

Al-Mg ALAŞIMLARINDA Mg ORANININ YORULMA DAYANIMINA ETKİSİ

Nurullah SEÇGİN, Ahmet HASÇALIK

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

Geliş Tarihi: 03.07.2003

THE EFFECT OF Mg ON FATIGUE STRENGTH OF Al-Mg ALLOYS

ABSTRACT

In this study, the effect of Mg percentage on the fatigue strength of Al-Mg alloys was investigated. For this, the different five alloys were produced by casting method adding 2,5-3,5-4,5-5,5 % Mg and 7,5 to Al. The tension, Charpy and fatigue tests were carried out and hardness measurements were conducted on the alloys. The microstructure of the alloys were examined by optical and SEM microscopy. In addition, fracture type was determined from fracture surfaces by SEM. In experiments, it has been found that with the increasing Mg percentage, the hardness, tensile strength and fatigue strength increased but toughness and % elongation decreased.

ÖZET

Bu çalışmada, Al-Mg alaşımlarında Mg oranının yorulma dayanımına etkisi incelenmiştir. Bunun için döküm yöntemi ile alüminyuma %2,5-3,5-4,5-5,5 ve 7,5 oranlarında Mg katılarak beş farklı alaşım üretilmiştir. Üretilen bu alaşımlara çekme, çentik darbe ve yorulma deneyleri uygulanmış, sertlikleri ölçülmüş, mikroyapıları optik ve SEM mikroskoplarında incelenmiştir. Ayrıca yorulma kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek kırılma tipi belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda artan Mg oranına bağlı olarak sertliğin, çekme dayanımının ve yorulma dayanımının arttığı buna karşın, çentik darbe dayanımının ve % uzamanın düştüğü tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ

Alüminyuma ilave edilen alaşım elemanlarının temel görevi süneklik ve korozyon direnci gibi özelliklerini etkilemeden alüminyumun düşük akma dayanımını yükseltmektir. Döküm yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımlarına katılan başlıca alaşım elementleri bakır (2xx.x), manganez (3xx.x), silisyum (4xx.x), magnezyum (5xx.x), çinko (6xx.x), kalay (7xx.x) ve diğer elementler olarak standartlaştırılmıştır. Alüminyum alaşımlarının çelik ve bakır alaşımlarına göre üç kat daha hafif olması nedeniyle, özellikle dayanım / ağırlık ve dayanım / yoğunluk oranları gibi malzeme özelliklerinin önemli olduğu başta havacılık, uzay ve otomotiv endüstrisi olmak üzere bir çok modern teknoloji kullanan alanlarda klasik malzemelere alternatif oluşturmaktadır. 5xxx grubunu teşkil eden Al-Mg alaşımları sanayide genellikle % 8 kadar değişen oranlarda Mg içerirler ve ısıl işleme sertleştirilemezler. Mekanik özelliklerinin geniş bir aralıkta değişmesi, genel korozyona karşı yüksek direnç göstermesi, kaynak edilebilirlik, düşük ağırlık ve maliyet gibi özelliklerinden dolayı birçok endüstri uygulamalarında kullanılmaktadır [1,2,3]. Bu özelliklerinden dolayı Al-Mg alaşımlarının üretimi ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Liu ve Morris [4], sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş ve soğuk haddelenmiş 5xx.x serisi alüminyum alaşımlarında yapı değişimini incelemişlerdir. Liu ve Adams [5], Monte-Carlo simülasyonu uygulayarak yüksek Mg içeriklerine sahip Al-Mg alaşımlarının segregasyon seviyelerini

incelemişler ve tane sınırlarında % 20 - % 40 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Roder ve vd. [6], % 0,25 oranında skandiyum katkılı ve katkısız Al-5%Mg alaşımlarının farklı ortamlarda yorulma dayanımını incelemişler ve skandiyum katkılı alaşımların, kaba taneli yapı ve çökelti sertleşmesine bağlı olarak yorulma dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. Choi ve vd. [7], Al-Mg alaşımlarında lüders bantlarının oluşumu üzerinde tane büyüklüğü ve mikroyapının etkisini incelemişlerdir. Tsai ve vd. [8], ticari 5052 Alüminyum alaşımına, Morris ve vd. [9], Al-3Mg alaşımına ekstrüzyon yöntemiyle belirli oranlarda deformasyon uygulamışlar, mikroyapı ve çekme mukavemeti açısından incelemişlerdir. Deschamps ve vd. [10], yüksek şekil değiştirme hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda 5383 alüminyum alaşımına çekme testi uygulayarak, meydana gelen klivaj kırılma davranışını incelemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, 5xx.x serisi alüminyum alaşımlarında Mg oranlarının malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemektir.

2. MATERYAL VE METOT

DeneySEL çalışmalarda kullanılan Al-Mg döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin kimyasal analizleri (% ağırlık)

No	Mg	Mn	Ni	Sn	Fe	Si	Cr	Ti	Cu	Zn	Pb
1	2,83	0,013	0,037	0,003	0,394	0,108	0,17	0,008	0,165	0,004	0,026
2	3,46	0,011	0,031	0,005	0,554	0,490	0,16	0,006	0,105	0,008	0,052
3	4,35	0,012	0,033	0,007	0,337	0,339	0,15	0,006	0,137	0,010	0,043
4	5,53	0,042	0,018	0,008	0,245	0,128	0,13	0,005	0,123	0,019	0,020
5	7,39	0,051	0,031	0,010	0,643	0,350	0,12	0,016	0,149	0,013	0,071

Çekme ve çentik darbe deneyleri standartlara göre hazırlanmış numuneler üzerinde herbir alaşım için üç numune kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır. Yorulma deneyleri, gerilme oranı $R=-1$ ve 2800 devir/dakikaya sahip dönerek eğmeli yorulma deney cihazında yapılmıştır. Her bir alaşım için sekiz numune kullanılmış ve deneylere 10^7 çevrim sayısına kadar devam edilmiştir. Sertlik ölçümleri 40 kg yük altında Vickers sertlik skalasında ölçülmüştür. Metalografik incelemeler için numuneler 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meşlik zımparalar ve 5-1 mikronluk elmas pastadan geçirilerek parlatılmıştır. Daha sonra Keller dağılayıcısı ile dağılanarak metalografik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları optik mikroskopta, kırılma yüzeyleri SEM mikroskobunda incelenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

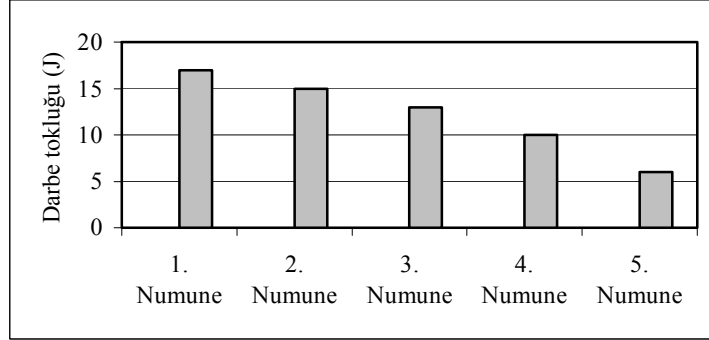
Çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 2’ de toplu halde verilmiştir. Bu sonuçlara göre artan Mg oranlarına bağlı olarak çekme ve akma mukavemeti artmakta, uzama değerleri ise düşmektedir. Akma mukavemeti % 0,2 lik uzamadan belirlenmiştir.

Tablo 2. Çekme deneyi sonuçları

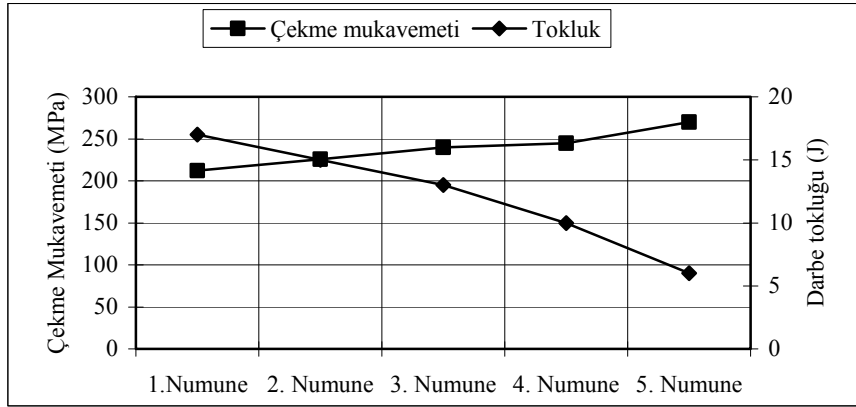
Numune No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama
1	212	120	9,5
2	226	130	8
3	240	140	7,5
4	245	170	6
5	270	190	5

Al-Mg Alaşımlarında Mg Oranının Yorulma...

Numunelerin Charpy yöntemiyle oda sıcaklığında belirlenen çentik darbe değerleri Şekil 1’ de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, Mg oranı en düşük olan birinci (% 2,83 Mg) numunenin tokluk değeri en yüksektir. Mg oranı arttıkça numunelerin çentik darbe tokluğu azalmaktadır. Bu sonuçlar gerilme-% uzama değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde gerilme-birim şekil değiştirme değerleri ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Şekil 2’de Mg oranı ile çekme mukavemeti ve tokluk arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 1. Numunelerin çentik darbe tokluğu değerleri

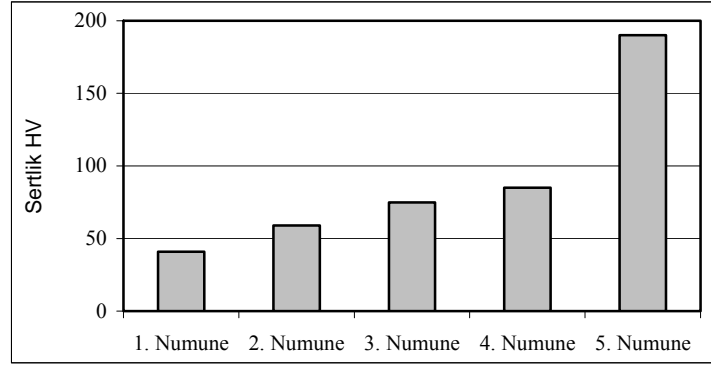


Şekil 2. Mg oranlarına göre numunelerin çekme mukavemeti ile darbe tokluğu ilişkisi

Numunelerin sertlik ölçüm sonuçları Şekil 3’de verilmiştir. Artan Mg oranına bağlı olarak numunelerin sertlikleri artmıştır. Al-Mg alaşımlarının doğal mukavemeti başlıca iki mekanizmadan kaynaklanmaktadır [11-13]. Bunlar, katı eriyik sertleşmesi ve Hall-Petch eşitliğine ($\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2}$) göre, tane boyutuna bağlı sertleşmedir. Burada σ_y ; akma gerilmesi, σ_0 ; sürtünme gerilmesi, k; sabit, d; tane çapıdır.

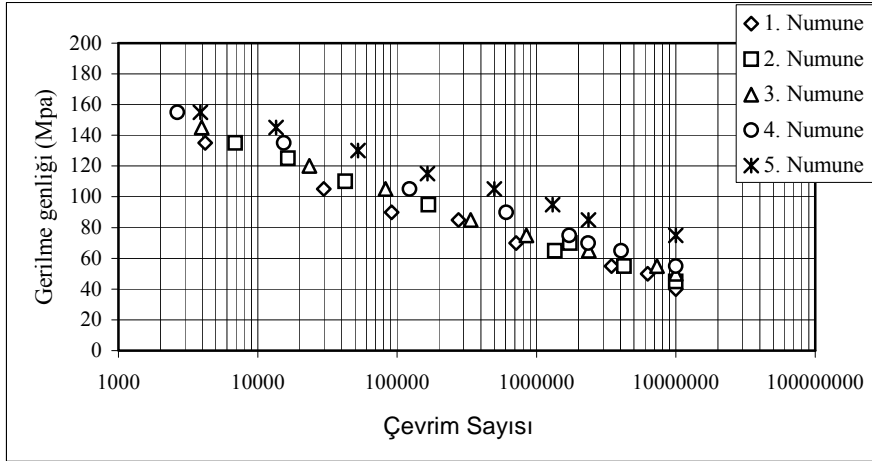
Şekil 4’ de numunelerin S-N diyagramları toplu halde verilmiştir. Deneylerde elde edilen yorulma dayanımları, sertlik, çekme dayanımı ve çentik darbe dayanımları ile birlikte değerlendirildiğinde, yorulma dayanımının artan sertlik ve çekme dayanımları ile doğru orantılı, buna karşın çentik darbe değerleri ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar literatür bilgileri ile paralellik göstermektedir [14,15]. Bilindiği gibi, yorulma kırılmaları plastik şekil değiştirme, çekme gerilmesi ve çevrimli gerilmenin aynı zamanda tesiri ile meydana gelmektedir. Çevrimli gerilme ve şekil değiştirme çatlakların başlamasında, çekme gerilmeleri ise oluşan bu

çatlakları ilerlemesinde etkili olmaktadır [16]. Bu doğrultuda yorulma mekanizmasına tesir eden temel faktörlerden biri plastik deformasyondur. Plastik deformasyona karşı malzemenin direncinin artırılması beraberinde yorulma mukavemetinde artmasına sebep olur.



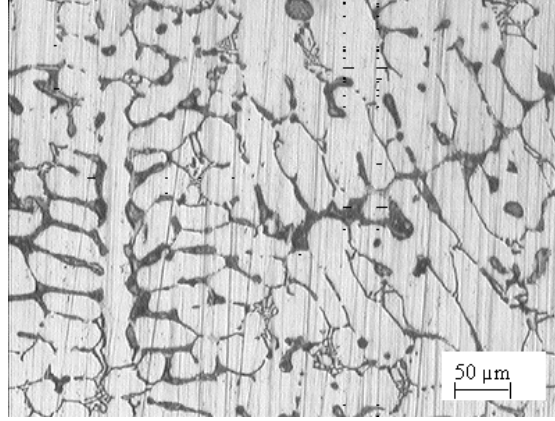
Şekil 3. Numunelerin sertlik değerleri

Al- Mg alaşımları oda sıcaklığında iki fazdan oluşmaktadır. Bunlar α ; alüminyum içerisinde magnezyum katı eriyiği, diğeri ise β ; tercihen tane sınırlarında çökelen sert ve gevrek intermetalik bileşiklerdir [17]. Alüminyum matrisi içerisinde çözünen alaşım elementi, atomik yarıçap farkından dolayı kristal içerisinde gerilme oluşturarak malzemenin sertliğini ve plastik deformasyona direncini artırmaktadır [2].



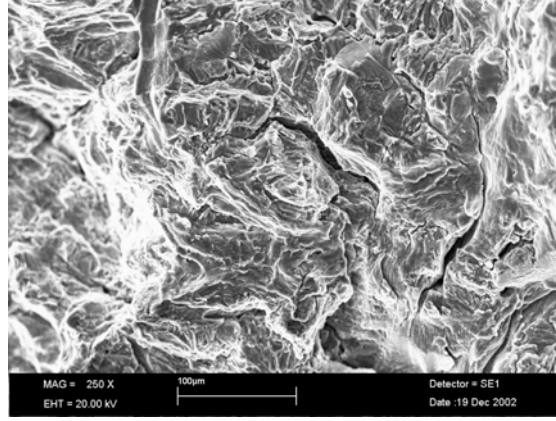
Şekil 4. Numunelerin S-N diyagramlarının toplu gösterimi

Şekil 5' de birinci numuneye (%2,83 Mg) ait mikroyapı verilmiştir. Yapı iki fazdan oluşmaktadır. Bunlar alüminyum içerisinde Mg katı eriyiği, diğeri ise tane sınırlarında bulunan intermetalik bileşiklerdir [17,18]. Şekilde yapının homojen dağılımlı ve dendritik yapı olduğu görülmektedir.

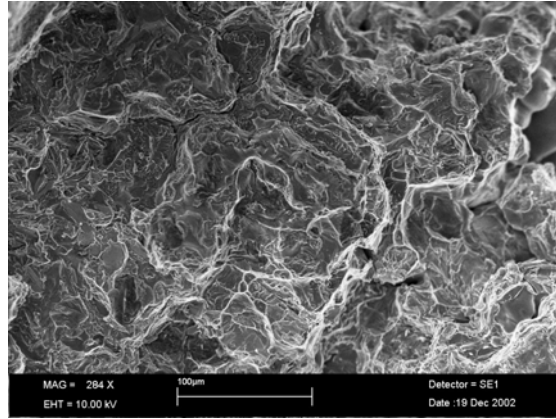


Şekil 5. Birinci numunenin mikroyapısı (%2,83 Mg)

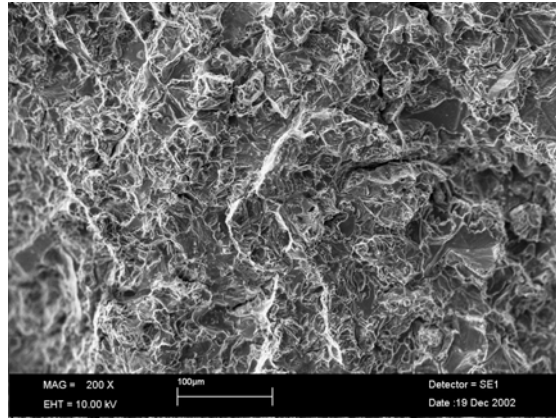
Şekil 6-10'da yorulma numunelerinin kırık yüzeyleri verilmiştir. Magnezyum oranı düşük numunelerde yer yer yorulma çizgileri belirgin olarak görölmekle beraber, genel olarak gevrek tarzda kırılmanın olduğu söylenebilir. Dolayısı ile bu kırılma tipinin yarı klivaj kırılma olarak nitelendirilebilir. Mg oranı arttıkça taneler nisbeten düz yüzeyli ve farklı yönlendiŐ kristalli bir görünüme sergilemekte ve klivaj kırılmanın gerçekteŐtiği görölmektedir. Kırılma yüzeylerinin genel görünümünün düzgün intergranüler bölgeler ve klivaj düzlemlerinin bir karıŐımından oluŐtuđu söylenebilir. Ayrıca bütün kırık yüzeylerde yer yer ikincil çatlaklar gözlenmektedir. Bu bakımdan kırılmaya neden olan çatlaklar muhtemelen malzemenin tane sınırlarından kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi, genel olarak YMK kristal yapısında klivaj kırılma sözkonusu değildir. Ancak, bu tip kırılma iridyum ve rhodiyum gibi YMK kristal yapıli metalde gözlenmektedir. Diğer YMK kristal yapıli metal ve alaŐımlarda klivaj kırılma sadece hidrojen gevrekliği ve gerilmeli korozyon gibi, yapıyı gevrekleŐtiren özel Őartlarda görölmektedir. Ticari alüminyum alaşımlarında sünek kırılma genel kırılma tipidir. Ancak bu alaŐımlarda yorulma deneylerinde intergranüler kırılma görölmektedir. Literatürde alüminyum alaşımlarının klivaj kırılması ile ilgili çok az çalıŐma mevcuttur. Ticari alüminyum alaşımları için klivaj kırılma bazı Al-Li, Al-Zn-Mg-Cu 7075 alaşımlarında tespit edilmiştir [19,20]. Al-Mg alaşımları için ise, Deschamps ve vd. [10] tarafından ifade edilmiştir. Bu çalışmalarda, yüksek saflıkta ticari alüminyum alaŐımı ingotların genel bir kirleticisi olan sodyumun, hidrojen gevrekliğine benzer bir etki ile klivaj kırılmada etkili olduğu ifade edilmiştir. Ancak bu sonuçlar literatürde ifade edildiği gibi sistematik çalıŐmaları gerektirmektedir .



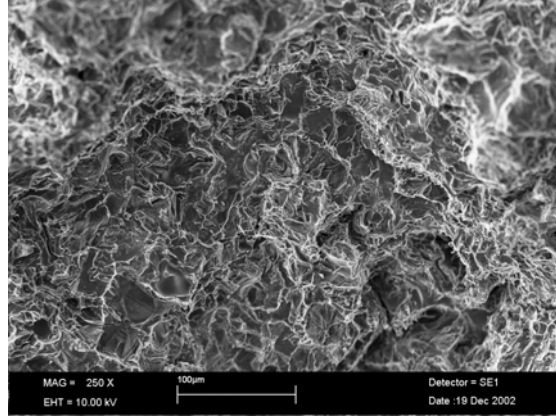
Şekil 6. Birinci numunenin kırık yüzeyi (% 2,83 Mg)



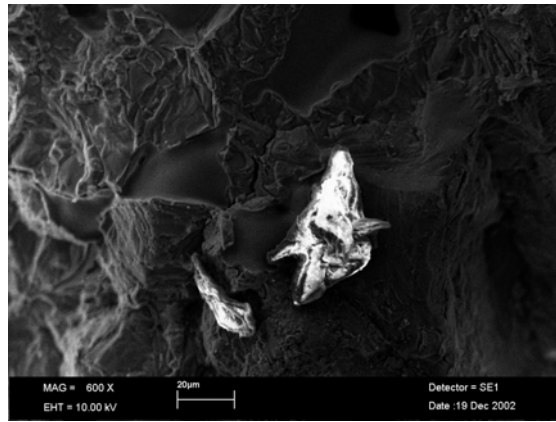
Şekil 7. İkinci numunenin kırık yüzeyi (%3,46 Mg)



Şekil 8. Üçüncü numunenin kırık yüzeyi (%4,35 Mg)



Şekil 9. Dördüncü numunenin kırık yüzeyi (%5,53 Mg)



Şekil 10. Beşinci numunenin kırık yüzeyi (%7,39 Mg)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Numunelerin mikroyapıları homojen dağılımlı kısmen dentritik ve alüminyum içerisinde magnezyum katı eriyiğı ve tane sınırlarında bulunan intermetalik bileşikten oluşmuştur.

Deney şartlarında magnezyum oranı arttıkça malzemelerin çekme dayanımları ve sertlikleri artmakta, çentik darbe dayanımları ve % uzama değerleri düşmektedir.

En düşük yorulma dayanımı Mg oranı en az olan birinci numunede elde edilmiştir. Enyüksek yorulma dayanımı ise Mg oranı en fazla olan beşinci numuneye aittir. Numunelerin plastik deformasyon direncine paralel olarak yorulma dayanımı artmaktadır. Yorulma dayanımı sertlik ve çekme dayanımı ile artmakta, çentik darbe dayanımı ile azalmaktadır.

Yorulma numunelerinin kırık yüzey SEM incelemelerinde, Mg oranı düşük numunelerde yarı klivaj kırılma görülmekte, Mg oranı arttıkça intergranüler ve klivaj kırılma gerçekteşmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Şimşek, A., "5083 Al-Mg Alaşımının Gerilmeli Korozyonu, Doktora Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997 Konya.
- [2] Asm Handbook, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special- Purpose Materials, Volume:2 Third Printing, November 1993 USA.
- [3] Court, S.A., Gatenby, K.M., Lloyd, D.J. "Factors Affecting the Strength and Formability of Alloys Based on Al-3wt% Mg" Materials Science and Engineering A319-321 (2001) 443-447.
- [4] Liu, W.C., Morris, J. G., " Kinetics of the Formation of the β Fiber Rolling Texture in Continuous Cast AA 5xxx Series Aluminum Alloys" Scripta Materialia 47 (2002) 743-748.
- [5] Liu, X.Y., Adams, J.B., "Grain- Boundary Segregation in Al-%10 Mg Alloys at Hot Working Temperatures", Acta Materialia 46,10,(1998)3467-3476.
- [6] Roder, O., Wirtz, T.,Gysler, A., Lutjering, G., "Fatigue Properties of Al-Mg Alloys With and Without Scandium", Materials Science and Engineering A234-236(1997)181-184.
- [7] Choi, U., Lin, S., Kang, S., "Effects of Microstructure and Alloy Contents on Lüders Line Formation in Al-Mg Alloys", Scripta Materialia. Vol. 38, No 6,pp. 887-892, 1998.
- [8] Tsai, T.L., Sun, P.L., Kao, P.W.,Chang, C.P., "Microstructure and Tensile Properties of a Commercial 5052 Aluminum Alloy Processed by Equal Channel Angular Extrusion", Materials Science and Engineering A342 (2003) 144 –151.
- [9] Morris-Munoz, M.A., Garcia Oca, C., Morris, D.G., "Mechanical Behaviour of Dilute Al-Mg Alloy Processed by Equal Channel Angular Pressing". Scripta Materialia 48 (2003) 213-218.
- [10] Deschamps, A., Peron, S., Brechet, Y., vd., "High Temperature Cleavage Fracture in 5383 Aluminum Alloy" Materials Science and Engineering A319-321 (2001) 583-586.
- [11] Çimenoğlu, H., Kayalı S., "Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları", İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, p: 77-79, 1991 İstanbul.
- [12] Burger, G.B.,Gupta, A.K., Jeffrey, P.W., "Microstructural Control of Aluminum Sheet in Automotive Applications", Mater. Charact. 35 (1995) 23-39.
- [13] Metals Handbook, Tenth Edition, vol:2, ASM International, 1990, pp. 37-39.
- [14] Dieter, G.E., "Mechanical Metallurgy", McGraw-Hill Book Company Limited, p:375-432, 1988 Singapore.
- [15] Callister, W.D., "Materials Science and Engineering", Wiley International Edition, p: 210-224,1991 USA.
- [16] Czyryca, E.J., "ASM Handbook", Mechanical Testing v:8, p:363-365,1992 USA.
- [17] Askeland, D.R., "The Science and Engineering of Materials", SI Edition, p:313-322 Van Nostrand Reinhold Co. Ltd. 1989 Hong Kong.
- [18] Asm HanDBOOK, "Fractography", Ninth Edition, Volume:12, p:405-413 The Materials Information Society, 1992 USA.
- [19] Ueda, K., Horikawa, K., Kanno, M., "Suppression of High Temperature Embrittlement of Al-%5Mg Alloys Containing a Trace of Sodium Caused by Antimony Addition" Scripta Mater., 1997;37:1105.
- [20] Jiang, D.M., wang, C.L., Yu, J., vd., "Cleavage and Intergranular Fracture in Al-Mg Alloys", Scripta Mater., 49 (2003)387-392.