

**T. C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL 2024 VE AL 5754 ALAŞIMLI ALÜMİNYUM SACLARIN**  
**ŞEKİLLENDİRİLEBİLME KABİLİYETİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mevlüt TÜRKÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KONYA, 2009

Bu tez ... /.../ 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /  
oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr  
H. Selçuk HALKACI  
(Danışman)

Dr.  
(Üye)

Dr.  
(Üye)

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### AL 2024 VE AL 5754 ALAŞIMLI ALÜMİNYUM SAÇLARIN ŞEKİLLENDİRİLEBİLME KABİLİYETİNİN ARAŞTIRILMASI

Mevlüt TÜRKÖZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI

2009, 118 Sayfa

Sac şekillendirme proseslerinde, sacın istenen şekli alması bölgesel boyunlaşma ve yırtılma hasarları tarafından sınırlanır. Bu proseslerde malzeme davranışını tahmin etmek için bilgisayar modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin gerçek durumu temsil edebilmesi için malzeme parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu parametreler genellikle çekme deneyi ve şekillendirme sınır diyagramlarından elde edilir.

Bu çalışmada alaşımli alüminyum saclardan Al 5754 ve Al 2024 malzemelerin şekillendirilebilirlikleri şekillendirme sınır diyagramı (ŞSD) yardımıyla belirlenmiştir. ŞSD'larının elde edilmesinde düzlem dışı şekillendirme deneylerinden Nakazima deneyi kullanılmıştır. Al 5754-O tavllanmış durumda, Al 2024-T4 de çökelti sertleşmesi ısı işleminden sonra doğal olarak yaşlandırılmış durumda kullanılmıştır. Malzemelerin şekillendirme sınırı, yırtılma veya boyunlaşma anına kadar şekillendirilen numunelerin üzerinde, serigrafi yöntemi ile oluşturulmuş gridlerden, özel bir otomatik gerinim ölçme yazılımı aracılığıyla bulunmuştur. Kırılgan bir malzeme olan Al 2024-T4'e ait sınır gerinme değerleri klasik yöntemlerle belirlenirken, sünek bir malzeme olan Al 5754-O için "hasardan majör kesitten minör bulma" adında daha sistematik yeni bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca

şekillendirilebilirliği belirlemede kullanılan diğer bir araç olan sınır kubbe yükseklikleri de bu çalışmada verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Şekillendirilebilirlik, Şekillendirme sınır diyagramları, ŞSD, Nakazima Deneyi, Otomatik gerinim ölçümü, Grid, Çekme Deneyi, AI 5754-O, AI 2024-T4

# **ABSTRACT**

**Master Thesis**

## **INVESTIGATION ON FORMABILITY OF AA 2024 AND AA 5754 ALUMINIUM ALLOY SHEETS**

**Mevlüt TÜRKÖZ**

**Selçuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Hüseyin Selçuk HALKACI**

**2009, 118 Pages**

**Jury: Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI**

Forming of sheet metals in desired shape is restricted by localized necking and fracture in sheet forming operations. Computer models had been developed to predict material behavior in such operations. Experimental data are required for representing of these models. These data are obtained by tensile tests and creating forming limit diagrams.

In this study, formabilities of Al 5754 and Al 2024 aluminium alloy sheet metal materials were determined by using forming limit diagram (FLD). Nakazima test, a kind of out of plane forming experiments, is used to obtain FLD. Al 5754-O is used in annealed form and Al 2024-T4 is used as natural aged form after precipitation hardening heat treatment. The forming limits of materials is found from grids, created by serigraphy method on the samples until tearing and necking, by using special automatic strain measurement software. While limit strain values for a brittle material Al 2024-T4 is determining by using classical methods, a new and more systematic method called by authors as “major from failure, minor from

cross-section” is advised for an ductile material Al 5754-O. Additionally, limiting dome heights, another way to determine formability, is also given in this study.

**Key words:** Formability, Forming limit diagrams, Nakazima test, Automated strain measurement, Grid, Tensile test, AA 5754-O, AA 2024-T4

## ÖNSÖZ

Geçmiş yıllarda sac kalıplarının üretimi aylar sürmekte ve parçaların imalatı sırasında ortaya çıkan kalıp hataları deneme yanılma yöntemi ile giderilmeye çalışılmaktaydı. Teknolojideki gelişmeyle birlikte sac kalıpların imalatında yeni trend daha kalıpların üretimi yapılmadan bilgisayarda prosesin simülasyonu yapılarak ortaya çıkabilecek kusurları önceden tahmin etmeye yöneliktir. Böylece deneme yanılma yönteminde kaybolan zaman, emek ve masraflar azaltılmaya çalışılmaktadır. Prosesin simülasyonunun veya analizinin gerçekleştirilebilmesi için imalatı yapılacak iş parçasının kalıplarının şekil ve boyutlarının yanında malzeme özelliklerinin de simülasyonların yapıldığı sonlu elemanlar programına tanıtılması gerekir. Programa girilen malzemenin akma eğrisi ile iş parçasındaki gerilme ve gerinme miktarları hesaplanabilmektedir. Parçada hangi bölgelerde hasarların olabileceğinin tahmin edilmesi için malzemenin şekillendirme sınır diyagramlarının (ŞSD) da programa girilmesi gerekir.

Zamandan ve maliyetten önemli derecede tasarruf sağlayan simülasyon yaparak kalıp üretimi yöntemi ülkemizde sadece birkaç otomotiv firması tarafından kullanılmaktadır. Bunlar da kullandıkları ŞSD'larını yurt dışından satın almaktadır. Şekillendirme sınır diyagramlarının elde edilmesinin zahmetli ve maliyetli bir iş olmasından dolayı üniversitelerdeki birkaç araştırmanın dışında ticari anlamda ŞSD'larının elde edilmesine yönelik bir çalışma şu ana kadar yoktur. Bu nedenle Ülkemizde özellikle yoğun olarak kullanılan malzemelerden başlayarak tüm malzemelerin ŞSD'larını içeren bir veri kaynağının oluşturulmasının diğer ülkelerle rekabet açısından önemli olduğunu düşünmekteyim.

Bu çalışmada da daha çok biri otomotiv diğeri de havacılık sektöründe kullanılan iki farklı alaşımlı alüminyum sac malzemenin şekillendirme sınır diyagramları oluşturuldu. Elde edilen ŞSD'larının TÜBİTAK destekli MAG 108M516 numaralı sacların hidrolik şekillendirilmesine yönelik araştırma projesinde yapılacak analizlerde kullanılması hedeflenmektedir.

BİDEB 2210 Destek Programları kapsamında verdiği bursla yüksek lisans öğrenimim boyunca beni maddi olarak destekleyerek zamanımı sadece akademik çalışmalarına ayırma imkânı sunan TÜBİTAK Kurumuna teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmada deney cihazı olarak kullanılan MTS presi, ASAME otomatik gerinim ölçme yazılımı ve çekme cihazının kullanılmasında hiç bir yardımı esirgemeyen Yrd.Doç.Dr.Fahrettin ÖZTÜRK'ün şahsında Niğde Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Deęerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren başta danışmanım Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI'ya ve bu çalışmada büyük destekleri olan Araştırma görevlisi Murat Dilmeç'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gösterdikleri sabır, anlayış ve destekle her zaman yanımda olan babam Abdurrahman, annem Meryem ve kardeşlerim Fatma Gül ile Mediha'ya çok teşekkür ederim.

Mevlüt TÜRKÖZ, 2009

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	2
ABSTRACT.....	4
ÖNSÖZ.....	4
İÇİNDEKİLER.....	8
SİMGELER .....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
1. GİRİŞ .....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2.1. ALAŞIMLI ALÜMİNYUM SAÇLAR .....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2.1.1. Al 5754 alaşimli alüminyum sac .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.1.2. Al 2024 alaşimli alüminyum sac .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2. ŞEKİLENDİRİLEBİLİRLİĞİ BELİRLEMEDE KULLANILAN DENEYLER ....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2.2.1. Benzetim deneyleri (Simulating Tests).....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.1.1. Stampa ile gerdirme deneyleri .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.1.2. Derin çekme deneyleri .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.1.3. Birleştirilmiş derin çekme deneyleri .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.1.4. Eğme deneyi .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.1.5. Gerdirek eğme deneyi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.2. Sınır Kubbe Yüksekliği (Limiting Dome Height) Deneyi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.3. Mekanik Deneyler.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.2.4. Şekillendirme Sınır Diyagramları (SSD) .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.3. ŞEKİLENDİRME SINIR DİYAGRAMLARININ OLUŞTURULMASI .....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2.3.1. Gridleme işlemi .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.3.2. Şekillendirme İşlemleri.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.3.3. Gridlerin ölçülmesi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.4. ŞEKİLENDİRME SINIR DİYAGRAMLARINI BELİRLEMEDE KULLANILAN TEORİK MODELLER.....	HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.
2.4.1. Hill'in lokal boyunlaşma kriteri .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.4.2. Swift'in yayılmış boyunlaşma kriteri.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.4.3. Marciniak ve Kuczynski kriteri .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.4.4. Sünek kırılma kriteri.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2.4.5. Teorik Modellerin Değerlendirilmesi .....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



- 2.5. ŞEKİLENDİRME SINIR DİYAGRAMLARINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER ... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 2.5.1. Sac kalınlığı.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 2.5.2. Grid boyutu.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 2.5.3. Gerinme yolu .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 2.5.4. Pekleşme.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 2.5.5. Gerinme hızı duyarlılığı.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 2.5.6. Anizotropi .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 2.5.7. Homojensizlik.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

**3. MATERYAL VE METOT .....HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

- 3.1 NUMUNELERİN ISIL İŞLEMLERİ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 3.1.1 Al 5754 malzemenin ısıtma işlemi.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.1.2 Al 2024 malzemenin ısıtma işlemi.....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.2. ÇEKME DENEYİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 3.3. DÜZLEMSEL ANİZOTROPİNİN BELİRLENMESİ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 3.4 NAKAZİMA DENEYİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 3.4.1. Nakazima deney numunelerinin hazırlanması ....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.4.2. Şekillendirme işlemi .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.5 GRIDLERİN ÖLÇÜLMESİ VE ŞEKİLENDİRME SINIR DİYAGRAMLARININ OLUŞTURULMASI **HATA! YER İŞARETİ**

**TANIMLANMAMIŞ.**

- 3.5.1. Fotoğrafların çekilmesi .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.5.2. Fotoğrafların işlenmesi .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.5.3. Sınır gerilmelerin belirlenmesi ve ŞSE'lerinin çizilmesi**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.5.3.1 Klasik yöntem: Yırtığa veya boyuna komşu gridlerden belirleme**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 3.5.3.2 Önerilen yeni yöntem: Hasardan majör kesitten minör bulma**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

**4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

- 4.1 ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 4.2. ANİZOTROPI ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 4.3. NAKAZİMA DENEYLERİNİN TEKRARLANABİLİRLİĞİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 4.3.1. Gridleme işleminin tekrarlanabilirliği .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 4.3.2. ASAME ile ölçmenin tekrarlanabilirliği .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 4.3.3. Şekillendirme sınırının ve LDH'nın belirlenmesinin tekrarlanabilirliği**Hata! Yer işareti**

**tanımlanmamış.**

- 4.4. AL 5754-O İÇİN ŞSD' LARININ ÇİZİLMESİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**
- 4.4.1 Klasik yöntemle elde edilen ŞSD .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
- 4.4.2 Önerilen "hasardan majör, kesitten minör bulma" yöntemiyle elde edilen ŞSD**Hata! Yer işareti**

**tanımlanmamış.**

- 4.4.3 Yöntemlerin karşılaştırılması .....**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

4.4.4 Düzlemsel anizotropinin etkisi ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

4.4.5 LDH Değerleri ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

**5. SONUÇ VE ÖNERİLER** ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**KAYNAKÇA** ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EKLER** ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EK-A) ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİĞİ BELİRLEMEDE KULLANILAN BENZETİM DENEYLERİ** **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

A.1. STAMPA İLE GERDİRME DENEYLERİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

A.2. DERİN ÇEKME DENEYLERİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

A.3. BİRLEŞTİRİLMİŞ DERİN ÇEKME DENEYLERİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

A.4. EĞME DENEYİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

A.5. GERDİREREK EĞME DENEYİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EK-B) ŞSD'LARINI BELİRLEMEDE KULLANILAN DENEYLER** **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

B.1. DÜZLEM DIŞI ŞEKİLLENDİRME DENEYLERİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

B.2. DÜZLEM ŞEKİLLENDİRME DENEYLERİ ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EK-C) GRİD ÖLÇME YÖNTEMLERİ** ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EK-D) FARKLI HADDE DOĞRULTULARINDA ELDE EDİLEN SINIR GERİNME DEĞERLERİ** **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EK-E) FARKLI HADDE DOĞRULTULARINDA EDE EDİLEN ŞSD'LARI** ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**

**EK-F) FARKLI HADDE DOĞRULTULARINDA EDE EDİLEN LDH'LAR** ..... **HATA! YER İŞARETİ TANIMLANMAMIŞ.**