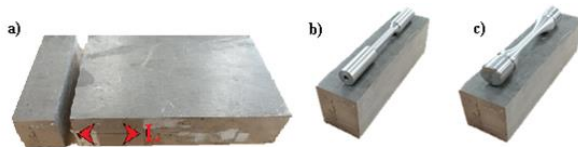
Elementler (% wt)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr
AA7050-T7451	0,03	0,06	2,1	95*	2,1	45*	23*	6,1	0,02	0,11

\*ppm, diğer elementler: % 0,05 - % 0,15, Al: kalan



**Şekil 4.** AA7050-T7451 optik mikroskop görüntüsü a) L-ST düzlemi b) L-LT düzlemi (AA7050-T7451 optical microscope images a) L-ST plane b) L-LT plane)

Çekme ve yorulma deney numuneleri hadde yönüne 90° olacak şekilde şerit testerede kesildikten sonra CNC torna tezgahında ASTM-E8/8M ve ASTM-E466 standardına uygun olarak  $Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$  yüzey pürüzlülüğünde hazırlanmıştır. Resim Şekil 5'te AA7050-T7451 ham malzemesi ve test numuneleri gösterilmiştir.



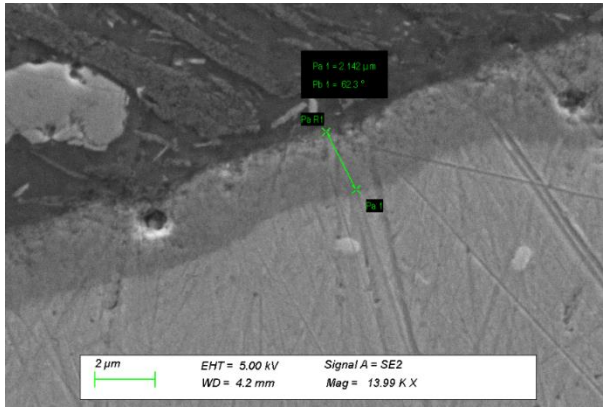
**Şekil 5.** AA7050-T7451 a) Ham malzeme b) Çekme test numunesi c) Yorulma test numunesi (AA7050-T7451 a) Raw material b) Tensile test specimen c) Fatigue test specimen)

Alkali dağlama işleminde, doğal olarak oluşan oksit film tabakasını temizlemek için kostik soda bazlı aşındırıcı temizleyiciler kullanılmaktadır. Ancak aşındırıcı solüsyona maruz bırakılan yüzeylerde reaktif olmayan reaksiyon lekeleri oluşmaktadır. Metaller arası bileşikler de dahil olmak üzere bu reaksiyon ürünlerinden bazıları, dağlama çözeltisinde çözünmeyerek alüminyum parçaların yüzeyinde kalmakta ve anotlama sonrası oksit tabakasının altında düzensizliklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, anotlama öncesi son bir yüzey temizliği için asidik temizleme işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemlerin ardından 5 dakikalık zaman dilimi içinde 4V'luk bir artışla  $22 \pm 1 \text{ V}$ 'luk bir gerilime ulaşılmıştır ve bu sabit gerilim altında anotlama işlemi yaklaşık 45 dakika boyunca sürdürülmüştür.

Çizelge 2'de CAA yüzey işlem parametreleri ve kimyasal bileşenleri verilmiştir. Anodik oksidasyon sonrası SEM'de incelenen numunelerde, oksit filmin kalınlığı 2-5  $\mu\text{m}$  arasında değişkenlik göstermektedir. Şekil 6'da oksit film kalınlığı gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Anodik oksidasyon işleminin parametreleri (Parameters of the anodizing process)

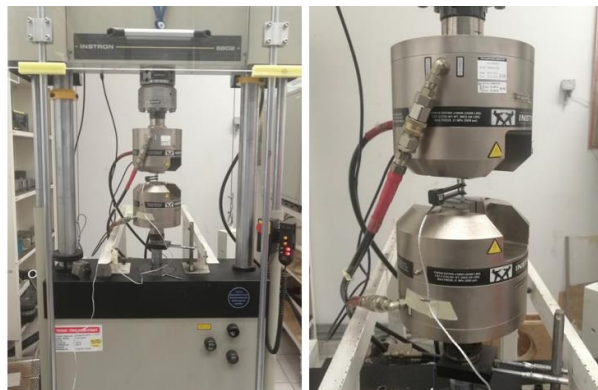
İşlemler	Kimyasal bileşen	Sıcaklık (°C)	Zaman (dk)
Yağdan arındırma	Trikloretilen	83-86	2
Alkali temizleme	Turco 4215 NC-LT	50-60	8
Alkali dağlama	NaOH Na <sub>2</sub> S TEA	25-30	7
Asidik temizleme	Turco Liquid Smut-Go NC Nitrik asit	20-40	7
Anodik Oksidasyon	Kromik asit	35	50



**Şekil 6.** Oksit film tabakasının kalınlığı (Thickness of the oxide film layer)

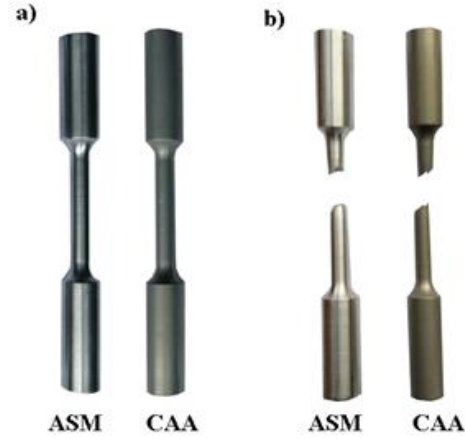
## 2.2. Çekme Testi (Tensile Test)

Anotlama işleminin AA7050-T7451 alaşımının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla çekme testi uygulanmıştır. Bu test, ASTM-E8/8M standartına uygun olarak Şekil 7’de gösterilen deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 7.** Çekme testi deney düzeneği (Experimental setup of tensile test)

ASM ve CAA numunelerin test öncesi ve test sonrası görüntüleri Şekil 8’de gösterilmiştir.

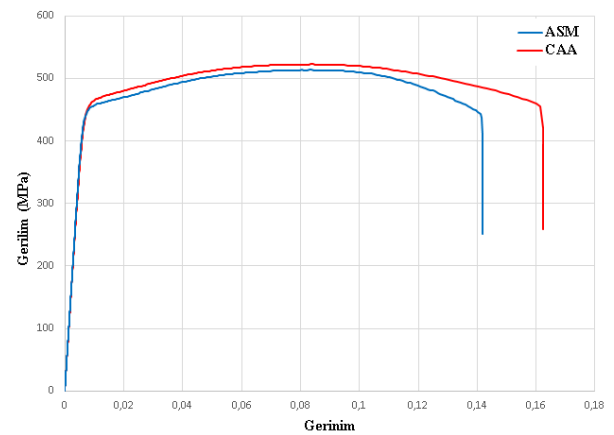


**Şekil 8.** Çekme testi numune görüntüleri a) Test öncesi b) Test sonrası (Tensile test specimen images a) Before test b) After test)

Elde edilen gerilim-uzama grafikleri Şekil 9’da ve anodik oksidasyonun AA7050-T7451 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi Çizelge 3’te verilmiştir. Çekme testleri sonucunda, CAA numuneler ASM numunelere kıyasla nispeten yüksek bir akma ve çekme gerilimi kazanmıştır.

**Çizelge 3.** Anotlamının AA7050-T7451 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi (The effect of anodizing on the mechanical properties of AA7050-T7451 alloy)

Al7050-T7451	Akma Gerilmesi (MPa)	Mak. Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastik Modül (GPa)
ASM	448.4	511.4	74.9
CAA	456.9	523.6	73.2



**Şekil 9.** ASM ve CAA numunelerin gerilim gerinim grafiği (Stress-strain curve of ASM and CAA specimens)

Grafikler incelendiğinde, CAA'nın maksimum çekme (UTS) ve akma gerilmesinin (YS) ASM'den yaklaşık %2,5 kat fazla olduğu ve benzer şekilde CAA eğrisinin eğiminin ASM göre büyük olduğu da görülmektedir. Bu fark, alüminyum üzerindeki anodik filmin sert ve dayanıklı yapısından kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu durum, ASM ve CAA numunelerin elastik modülleri (Young's Modül) arasındaki farkı da açıklamaktadır.

### 2.3. Sertlik ve Pürüzlülük Ölçümü (Hardness and Roughness Measurement)

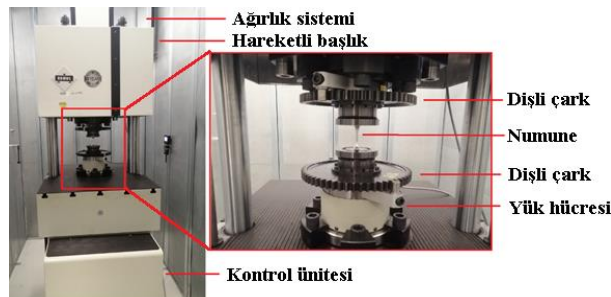
ASM ve CAA test numunelerinin yüzey pürüzlülüğü yorulma testlerinden hemen önce ölçülerek anotlanmamış ve anodize edilmiş yüzey koşulları arasında fark karşılaştırılmıştır. Elde edilen ortalama pürüzlülük değerleri birbirlerine çok yakın olduğu için pürüzlülük değerinin yorulma testi üzerindeki etkisi göz ardı edilmiştir. Yüzey pürüzlük ve sertlik ölçümleri Çizelge 4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.** ASM ve CAA numuneler için yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) (Surface roughness values (Ra) for ASM and CAA specimens)

Anotlama Türü	Sertlik Değeri (HR15T)	Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)
ASM	87.4	0,1910
CAA	88.1	0,2419

### 2.4. Yorulma Testi (Fatigue Test)

Anotlamanın yorulma dayanımı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen yorulma testleri belirli bir prosedüre bağlı olarak oluşturulmaktadır. ASTM E466 ve ASTM E647 gibi uluslararası standartlar, test tipine göre yorulma testi prosedürlerini açıklamaktadır. Metalik malzemeler için kuvvet kontrollü sabit genlikli yorulma testleri ASTM E466'ya göre uygulanmaktadır. Bu çalışmada yorulma testleri için Şekil 10'da gösterilen rezonans test makinesi kullanılmıştır [17-18].



**Şekil 10.** Yorulma testi deney düzeneği (Experimental setup of fatigue test)

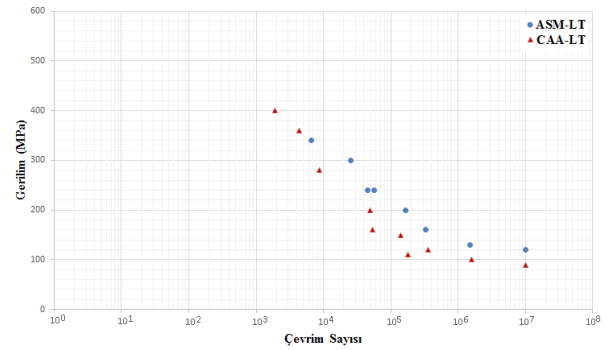
ASM ve CAA test numunelerinin tek eksenli yorulma testleri, ASTM E466 standartına uygun olarak R -1 gerilim genliği ve 90 Hz'lik sabit frekansta eksenel

rezonans test cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yorulma testleri, numuneler üzerinde Şekil 11'de görüldüğü üzere kırılana kadar veya belirli bir çevrim sayısına ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 11.** Yorulma test numunesi a) Deney öncesi b) Deney sonrası (Fatigue test specimen a) Before test b) After test)

Gerçekleştirilen yorulma testlerinde, her bir numuneye uygulanan gerilim değerleri ve bu değerlere karşılık gelen çevrim sayıları Şekil 12'de gösterilmiştir.



**Şekil 12.** AA7050-T7451 ASM ve CAA yorulma test numuneleri için yorulma test verileri (Fatigue test data for AA7050-T7451 ASM and CAA fatigue test specimens)

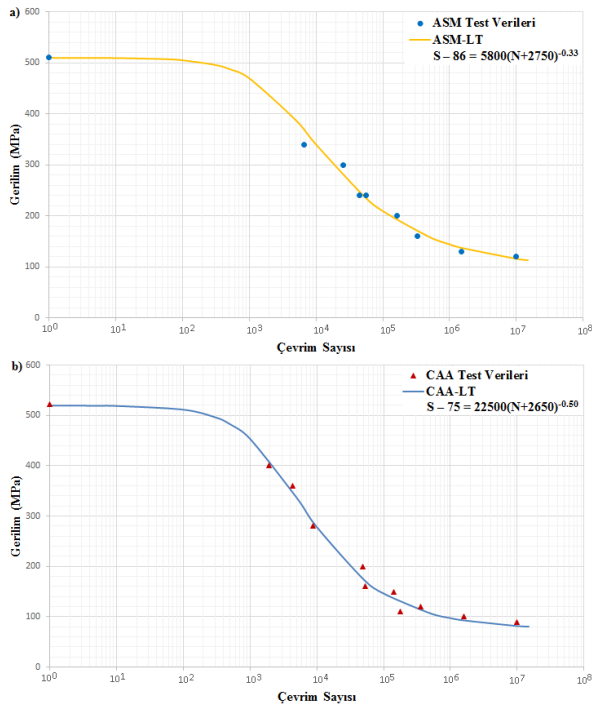
Yorulma testlerinde elde edilen gerilim-çevrim oranı ilişkisini S-N yorulma grafiğine dönüştürmek için birçok istatistiksel yaklaşım uygulanmaktadır. Bunlar arasında literatürde sıklıkla kullanılan ve Eşitlik 1'de verilen Weibull denklemidir. Bu eşitlikte;  $S$  uygulanan gerilim,  $S_e$  sonsuz ömürdeki gerilim değeri,  $N$  belirli bir gerilim değerindeki çevrim sayısı ve  $a$ ,  $b$ ,  $B$  denklem değişkenleridir. Yüksek çevrimli testlerde, yorulma grafiğinin elde edilebilmesi için en az yedi numunenin verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$S - S_e = b(N+B)^{-a} \quad (1)$$

S-N grafiğini oluşturmak için Weibull denklemindeki bilinmeyen parametreler ( $S_e$ ,  $b$ ,  $B$ ,  $a$ ), doğrusal olmayan regresyon modeli için en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu yaklaşımın avantajı, test verilerinin

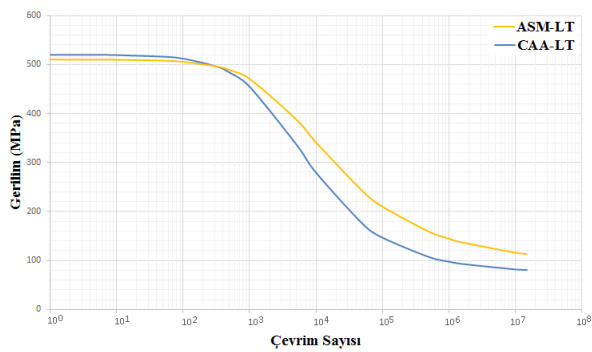
tamamını istatistiksel olarak ele alması ve en düşük veri dağılımına sahip bir ortalama eğri oluşturmasıdır. Diğer taraftan, N=1 ve çok düşük çevrimlerde S-N grafiği sonsuz olarak elde edilmediği sürece maksimum gerilim değeri S-N yorulma grafiğinin oluşturulmasında pratik bir yöntem olarak kullanılmaktadır [19-20].

ASM ve CAA deney numunelerinin Weibull eşitliği ile oluşturulan S-N yorulma grafikleri Şekil 13'te gösterilmiştir.



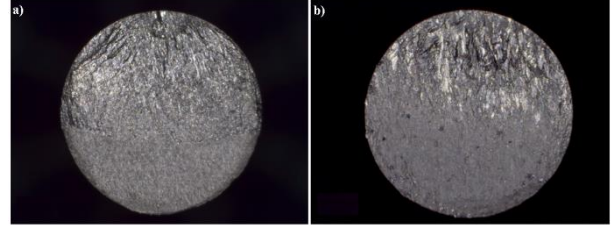
Şekil 13. S-N yorulma grafikleri a) ASM b) CAA (S-N fatigue curves a) ASM b) CAA)

Yorulma grafikleri karşılaştırıldığında; yüksek çevrimli gerilimler altında CAA numuneler ASM numunelere göre daha düşük yorulma dayanımı göstermektedir. Düşük çevrimlerde ise anodik oksidasyonun yorulma dayanım etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Şekil 14'te verilen yorulma grafiklerinde bu değişim net bir şekilde görülmektedir.



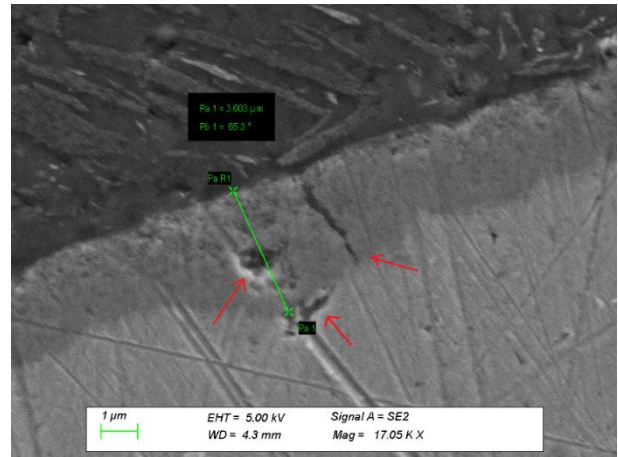
Şekil 14. ASM ve CAA test numunelerinin S-N yorulma grafikleri (S-N fatigue curves for ASM and CAA test specimens)

Deney numuneleri incelendiğinde, yorulma hasarı her iki numunede önce çatlak ilerlemesi ve ardından yük taşıyan kesit kritik bir değer altına düştüğünde ani kırılma olarak meydana gelmektedir. Ancak kırılma ve sert oksit tabakasındaki çatlak başlangıcının kolay bir şekilde meydana gelmesi ve düşük gerilimlerde oksit tabasında görülen çatlak başlangıç sayısının fazla olmasından kaynaklı olarak yorulma dayanımında düşüş görülmektedir. Şekil 15'te dijital mikroskopta incelenen deney numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 15. Dijital mikroskop görüntüleri a) ASM, 130 MPa b) CAA, 120 MPa (Digital microscope images a) ASM, 130 MPa b) CAA, 120 MPa)

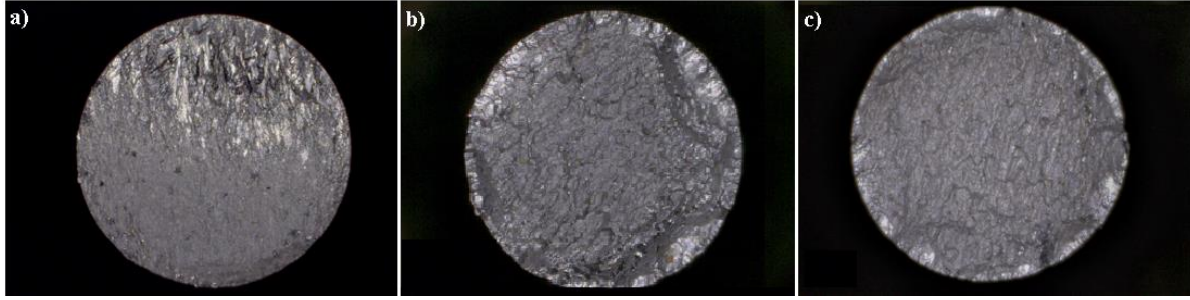
Bununla birlikte, metal-oksit ara yüzündeki parçacık kaynaklı oluşabilecek düzensizlikler, anotlama işleminin ilk evrelerinde çözünebilmekte ve metal-oksit ara yüzeyi boyunca çukurlaşma benzeri kusurların oluşmasına neden olmaktadır. Bu kusurlar yapılan literatür araştırmalarında da görüldüğü üzere çentik etkisi oluşturup çatlak başlangıcını kolaylaştırmaktadır [16-18]. Şekil 16'da oksit tabakasında görülen kusurlar gösterilmiştir.



Şekil 16. Oksit film tabakasında görülen çatlak ve çukurlaşma kusurları (Crack and pitting defects in the anodic oxide film)

Yüksek gerilimlerde ise Şekil 17'de görüldüğü üzere birden fazla bölgede çatlak başlangıcı görülmekte ve uygulanan gerilime bağlı olarak çatlak yayılımı hızlanmaktadır. Bu durum ASM ve CAA deney numunelerinin yorulma grafiğinde benzer bir eğilim göstermesine neden olmaktadır.





**Şekil 17.** CAA yorulma test numunelerinin dijital mikroskop görüntüleri a) 120 MPa b) 360 MPa c) 400 MPa (Digital microscope images of CAA fatigue test specimens a) 120 MPa b) 360 MPa c) 400 MPa)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, kromik asit anotlamının (CAA) AA7050-T7451 alaşımının mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

1. Anotlanmış numunelerin sertlik ve yüzey pürüzlülüğünde kaplama kalınlığına da bağlı olacak şekilde bir artış gözlenmiştir.
2. Anotlamının gevrek yapısından dolayı AA7050-T7451 numunelerin maksimum çekme ve akma dayanımları üzerinde yaklaşık %2,5'lik bir artışa neden olmuştur.
3. S-N yorulma grafikleri karşılaştırıldığında, yüksek çevrimli gerilimlerde yüzey işlem nedeniyle CAA kaplı numunelerin yorulma dayanımında azalma gözlenmiştir. Bu durum sert ve pürüzlü bir yapıya sahip olan oksit tabakasının, yorulma kırılması için gereken çatlak başlangıçlarını kolaylaştırmasından kaynaklanabilmektedir.
4. Yüksek gerilimlerdeki düşük çevrimlerde, anodik oksit kaplamının etkisi göz ardı edilebilir düzeydedir. Bu durum, oksit film yapısında görülen kusurların yüksek gerilimlerde ki etkisinin az olmasıyla açıklanabilmektedir.
5. Elde edilen çalışma sonuçları, anodik oksit kaplamının malzemenin mekanik özelliklerini etkilediği için tasarım kriteri olarak dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Ufuk AKYILDIZ:** Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir. / Performed the experiments, analyzed the results and wrote the manuscript.

**Oğuz POYRAZOĞLU:** Makalede düzeltmeler yapmıştır. / Made corrections in the manuscript.

**Mehmet Yasin DEMİREL:** Sonuçların analizine ve makalenin derlenmesine yardımcı olmuştur. / Analyzed the results and contributed to the writing of the manuscript.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Starke, E. A., & Staley, J. T., "Application of modern aluminum alloys to aircraft", *Progress in Aerospace Sciences*, 32(2-3), 131-172, (1996).
- [2] Aquino T. F., Riella H. G., & Bernardin A. M., "Mineralogical and Physical-Chemical Characterization Of A Bauxite Ore From Lages, Santa Catarina, Brazil, For Refractory Production", *Mineral Processing & Extractive Metall.*, 32: 137-149, (2011).
- [3] Burhan, O., "Alüminyumun Gösteriliş Şekilleri ve Çeşitli Normlar. Demir Dışı Metallerin Kaynağı", *Oerlikon Yayını*, 1-12, (1990).
- [4] Groover, Mikell P., "Modern İmalatın Prensipleri", (Çev. Prof. Dr. Mustafa Yurdakul ve Doç. Dr. Yusuf Tansel İç). *Nobel Akademik Yayıncılık*, (Eserin orijinali 2006'de yayımlandı). 98-683, Ankara, (2019).
- [5] Demirel M. Y. ve Karaağaç İ., "7075-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine tavlama işleminin etkisinin deneysel olarak araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 23(2): 283-289, (2020).
- [6] Güner A. T., "Yarı-Katı Halde Şekil Verilmiş Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Su Verme Sıcaklığının Etkisi", Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-14, (2013).
- [7] ASM International, "ASM Handbook Vol. 4: Heat Treating", *ASM International*, USA, 1861-1960, (1991).
- [8] ASM International, "ASM Handbook Vol. 9: Metallography and Microstructures", *ASM International*, USA, 1688-1787, (2004).
- [9] Kaufman, J. G., "Introduction to Aluminum Alloys and Tempers", Materials Park, OH: *ASM International*, 1: 9-22, (2000).
- [10] Totten, G.E., and MacKenzie, D.S., "Handbook of Aluminum: Alloy Production and Materials Manufacturing", *Marcel Dekker*, 2: 421-463, (2003).

- [11] Koch, G. H., Varney, J., Payer, J. H., Thompson, N. G., & Moghissi, O., "International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study", Houston, TX: *NACE International*, 1-11, (2016).
- [12] Kaufman, J. G., "Corrosion of aluminum and aluminum alloys", In S.D. Cramer and B.S. Covino, Jr. (Eds.), ASM Handbook Vol. 13B: *Corrosion: Materials. Materials Park, OH: ASM International*, 95-124, (2005).
- [13] Revie, R. W. and Uhlig, H. H., "Corrosion And Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering (Fourth edition)", *Hoboken New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.*, 173-190, (2008).
- [14] Lee, E., Jeong, Y., & Kim, S., "S-N Fatigue Behavior of Anodized 7050-T7451 Produced in Different Electrolytes", *Metallurgical and Materials Transactions*, 43A: 2002-2010, (2012).
- [15] Shih, T.S., Lee, T.H., & Jhou, Y.-J., "The Effects of Anodization Treatment on the Microstructure and Fatigue Behavior of 7075-T73 Aluminum Alloy", *Materials Transactions*, 55(8): 1280-1285, (2014).
- [16] Cirik, E., & Genel, K., "Effect of anodic oxidation on fatigue performance of 7075-T6 alloy", *Surface*, (2008).
- [17] ASTM, "Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials," vol. E 466, 07: 4-8, (2002).
- [18] ASTM, "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates," vol. E647, 11: 1-45, (2010).
- [19] AGARD, "Helicopter Fatigue Design Guide", *North Atlantic Treaty Organization*, 109-132, (1983).
- [20] Weibull W., "Fatigue Testing and Analysis of Results", *Pergamon Press*, 174-183, (1961)