

Yaşlandırma Parametrelerinin Farklı Geometrilere Sahip Alüminyum Ekstrüzyon Ezilme Kutularında Darbe Performansına Etkileri

Emre Doruk
Mak. Yük. Müh.
TOFAŞ, Bursa

Gürkan Yılmazoğlu
Metalürji ve Malzeme Müh.
TOFAŞ, Bursa

Zeki Ayaz
TOFAŞ, Bursa

Tanya Başer
Dr.
TOFAŞ, Bursa

İsmail Durgun
Dr. Mak. Müh.
TOFAŞ, Bursa

Otomotiv sektöründe güvenlik ve konfor alanında ödün vermeden yüksek dayanımlı alaşımların kullanımı ve düşük yakıt tüketimi önemli bir hedef haline gelmektedir. Alüminyum alaşımları araç hafifletme ve çarpışma güvenliği gibi konularda daha iyi şekillendirilebilirlik ve yüksek mukavemet hedefleri için sürekli geliştirilmektedir. Otomotiv sektöründe sac, ekstrüzyon ve döküm formundaki alüminyum kullanımı araç hafifletme çalışmalarında önemli derecede avantaj sağlarken, araç pasif güvenlik sistemlerinin tasarımında da etkili sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, farklı geometrilere sahip alüminyum ekstrüzyon ezilme kutularının çarpışma performansına ısıl işlem parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Isıl işlemler 160 °C'de ve farklı bekleme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı bekleme sürelerinin mekanik özelliklere etkilerini tespit etmek için çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri ile de yaşlandırma parametrelerinin farklı geometrilere sahip ezilme kutularının çarpışma performanslarına etkileri araştırılmıştır.

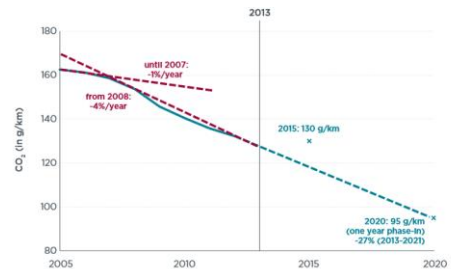
Anahtar Kelimeler: Alüminyum ekstrüzyon, ısıl işlem, çarpma performansı, AA 6XXX serisi

GİRİŞ

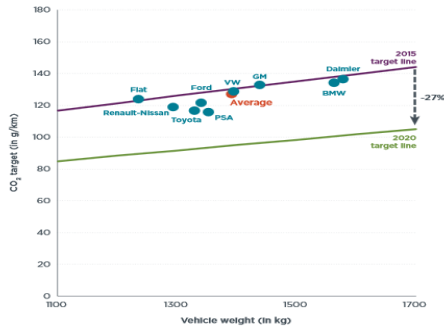
Otomotiv endüstrisinde, ekolojik dengeyi bozan CO2 emisyonlarını azaltmak için daha düşük yakıt tüketimi sağlayacak teknolojiler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Şekil 1'de görülebileceği gibi Avrupa ve Türkiye CO2 emisyon standartlarına göre 2015 yılı sonuna kadar sınır değerlerin 130 g/km olacağı bilinmektedir. 2020 yılında ise bu değer 95 g/km olacaktır. Şekil 2'de bazı otomotiv üreticilerinin CO2 emisyon değerleri gösterilmektedir. Araçlarda konfor standartlarının yükselmesi ve yolcu güvenliğinin artırılması ile yeni aksam eklenmekte ve bu durum taşıt ağırlığında artışa neden olmaktadır. Yüksek yakıt tasarrufu için en etkin çözüm taşıttaki hafif alaşımlı parça miktarını arttırmaktır.

Şekil 3'de görüldüğü gibi alüminyum alaşımları otomotiv endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Alüminyumun tercih edilmesinin nedenlerinden bir tanesi, araç tasarımı alanında en önemli husus olan yolcu güvenliğidir. Alüminyum bu

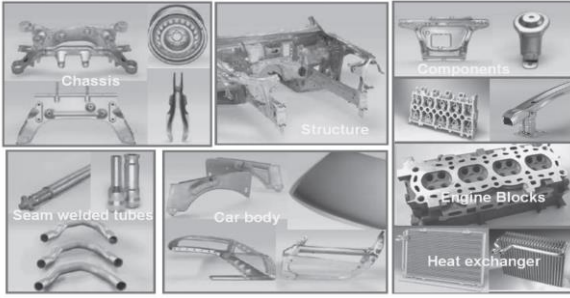
amaç için en uygun elementtir. Hem taşıt ağırlığını azaltmak, hem de güvenlik önlemlerini iyileştirmek için alüminyum alaşımları sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 1. Avrupa Birliği'ndeki binek araçların yıllar bazında CO2 emisyon seviyeleri [1]

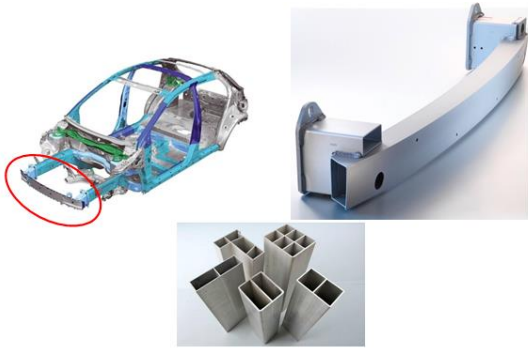


Şekil 2. Bazı otomotiv üreticilerinin CO2 emisyon seviyeleri [2]



Şekil 3. Otomotiv Uygulamalarında Kullanılan Alüminyum Parçalar [3]

Bu çalışma kapsamında alüminyum ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmesi planlanan ve Şekil 4'de gösterilen çarpma traversi önden çarpmalı trafik kazalarında enerji absorbe eden en önemli parçalardan birisidir.



Şekil 4. Bir araca ait alüminyum ön çarpma traversi [4]

Çarpma traversinin kullanım amacı; araca önden gelen darbeleri sönmüleyip, belirli bir deformasyona uğratarak motor bölgesinde oluşacak hasarları minimize etmek ve kazanın etkilerini sürücü ve yolculara minimum düzeyde iletmeektir. Bu çalışmada otomotiv uygulamaları için ısıl işlem

parametrelerinin (çözeltiye alma sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklık ve süresi) AA6082 alaşımının mekanik özelliklerine ve darbe performansına etkisi incelenmiştir. Tüm bunlara ek olarak, AA6082 ekstrüzyon profillerinde yaşlandırma sürelerinin darbe direncine etkisi için FE analizleri gerçekleştirilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Al-Mg-Si alaşımları arasında yer alan AA6082 alaşımı kullanılmıştır. (Tablo 1). AA6082 alaşımı; 2 mm kalınlığında ekstrüzyon profilidir. Ekstrüzyon oranı 45'dir.

Tablo 1. AA6082 ekstrüzyon profilinin kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Al
0.78	0.4	0.08	0.5	0.67	0.16	Kalan

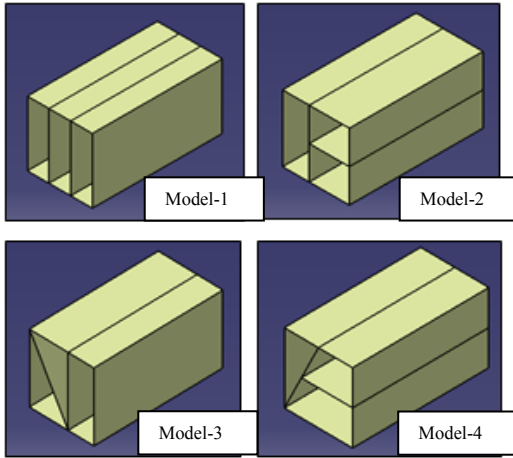
AA6082 ekstrüzyon profillerinden kesilen numunelere Nabertherm-L 24/12 ısıl işlem fırınında 600 °C'de 4 saat çözeltiye alma tavi uygulanmıştır. Çözeltiye alma tavi sonrası numuneler hava ile oda sıcaklığına soğutulmuşlardır. Çözeltiye alma tavi sonrası numuneler ısıl işlem süresinin mekanik özellikler ve darbe performansına etkisini incelemek amacıyla; 160 °C'de 8, 10, 15, 18 ve 24 saat yapay yaşlandırılmıştır (YY).

160 °C'de farklı doğal yaşlandırma sürelerinin etkilerini incelemek için çekme testleri yapılmıştır. Bu testler Zwick BZC-MM 14650.ZW01 model çekme testi cihazında 80 mm ölçüm boyundaki numune üzerinden 15 mm/dk çene hızında uygulanmıştır.

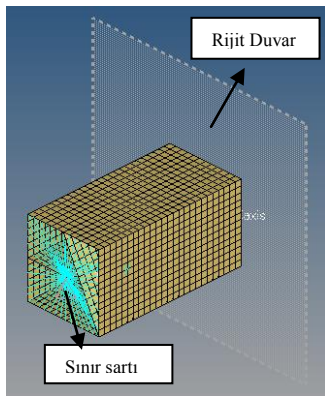
MODELLEME VE SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

Bu çalışma kapsamında Şekil 5'te görülen 4 farklı alüminyum ekstrüzyon ezilme kutusu Catia yazılımı yüzey modülünde modellenmiştir. Ezilme kutularının boyutları 50x100 mm şeklindedir.

FE analizleri Altair HyperMesh yazılımında gerçekleştirilmiştir. Malzeme karakteristiklerini tanımlamak için MATL 24 malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model ile sonlu elemanlar analizine malzeme kartı oluşturulmaktadır. Burada tanımlanan parametreler; malzemenin akma ve kopma mukavemeti, yüzde uzaması, poisson oranıdır. Yarattılan model rijit duvara 16 m/s hız ile çarpıtılmıştır. Rijit duvarın ağırlığı 400 kg olarak tanımlanmıştır. Kontak tanımlamada otomatik tek yüzey kullanılmıştır.



Şekil 5. Farklı geometrilere sahip alüminyum ekstrüzyon ezilme kutuları



Şekil 6. Ezilme kutusunun çarpma sonlu eleman modeli

Şekil 6’da gösterilen sonlu elemanlar modeli, farklı geometrilere sahip 4 model içinde oluşturulmuştur. Bu oluşturulan modeller Ls-Dyna çözücüsü ile Tablo 2’de belirtilen farklı sürelerde yapılan YY değerlerinin sonucu olan mekanik özelliklere göre ayrı ayrı çözdürülmüştür. YY sonrası her bir numune üzerinden gerçekleştirilen çekme testleri ile elde edilen akma (σ_A) ve çekme (σ_C) dayanımları sonlu elemanlar modelinde kullanılmıştır. Böylece 4 model içinde yaşlandırma parametrelerinin darbe performansına etkileri tespit edilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6082 ekstrüzyon profillerine çözeltiye alma tavlama 600 °C-4 saatte gerçekleştirilmiştir. 6082 profillerinin 160 °C’de farklı bekleme sürelerinde yapılan yapay

yaşlandırma (YY) sonrasındaki akma (σ_A) ve çekme (σ_C) dayanımları Tablo 2’de gösterilmektedir. Çözeltiye alma tavlama (ÇAT) hemen sonra yapılan çekme testi sonucu da Tablo 2’de karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

Tablo 2. 6082 ekstrüzyon profillerinde 160 °C’de farklı sürelerde yapılan YY tavlamalarının mekanik özelliklere etkisi (Numunelere 600 °C-4 saat ÇAT uygulanmıştır)

Yapay Yaşlandırma (YY) [saat]	σ_A [MPa]	σ_C [MPa]
ÇAT	118	225
8	220	274
10	236	279
15	262	287
18	270	285
24	289	295

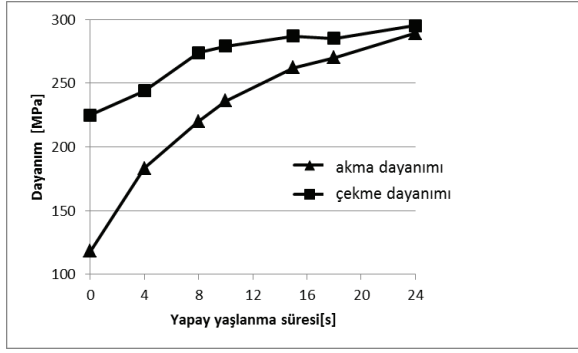
Yaşlanma süresinin (t_{YY}) mekanik özellikler üzerindeki etkisini daha detaylı incelemek için farklı sürelerde doğal yaşlanmış numunelerin σ_A ve σ_C değerleri doğal yaşlanma süresinin fonksiyonu olarak Şekil 7’de gösterilmektedir. σ_A değeri t_{YY} ’nin artışı ile artmaktadır. Bununla birlikte t_{YY} artışı ile σ_C değerinde azalma gözlenmektedir. AA6082 alaşımların oda sıcaklığında bekleme süresine bağlı olarak mekanik özelliklerindeki değişim çökelme sertleşmesi ile açıklanmaktadır. Literatürde AA6XXX alaşımlarındaki çökelme sırası aşağıdaki gibidir [5, 6];

Aşırı doymuş çözelti → GPI kümeleri → GPII kümeleri / yarı kararlı β'' (Mg_2Si) fazı → yarı kararlı β' (Mg_2Si) fazı → kararlı β (Mg_2Si) fazı

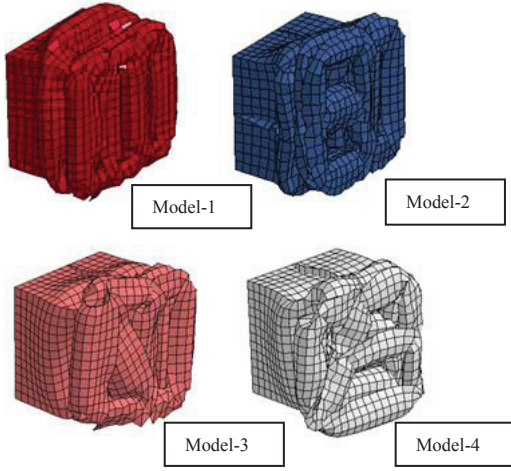
Aşırı doymuş çözelti, çözeltiye alma tavlama hemen sonra elde edilmektedir. Çözeltiye alma tavlama sonra Mg ve Si kümeleri oluşmaktadır. Mg ve Si kümeleri oda sıcaklığında doğal yaşlanma süresinin sonucu olarak GPI kümelerine dönüşmektedir [5, 6]. GP II kümeleri; diğer bir deyişle β'' fazı en yüksek sertlik değerinin sağlandığı fazdır. β'' fazı miktarının artması ile dayanım da artar. Bu nedenle σ_A ve σ_C daha uzun bekleme sürelerinde β'' fazı miktarının artması ile artmaktadır.

Şekil 8’de mekanik özellikleri Tablo 2’deki gibi olan 4 farklı alüminyum ekstrüzyon modelinin deforme olmuş halleri görülmektedir. İmalatçıdan temin edilen parça çözeltiye alma tavlamaına tabi tutulmuştur. Sonrasında ise 160 °C ‘de sırasıyla 8, 10,

15, 18, 24 h yaşlandırılmış ve sonrasında havada soğutulmuştur. Bu işlemler 4 model için de tekrarlanmıştır.



Şekil 7. Farklı t_{YY} fonksiyonu olarak σ_A ve σ_C değerleri



Şekil 8. Farklı modellerin plastik deformasyonları

Yapılan çarpışma analizleri sonucunda Tablo 3'de Model-1 için farklı yaşlandırma sürelerine tabi tutulan ve mekanik özellikleri değişen 6 farklı durumun enerji emme performansları ve reaksiyon kuvvetleri elde edilmiştir.

Yapılan çarpışma analizleri sonucunda Tablo 4'de Model-2 için farklı yaşlandırma sürelerine tabi tutulan ve mekanik özellikleri değişen 6 farklı durumun enerji emme performansları ve reaksiyon kuvvetleri elde edilmiştir.

Yapılan çarpışma analizleri sonucunda Tablo 5'de Model-3 için farklı yaşlandırma sürelerine tabi tutulan ve mekanik özellikleri değişen 6 farklı durumun enerji emme performansları ve reaksiyon kuvvetleri elde edilmiştir.

Tablo 3. Model-1 için karşılaştırmalı enerji emme kapasiteleri ve pik kuvvetleri (kN) [65 mm yer değiştirme için]

YY [saat]	Emilen Enerji [kJ]	Maksimum Reaksiyon Kuvveti [kN]
ÇAT	2.80	76.84
8	4.22	133.9
10	4.52	143.9
15	4.16	159.8
18	4.04	164.5
24	3.81	175.6

Tablo 4. Model-2 için karşılaştırmalı enerji emme kapasiteleri ve pik kuvvetleri (kN) [65 mm yer değiştirme için]

YY [saat]	Emilen Enerji [kJ]	Maksimum Reaksiyon Kuvveti [kN]
ÇAT	2.97	72.00
8	4.31	122.7
10	4.38	131.5
15	4.62	145.2
18	4.60	149.4
24	4.58	160.1

Tablo 5. Model-3 için karşılaştırmalı enerji emme kapasiteleri ve pik kuvvetleri (kN) [65 mm yer değiştirme için]

YY [saat]	Emilen Enerji [kJ]	Maksimum Reaksiyon Kuvveti [kN]
ÇAT	2.90	79.88
8	4.19	137.1
10	4.43	146.6
15	4.76	161.8
18	4.81	166.4
24	4.88	178.2

Yapılan çarpışma analizleri sonucunda Tablo 6'de Model-4 için farklı yaşlandırma sürelerine tabi tutulan ve mekanik özellikleri değişen 6 farklı durumun enerji emme performansları ve reaksiyon kuvvetleri elde edilmiştir.

Tablo 6. Model-4 için karşılaştırmalı enerji emme kapasiteleri ve pik kuvvetleri (kN) [65 mm yer değiştirme için]

YY [saat]	Emilen Enerji [kJ]	Maksimum Reaksiyon Kuvveti [kN]
ÇAT	2.79	75.08
8	3.53	129.7
10	3.88	139.6
15	4.11	155.8
18	4.32	160.7
24	3.87	172.6

Model-1 için yapılan çarpma simülasyonlarına bakıldığında yaşlandırma süresinin artması ile maksimum reaksiyon kuvvetinin doğru orantılı bir şekilde arttığı fakat emilen enerjinin doğru orantılı şekilde artmadığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre en iyi durumun 10 saatlik yaşlandırma sürecinde alındığı tespit edilmektedir. 10 saatin üzerinde yapılan yaşlandırmanın enerji emilimine de maksimum reaksiyon kuvvetine de etkisi olumsuzdur.

Model-2 için yapılan çarpma simülasyonları incelendiğinde en iyi sonucun 15 saatlik yaşlandırma süresinde olduğu tespit edilmiştir. Fakat maksimum reaksiyon kuvvetinin model-1'e göre 1,3 kN fazla olduğu görülmektedir. Çarpma transvers tasarımı maksimum reaksiyon kuvvetinin düşük olması, enerji emilim değerinin yüksek olması istenir. Yüksek reaksiyon kuvvetleri parçanın plastik deformasyona uğramadan aniden kırılmasına neden olmaktadır.

Model-3 için yapılan çarpma simülasyonlarına bakıldığında ise, emilen enerjinin yaşlandırma süresi ile doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Aynı şekilde yaşlandırma süresi arttıkça maksimum reaksiyon kuvveti de artmaktadır. Maksimum enerji emilim değeri 24 saatlik yaşlandırma sonucunda 4.88 kJ olarak elde edilmektedir. Ancak buradaki reaksiyon kuvveti 178.2 kN'a çıkmaktadır. Burada çarpma transversinin normlardaki sınır değerleri göz önünde bulundurularak bir tercih yapılmalıdır.

Model-4 simülasyon sonuçları incelendiğinde, en iyi durumun 18 saatlik yaşlandırma süresinde elde edildiği görülmektedir. Ancak enerji emilim ve maksimum reaksiyon kuvveti değerlerine bakıldığında diğer 3 modele göre daha verimsiz olduğu görülmektedir.

ÖZET

Bu çalışmada otomotiv uygulamalarında kullanılan AA6082 ekstrüzyon profillerinde ısı işlem parametrelerinin (çözeltiye alma sıcaklığı, yaşlandırma sıcaklık ve süresi) mekanik özelliklere ve darbe performansına etkisi incelenmiştir. Doğal yaşlanma süresinin (t_{YY}) mekanik özellikler üzerindeki etkisini daha detaylı incelemek için farklı sürelerde yapay yaşlanmış numunelerin σ_A ve σ_C değerleri yapay yaşlanma süresinin fonksiyonu olarak çizilerek karşılaştırılmıştır. σ_A değeri t_{YY} 'nin artışı ile artmaktadır. Bununla birlikte t_{YY} artışı ile σ_C değerinde azalma gözlemlenmiştir. AA6082 alaşımların oda sıcaklığında bekleme süresine bağlı olarak mekanik özelliklerindeki değişim çökeltme sertleşmesi ile açıklanmaktadır. Aşırı doymuş çözelti, çözeltiye alma tavından hemen sonra elde edilmiştir. Çözeltiye alma tavından sonra Mg ve Si kümeleri oluşmaktadır. Mg ve Si kümeleri oda sıcaklığında doğal yaşlanma süresinin sonucu olarak GPI kümelerine dönüşmüştür. GP II kümeleri; diğer bir deyişle β'' fazı en yüksek sertlik değerinin sağlandığı fazdır. β'' fazı miktarının artması ile dayanım da artar. Bu nedenle σ_A and σ_C daha uzun bekleme sürelerinde β'' fazı miktarının artması ile artmıştır. Yaşlandırma parametreleri 6082 ekstrüzyon profillerinin dayanım değerleri üzerinde önemli bir role sahiptir. Bu nedenle hedef dayanımları sağlayabilmek için yaşlandırma sıcaklık ve süreleri kontrollü bir şekilde yapılmalıdır. Yaşlandırma süresini arttırmak malzemenin mekanik dayanımını arttırmakta fakat bu artış malzemenin çarpma davranışını her zaman iyileştirmemektedir. Alüminyum ekstrüzyon yöntemi ile hücresele olarak imal edilen ezilme kutularının geometrileri de çarpma performansını etkilemektedir. Bu geometriler üzerinden yapılacak bir şekil optimizasyonu ile enerji emilim değerleri ve reaksiyon kuvvetleri daha da iyileştirilebilir.

THE EFFECT OF AGING PARAMETERS ON CRASH PERFORMANCE OF DIFFERENT GEOMETRICAL ALUMINUM EXTRUDED PROFILES

Development of high strength alloys and low fuel consumption of automobiles without sacrificing comfort and safety has become an important goal for automotive industries. Aluminum alloys were developed for the increasing demands in higher strength and better formability for light weight and crash worthiness aspects. Aluminum in its various product forms (sheet, extrusions, die castings) is an established automotive lightweight material offering excellent weight saving potential, including crashworthiness applications for passive vehicle

safety. In this study, the effect of heat treatment parameters on the crashworthiness of different geometrical extruded crash box is studied. The heat treatment was performed at 160 °C with different holding times on extruded profiles. Tensile tests are performed to determine the effect of different holding time on mechanical properties. FE analysis is also performed to investigate the effect aging parameters on crash performance of AA6082 extruded profile.

Keywords: Aluminum extrusion, heat treatment, crash performance, AA 6XXX series

TEŞEKKÜR

Yazarlar, TOFAŞ Ar-Ge Merkezi ve Canel Otomotiv'e sağladığı destek ve olanaklar için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. Historical development and future targets for CO2 emission levels of new passenger cars in EU - Source: The International Council on Clean Transportation.
2. 2013 actual performance of the top-selling EU passenger car manufacturers, including 2015 and 2020 (effectively 2021) target lines – Source: The International Council on Clean Transportation.
3. Aluminum products for advanced automotive applications- Source: Jürgen Hirsch, Materials Transactions, Vol. 52, No. 5 (2011) p. 818.
4. Doruk, E., Başer, T. A., Durgun, İ., Taşıt Elemanlarında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Enerji Sönümleme Yeteneklerinin İncelenmesi, 7. Alüminyum Sempozyumu, , ALUS 2015.
5. Başer, T. A., Usta M., Çetin H., Özcan, Ş., Çeliker, T., 7th International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Molds, 20-23 June 2013, Antalya, Türkiye, 77.
6. Engler O., Hirsch, J., Mater. Sci. Eng. A 2002, pp 336-249.