

**MANYETİK OLMAYAN DÖVME
MALZEMELERİN SIVI PENETRANT YÖNTEMİ
İLE ÇATLAK KONTROLÜNÜN KAMERA
YARDIMIYLA OTOMATİK OLARAK
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

MERT KARAMAN



T.C.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Manyetik Olmayan Dövme Malzemelerin Sıvı Penetrant Yöntemi ile Çatlak Kontrolünün Kamera Yardımıyla Otomatik Olarak Gerçekleştirilmesi

Mert KARAMAN

Orcid No: <https://orcid.org/0000-0001-5769-3950>

Prof. Dr. Ali BAYRAM

(Danışman)

<https://orcid.org/0000-0001-7311-8358>

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2022

TEZ ONAYI

Mert Karaman tarafından hazırlanan “Manyetik Olmayan Dövme Malzemelerin Sıvı Penetrant Yöntemiyle Çatlak Kontrolünün Kamera Yardımıyla Otomatik Olarak Gerçekleştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali BAYRAM

<https://orcid.org/0000-0001-7311-8358>

Başkan : Prof. Dr. Ali BAYRAM Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye : Prof. Dr. Yahya IŞIK Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye : Dr.Öğr.Üyesi Selçuk KARAGÖZ BTÜ, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././....

İmza

Mert Karaman

TEZ YAYINLAMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekte çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplenilen yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullanıldığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı taktirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Tarih

imza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalamalıdır.

Mert KARAMAN

Tarih

imza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalamalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MANYETİK OLMAYAN DÖVME MALZEMELERİN SIVI PENETRANT YÖNTEMİYLE ÇATLAK KONTROLÜNÜN KAMERA YARDIMIYLA OTOMOTİK OLARAK GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Mert KARAMAN

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali BAYRAM

Günümüzde petrol rezervlerinin azalması ile birlikte, elektrik ve hidrojen gibi yakıtların teknolojisi gün geçtikçe gelişmektedir. Son dönemlerde, otomotiv endüstrisinde elektrikli araç üretimlerinin artması ile birlikte, otomobillerde çelikten üretilen parçaların yerini alüminyum gibi daha hafif alaşımlar almaktadır. Manyetik olmayan bu tarz alaşımların çatlak kontrolünün güvenli, hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirmek büyük önem arz etmektedir. Manyetik olmayan malzemelerin çatlak kontrolü tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan sıvı penetrant yöntemi ile gerçekleştirilebilir. Sıvı penetrant ile çatlak kontrol yönteminin, diğer tahribatsız muayene yöntemlerinden üstün olan en önemli özelliği metal dışı (manyetik olmayan malzemeler) malzemelere de ekonomik olarak uygulayabilmemizdir. Bu tezde, ostenitik paslanmaz çelik ve alüminyum hammaddesinden üretilmiş, dövme parçaların çatlak kontrolünü sıvı penetrant yöntemi ile kamera yardımıyla otomotik olarak gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Sıvı penetrant uygulanmış, manyetik olmayan dövme malzemelerin, kamera yardımıyla çatlak kontrolünün gerçekleştirilip, tespit edilebilirliği doğrulanmış olup, seri şekilde kontrolün gerçekleştirilebilmesi için hat tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvı penetrant kontrol, Tahribatsız muayene yöntemleri, Kamera ile çatlak kontrol

2022, viii+49 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

AUTOMATICALLY PERFORMING CRACK CONTROL OF NON-MAGNETIC FORGED PARTS BY MEANS OF LIQUID PENETRANT METHOD WITH THE HELP OF CAMERA

Mert KARAMAN

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali BAYRAM

Nowadays, with the decrease of oil reserves, the technology of fuels such as electricity and hydrogen is developing day by day. Recently, with the increase in electric vehicle production in the automotive industry, parts produced from steel alloys used in automobiles have been replaced by lighter alloys such as aluminum. It is of great importance to perform crack control of such non-magnetic alloys safely, quickly and economically. Crack control of non-magnetic materials can be performed with liquid penetrant method, which is one of the non-destructive testing methods. The most important feature of the liquid penetrant crack control method, which is superior to other non-destructive testing methods, is that we can apply it economically to non-metal (non-magnetic materials) materials. In this thesis, it is aimed to perform the crack control of forged parts produced from austenitic stainless steel and aluminum raw materials automatically with the help of a camera using the liquid penetrant method. Liquid penetrant applied, non-magnetic forged materials were checked for cracks with the help of a camera, their detectability was verified and a line design was made in order to control in accordance with mass production.

Key words: Liquid Penetrant control, Non-destructive testing methods, Crack control with camera

2022, viii+49 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde; destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, yüksek lisans eğitimim boyunca danışmanlığımı yapan ve akademik anlamda gelişimime destek olan değerli hocam Prof. Dr. Ali Bayram'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın tamamlanması için bütün imkanları sağlayan Kanca El Aletleri Dövme Çelik ve Makine SAN. firması ve Taner Makas'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen öncelikle değerli mesai arkadaşlarım Ö.Batuhan Özkan, Fatih Yılmaz ve ismini saymadığım diğer tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu zorlu süreçte beni her zaman destekleyen ve hep yanımda olan eşim Leman Karaman'a teşekkürlerimi sunarım.

Mert Karaman

.../.../....

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1 Dövmenin Sınıflandırılması.....	3
2.1.1 Kalıp Sistematiğine Göre Dövmenin Sınıflandırılması.....	3
2.1.2. Sıcaklığa Göre Dövme Prosesinin Sınıflandırılması.....	4
2.1.3 Dövme Prosesinin Tezgah Tipine Göre Sınıflandırılması.....	4
2.1.4 Dövme Prosesinin Hammadde Kalitesine Göre Sınıflandırılması.....	5
2.2 Dövme Kusurları.....	5
2.2.1 Katmer.....	6
2.2.2 Çatlak.....	7
2.3 Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Tarihçesi.....	9
2.3.1 MPI (Magnetic Particle Inspection).....	10
2.3.2 Sıvı Penetrant Yöntemi.....	11
2.3.3 Sıvı Penetrant Yöntemi Kaynak Araştırmaları.....	13
3. MATERYEL ve YÖNTEM.....	18
3.1 Kalıp Tasarım Çalışmaları.....	18
3.1.2 Alüminyum Ventil Kalıp Tasarım Çalışmaları.....	19
3.1.3 Common Rail Kalıp Tasarım Çalışmaları.....	20
3.2 Simülasyon Çalışmaları.....	21
3.2.1 Alüminyum Ventil Simülasyon Çalışmaları.....	21
3.2.2 304L Paslanmaz Çelik Common Rail Simülasyon Çalışmaları.....	25
3.3 Dövme Denemeleri.....	27
3.4 Sıvı Penetrant Uygulama İşlemleri.....	29
3.5 Kamera Yardımıyla Çatlak Kontrol Denemeleri.....	30
3.6 Kontrol Sistemi için Ara yüz Oluşturma.....	34
3.7 Hat Tasarımının Gerçekleştirilmesi.....	36
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39

4.1 Dövmе Prosesinin Yorumlanması.....	39
4.2 Çatlak Kontrol Prosesinin Yorumlanması	40
4.3 Hat Tasarımının Yorumlanması.....	40
5.SONUÇ	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ	45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
C	Santigrad Derece
Ac3	Tamamen ostenite dönüşümün başladığı sıcaklık
Al	Alüminyum
B	Bor
C	Karbon
Fe	Demir
HRC	Rockwell Sertlik
H2O	Su
HCl	Hidroklorik asit
HNO3	Nitrik asit
K	Kelvin
kg	Kilogram
mm	Milimetre
Mn	Mangan
MP	Megapascal
Si	Silisyum
V	Volt
µm	Mikrometre
σ	Standart Sapma
X	Aritmetik Ortalama

Kısaltmalar	Açıklama
CCT	Continous Cooling Transformation
HF	Hot Forging
HS	High Strength Steel
PT	Partitioning Treatment
QT	Quenching Treatment
TTT	Time-Temperature Transformation

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Açık kalıpta dövme prosesi..... 3
Şekil 2.2.	Açık Kalıpta Dövme Prosesi..... 4
Şekil 2.3.	Katmer oluşumu. A) Katmer oluşum başlangıcı B) Katmer oluşumu devamı C) Katmer oluşumu şekillendirme sonu..... 7
Şekil 2.4.	Çatlak parça örnekleri. A) Dövme kaynaklı çatlak B)Dövme kaynaklı çatlak C) Hammadde kaynaklı çatlak (hadde kusuru).... 8
Şekil 2.5.	MPI yönteminin şematize görüntüsü 11
Şekil 2.6.	MPI yöntemi ile çatlak tespit edilmiş parça..... 11
Şekil 2.7.	Penetrant uygulama işleminin şematize gösterimi..... 12
Şekil 2.8.	Penetrant yöntemi ile tespit edilen süreksizlikler. A) Dövme parçada tespit edilen süreksizlikler B) darbe sonrası kılcal çatlaklar oluşan parça..... 12
Şekil 2.9.	Otomatik Sıvı Penetrant Hattı..... 16
Şekil 2.10.	Penetrant tank..... 16
Şekil 2.11.	Çizik Hasarı 17
Şekil 3.1.	Alüminyum Ventil dövme modeli..... 19
Şekil 3.2.	Alüminyum Ventil ön dövme kalıpları. A) alt ön dövme kalıbı B) üst ön dövme kalıbı..... 20
Şekil 3.3.	Alüminyum ventil son dövme kalıpları. A) son dövme alt kalıbı B) son dövme üst kalıbı..... 20
Şekil 3.4.	Common rail dövme modeli..... 21
Şekil 3.5.	Common Rail dövme kalıpları. A) Alt dövme kalıbı B) Üst dövme kalıbı..... 21
Şekil 3.6.	Direk son dövme ile üretilmiş kat ve doldurmama hatalı parça.... 22
Şekil 3.7.	Direk son dövme ile üretilmiş kat ve doldurmama hatalı parça.... 22
Şekil 3.8.	Herhangi bir dövme kusuru bulunmayan Alüminyum Ventil parçası..... 23
Şekil 3.9.	Herhangi bir dövme kusuru bulunmayan parça Alüminyum Ventil parçası..... 24
Şekil 3.10.	Şekillendirme için gerekli kuvvet (tonaj)..... 24
Şekil 3.11.	Common Rail simülasyon sonucu görüntüsü..... 26
Şekil 3.12.	Şekillendirme için gerekli kuvvet (tonaj)..... 26
Şekil 3.13.	Üretilen uygun Alüminyum Ventil parçası..... 28
Şekil 3.14.	Üretilen uygun Alüminyum Ventil parçası..... 28
Şekil 3.15.	Penetrant uygulanmış common rail parçası..... 29
Şekil 3.16.	Penetrant uygulanmış ventil parçası. A) Parçanın üstten görünüşü B) Parçanın alttan görünüşü..... 30
Şekil 3.17.	Geliştirici uygulanmış parçalar. A) Ventil parçası B) Common rail parçası..... 30
Şekil 3.18.	Kamera..... 32
Şekil 3.19.	Çatlak tespit edilen common rail parçası. A) Bos bölgesi B) Kulak bölgesi..... 32

Şekil 3.20.	Çatlak tespit edilen common rail parçası. A) Bos bölgesi B)Kulak bölgeleri.....	33
Şekil 3.21.	Çatlak tespit edilen ventil parçası.....	33
Şekil 3.22.	Çatlak tespit edilemeyen common rail parçası.....	34
Şekil 3.23.	Çatlak kontrol ara yüz programı.....	35
Şekil 3.24.	Hat tasarımı.....	36
Şekil 3.25.	Çatlak kontrol proses sıralaması. A) Penetrant uygulama B) Emilim bekleme süresi başlangıcı C) Emilim bekleme süresi sonu D) Yüzey temizleme E) Geliştirici uygulama F) Çatlak kontrol.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Simülasyon denemelerine ait genel veriler.....	25
Çizelge 3.2. Dövme üretimine ait genel veriler.....	27
Çizelge 3.3. Deney tablosu.....	34

1. GİRİŞ

Dövme plastik şekil verme işlemlerinden en eskisidir. Türkiye’de dövme sanayinde ilk adımlar 1960’lı yıllarda MKE tarafından atılmış, savunma sanayi başta olmak üzere kamu kuruluşlarının ihtiyaç duyduğu dövme parça üretimi başlatılmış ve ülkenin ilk dövmecileri yetiştirilmiştir. Bu dönemlerde mevcut bulunan küçük ölçekli ve düşük kapasiteli çok az sayıdaki dövme tesislerinde el aletleri ve basit makine parçaları üretilmekte iken 1960’lı yılların sonlarında otomotiv sanayinin kurulmasına paralel olarak özel sektör dövme tesisleri kurulup gelişmiştir. Dövme prosesinde amaç basit bir yuvarlak yada kare kesitli hammaddeye kuvvet uygulayarak daha kompleks bir hale getirmektir. Dövme prosesinin tercih edilmesinin en önemli sebepleri, dövmenin en kısa sürede nihai parçaya yakın bir geometri elde edilmesini sağlamasıdır. Bununla birlikte dövülerek üretilen parçaların mekanik ve metalürjik özellikleri döküm ve dolu malzemedeki işlenmiş parçalara göre daha iyidir. Dövme prosesinin diğer üretim yöntemlerinden üstün olan özellikleri: Çekme Mukavemeti, Süneklik, Darbe tokluğu, Kırılma, Lif yapısı, Yorulma mukavemeti, Tane boyutu.

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı güvenilirlik ve insan güvenliğinin kritik olduğu tüm alanlarda dövme parçaların kullanılması tercih edilmektedir. Dövme parçalarının kullanıldığı alanlar otomotiv endüstrisi, havacılık ve uzay sanayi, uzay araçları, elektrik enerjisi üretim sistemleri, komprasör ve inşaat sektörü olarak sıralanabilir.

Son yıllarda savunma sanayi, elektrikli araç ve hidrojen yakıt teknolojisi ile ilgili önemli gelişmeler meydana gelmektedir. Bu gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda savunma sanayi, elektrikli araçlar ve hidrojenli yakıt teknolojisine sahip araçlar ve savunma sistemlerinde kullanılan manyetik olmayan (alüminyum alaşımları ve östenitik paslanmaz çelik) dövme malzemelerin kullanımında da büyük ölçüde artış meydana gelmektedir. Kullanılmaya başlanan manyetik olmayan dövme parçaların bir çoğu emniyet parçası olarak sınıflandırılmaktadır. Manyetik olmayan malzemelerden dövme yöntemi ile üretilen emniyet parçaları %100 olarak tahribatsız muayene yöntemi ile çatlak kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Emniyet parçalarının %100 çatlak kontrolü için uygulanabilecek tahribatsız muayene yöntemlerinden bir tanesi sıvı penetrant yöntemidir. Bu yöntemin avantajlarından biri,

diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetli olmasıdır. Sıvı penetrant muayenesi metaller, manyetik olmayan malzemeler, cam, plastikler ve yanmış seramikler gibi gözeneksiz ve oldukça pürüzsüz malzemelerde hataların ve süreksizliklerin tespit edilmesinde başarıyla kullanılabilir (Taheri et al., 2019).

Bu tez çalışması kapsamında, manyetik olmayan (alüminyum ve östenitik paslanmaz çelik) malzemelerden dövme yöntemi ile emniyet parçalarının üretilmesi ve bu üretilen parçaların çatlak kontrolünün tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan sıvı Penetrant yöntemi ile çatlak kontrolünün kamera yardımıyla otomatik olarak gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

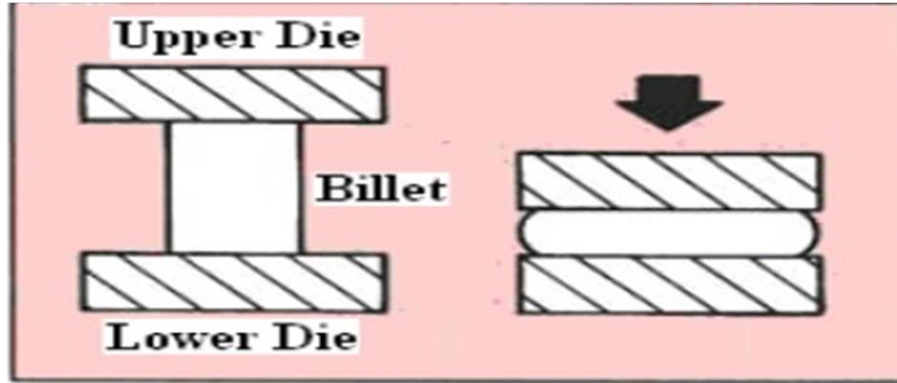
2.1 Dövmenin Sınıflandırılması

Dövme, kalıp sistemiği, dövme sıcaklığı ve dövme tezgahına göre sınıflandırılabilir.

2.1.1 Kalıp Sistemiğine Göre Dövmenin Sınıflandırılması

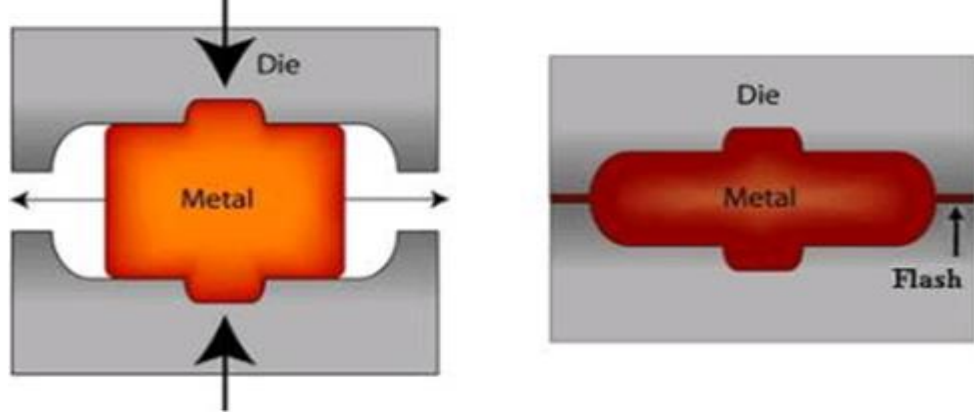
Dövme prosesi açık kalıpta dövme ve kapalı kalıpta dövme olarak sınıflandırılabilir.

Açık kalıpta dövme aşağıdaki şekil 2.1’de gösterildiği gibi, herhangi bir sınırlama olmaksızın malzemenin iki kalıp arasında yerleştirilerek şekillendirilmesi ile gerçekleştirilir. Açık kalıpta dövme ile üretilen parçaların doğruluk ve boyutsal toleransları, kapalı kalıpta üretilen parçalara oranla daha geniştir. Açık kalıpta dövme operasyonu operatör kontrolü ile gerçekleştirilir. Şekillendirilecek parçanın yüksekliği ve kesit alanı flambaj (malzeme kesit alanı ve yükseklik oranı) oranına göre azaltılır veya artırılabilir.



Şekil 2.1. Açık kalıpta dövme prosesi

Kapalı kalıpta dövme ise en yaygın olan dövme prosesidir. Karmaşık yapılı parçaların üretilmesinde kullanılır. Aşağıdaki şekilde (Şekil.2.2) gösterildiği şekilde fazla çapak, kalıp ayırım noktalarında sıkıştırılarak dışarı atılır ancak bu bölgelerde çok fazla gerilmeler oluşur. Bu gerilmelerin azaltılması için kalıp çapak yüksekliklerinde değişiklik yapılabilir.



Şekil 2.2. Açık Kalıpta Dövme Prosesi

2.1.2. Sıcaklığa Göre Dövme Prosesinin Sınıflandırılması

Dövme prosesi, sıcak dövme, ılık dövme ve soğuk dövme olarak sıcaklığa göre sınıflandırılır. Sıcak dövme işleminde hammadde yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerine ısıtılır ve büyük bir deformasyonla şekillendirme işlemi tamamlanır. Bu operasyonda daha büyük deformasyon elde edilir ve kalıp aşınması daha azdır. Bu proseste, doğruluk ve boyutsal toleranslar ılık ve soğuk dövmeğe göre daha düşüktür. Bu dövme işleminde ise hammadde yeniden kristalleşme ile sertleştirme sıcaklığı arasına ısıtılır. Ilık dövme, sıcak dövme işlemine göre daha iyi doğruluk ve boyutsal toleranslar sağlar ancak dövme yükleri ve kalıp aşınması daha fazladır. Soğuk dövme işleminde ise en iyi doğruluk ve boyutsal toleranslar elde edilir. Öte yandan parçayı şekillendirebilmek için daha yüksek kuvvet gereklidir.

2.1.3 Dövme Prosesinin Tezgah Tipine Göre Sınıflandırılması

Dövme prosesi makine tipine göre, mekanik pres, çekiç ve rulo dövme (roll forging) olmak üzere 3 ana başlık altında sınıflandırılabilir. Parçanın üretildiği tezgahın özelliği, şekillendirilen parçanın davranışını etkilemektedir.

Çekiç presleri, hidrolik, pnömatik ve hidro-pnömatik olarak sınıflandırılır. Çekiç preslerinde yüksek basınçlı hidrolik ile tahrik edilen büyük pistonlar ve silindirler tarafından çalıştırılır. Hızlı şekilde hareket büyük bir şahmerdan darbesi ile parçayı şekillendirirler. Şekillendirilecek hammadde hızlı bir şekilde deformasyona uğradığı

esnada önemli bir sıcaklık artışı gösterir. Alüminyum gibi malzemeleri erime noktasına yakın döerken büyük bir problem oluşturabilmektedir. Mekanik preslerde dövme işlemi sırasında sıcaklık artışı daha az olmaktadır. Parça şekillendirilirken, diğer tezgahların aksine aynı kalıp gravüründe birden fazla vuruş yapabilmeye olanağı sağlarlar.

Mekanik presler, çalışma prensibi olarak çekiç preslerinden farklıdır. Çekiç preslerine göre daha kısa vuruş mesafesine sahiptirler. Mekanik presler, kam, krank ve diğer rijit sistemler ile birbirine bağlı olarak çalışırlar.

2.1.4 Dövme Prosesinin Hammadde Kalitesine Göre Sınıflandırılması

Dövme prosesi şekillendirilen hammadde kalitesine göre iki ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki karbon ve alaşımlı çelikler diğeri ise alüminyum, titanyum, magnezyum gibi demir dışı metallerin dövme prosesidir.

En yaygın olarak kullanılan alaşımlı çeliklerin dövülmesidir ancak son yıllarda petrol kaynaklarındaki azalmalar sebebiyle elektrik ve hidrojen gibi alternatif yakıt kullanımına bağlı teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, demir dışı hafif metallerin dövme prosesleri gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır.

2.2 Dövme Kusurları

Dövme prosesi her ne kadar basit bir operasyon olarak gözükse de içerisinde birçok proses ve değişken barındırdığı için birçok kusur ve hataya sahip olabilmektedir. Bunlardan birçoğu gelişen teknoloji ile birlikte CAD, CAM ve sonsuz eleman analizlerinde engellenebilse de, dövme prosesinin doğası gereği halen birçok hata türü %100 olarak engellenememektedir.

Dövme prosesinde proses öncesi ve proses esnasında değişik hatalar söz konusudur.

Bunlar;

- Hammadde hataları,
- Hammadde kesim aşamasında çıkan hatalar,

- Malzeme ısıtma aşamasında çıkan hatalar,
- Dövme sırasında ortaya çıkan hatalar
- Kalıptan kaynaklanan hatalar,

olarak sıralanabilir.

Yukarıda belirtilen hata türlerini detaylandırdığımızda, dövme prosesinde meydana gelebilecek hata türleri aşağıdaki gibidir;

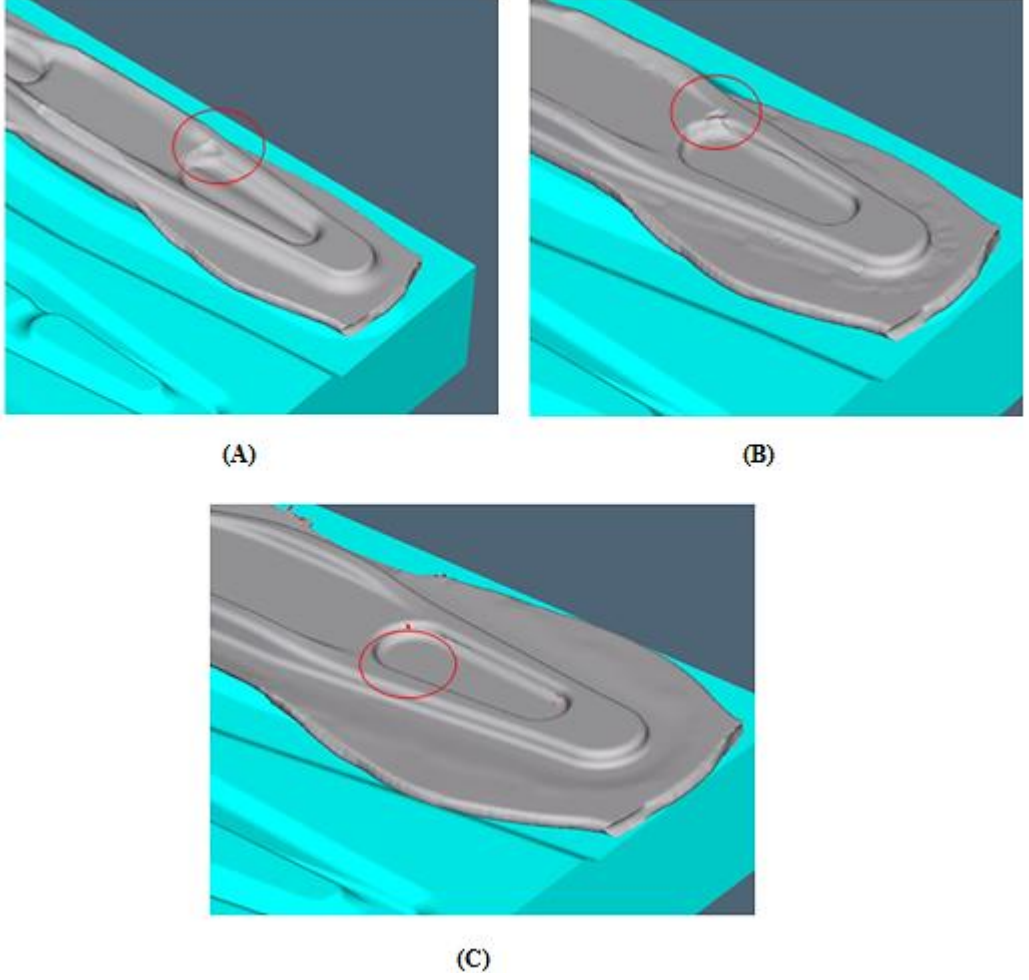
- Kalınlığın fazla olması,
- Kalınlığın düşük olması,
- Doldurmama,
- Tufal ve yüzey kalitesi,
- Sertlik,
- Tane büyümesi (malzeme yanması),
- Katmer,
- Çatlak,

Belirtilen tüm bu hata türleri ele alındığında, hem kontrol zorluğu açısından hem de emniyet (can güvenliği) taşıyan bölgelerde katmer ve çatlak hata türleri çok tehlike arz eden bir konudur. Bu çalışma kapsamında, paslanmaz çelik ve alüminyum alaşım gibi manyetik olmayan malzemelerden üretilmiş parçaların penetrant ile çatlak kontrolünün kamera yardımıyla otomatik olarak gerçekleştirilmesi üzerinde çalışılacaktır.

2.2.1 Katmer

Katmer dövme parçada iki ayrı hattın darbe sonucu bir araya gelip tek parça görünümü almasından meydana gelen ve istenmeyen bir durumdur. Kalıp hataları, kalıp dizaynı hatalarından dolayı oluşabileceği gibi dövme malzemesinin yanlış seçiminden ve malzemedeki önceden mevcut olan katmer hataları sonucu meydana gelebilir. Bunun için kullanılan malzemenin katmerli olmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca kalıp dizaynı yapılırken malzemenin rahat yürüyebileceği bir geometri seçilmelidir. Eğer dövme prosesi iki kademede gerçekleşiyorsa ön dövme prosesi ile son dövme kalıp gravürleri

uyumlu olmalıdır. Malzemede çatlak olması durumunda dövülen parçada hata katmermiş gibi görünse de aslında parça çatlak içerir.



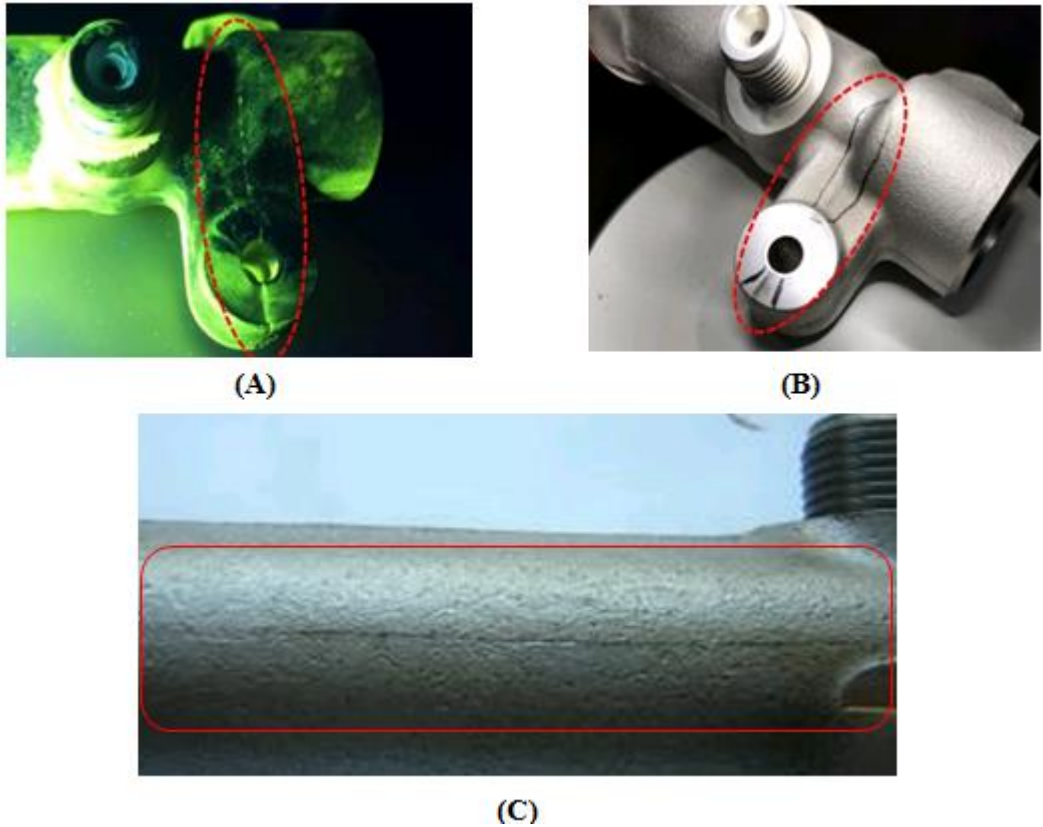
Şekil 2.3. Katmer oluşumu. A) Katmer oluşum başlangıcı B) Katmer oluşumu devamı C) Katmer oluşumu şekillendirme sonu

2.2.2 Çatlak

Çatlak dövme parçalarda oluşabilecek en tehlikeli problemlerden bir tanesidir. Özellikle gözle görülemeyen kılcal çatlaklar parçanın mukavemetini önemli ölçüde düşürürler. Emniyet (can güvenliği) taşıyan yerlerde kullanılan dövme parçalar, tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak %100 olarak kontrol edilmelidir.

Çatlak birçok sebepten dolayı meydana gelebilir. Bunlardan birincisi kullanılan malzeme içinde mevcut olan çatlaklardır. Bu çatlaklar kullanılacak olan hammaddenin ultrasonik

ve %100 çatlak kontrollü alınması ile önlenebilir. Çatlak ayrıca dövme sırasında da meydana gelebilir. Dövme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzemenin plastik şekil değiştirme kabiliyetinin düşük olması sebebiyle yapılan dövme işlemi, parçanın iç ya da dış yüzeyinde çatlaklara sebep olabilir. Ayrıca çok yüksek kuvvetler altındaki dövme işlemlerinde malzeme yeterince sıcak olsa dahi tek bir darbe anında aşırı şekil değiştirme meydana getiriyorsa, kılcal çatlamlar meydana gelebilir. Bunun için parçanın şekillendirilmesi sırasında presteki tonaj dağılımı ve vuruş kuvveti uygun olarak seçilmelidir. Dövülen sıcak parçanın ani soğutulması da çatlak oluşumu açısından tehlikeli durumlar oluşturabilir. Bu sebeple seçilen hammaddeye bağlı olarak parçanın soğuma ve sertleşme kabiliyetine göre uygun soğuma prosesi oluşturulmalıdır. Tüm bunların dışında, hammadde kesiminden kaynaklanan kesim hataları da çatlaklara sebep olabilir. Şekil 2.4’de oluşabilecek çatlak türlerine örnekler yer almaktadır.



Şekil 2.4. Çatlak parça örnekleri. A) Dövme kaynaklı çatlak B)Dövme kaynaklı çatlak C) Hammadde kaynaklı çatlak (hadde kusuru)

Yukarıda belirtilen katmer ve çatlak kusurlarından dolayı çelik alaşımları ve martenzitik paslanmaz çelikler kısaca manyetik parçalar MPI (Magnetic Particle Inspection) yöntemi ile %100 olarak hızlı ve kolayca kontrol edilebilmektedir. Ancak, östenitik paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımlarının (manyetik olmayan parçalar) tahribatsız muayene yöntemi oldukça zahmetli ve uzun sürmektedir. Bu çalışma ile birlikte, manyetik olmayan parçaların çatlak kontrollerinin daha hızlı, daha ekonomik ve daha efektif bir hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

2.3 Tahribatsız Muayene Yöntemleri ve Tarihçesi

Kritik bileşenlerde malzemeye zarar verecek karakterdeki yüzey ve iç süreksizliklerin tespiti çeşitli tahribatsız muayene yöntemlerinin yardımı ile yapılabilmektedir. Bu yöntemleri başlıca; sıvı penetrant, manyetik parçacık, girdap akımları (eddy current), radyografi, ultrasonik kontrol, titreşim analizi ve akustik emisyon olarak saymak mümkündür. Tahribatsız muayene yöntemlerinin bazıları çok eskiden beri kullanılmakta olup, bazı yöntemler ise çok yakın bir geçmişte kullanılmaya başlanmıştır.

X-ışınları 1895’de W.K. Rontgen tarafından keşfedilmiş ve 1930’da Amerikan Deniz Kuvvetleri Donanmasındaki gemilerin buhar kazanlarının kaynak dikişleri X-ışınları testi ile kontrol edilmiştir. Ultrasonik test ilk olarak 1931 yılında kullanılmış fakat değeri ancak 1945’den sonra anlaşılmıştır. Akustik emisyon testi, stres ve kuvvet altında büyüyen süreksizliklerin ve çatlakların yaydığı enerjinin dedekte edilmesine ve analizine dayanmakta olup, tahribatsız muayene alanında yeni bir yöntemdir.

Tahribatsız muayene yöntemi genel olarak, test edilecek yapının veya bileşenin cinsine, şekline ve aranan hataların tiplerine göre seçilmektedir. Her yöntemin bir diğerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Ancak hiçbir yöntem için tek başına, en iyisi demek doğru değildir.

Aşağıda en çok kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden MPI (Magnetic Particle Inspection) ve sıvı penetrant çatlak kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

2.3.1 MPI (Magnetic Particle Inspection)

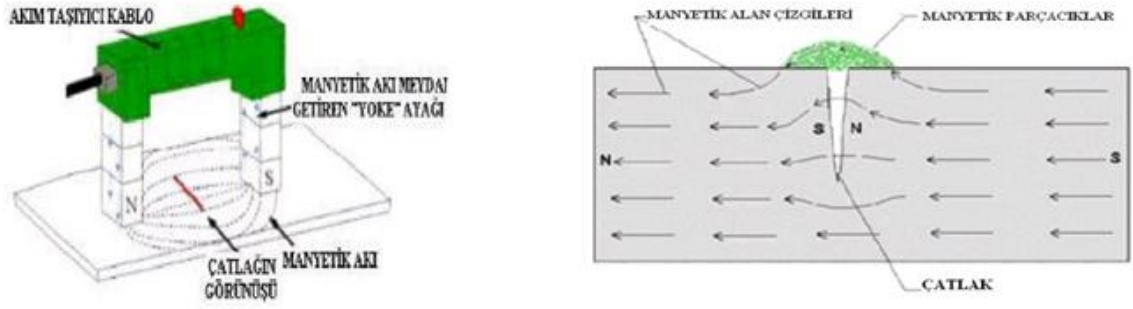
Bu yöntem ferromanyetik malzemelerdeki yüzey ve yüzeyaltı (yüzeyin en fazla 2 mm altı) süreksizliklerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Bunun için malzemeye bir manyetik alan ve süreksizlik üzerinde oluşan kaçak alana (akıya) karşı duyarlı, manyetik toz (kuru veya yaş) uygulamak gerekir. Toz veya sıvı, parça yüzeyinde kaçak akı tarafından tutularak görünür ve belirtiler haline getirilir. Şekil 2.3’de kontrol yönteminin şematize edilmiş hali mevcuttur. Şekil 2.4’te MPI yöntemi ile tespit edilen çatlak parça örnekleri görülmektedir.

Avantajları;

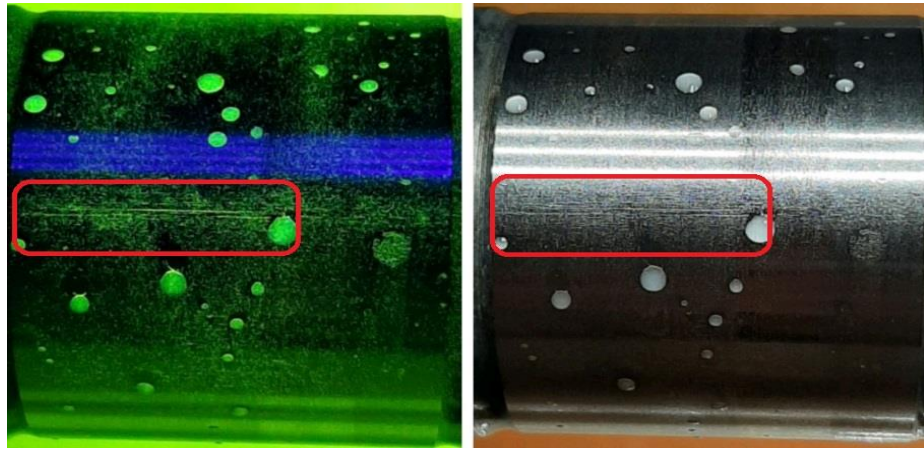
- Ferromanyetik malzemelerdeki ince ve sığ yüzeysel çatlakların tespit edilmesi için en iyi yöntemdir,
- Hızlı ve nispeten basit bir yöntemdir,
- Genelde ucuz bir yöntemdir,
- İnce boya tabakaları bulunması durumunda da uygulanabilir (boya kalınlığı max.50 μm),
- Test parçasının boyutu ve şekli bakımından kısıtlaması çok azdır,
- Portatif bir yöntemdir.

Dezavantajları;

- Malzeme ferromanyetik olmalıdır,
- Manyetik alanın yönü ve şiddeti hata tespitinde çok önemlidir,
- Sadece yüzey ve yüzeyaltı süreksizliklerini tespit eder,
- Bazen yüksek akım gerekebilir ve bu durumda test parçası yanabilir,
- Test parçası demanyetize edilmesi gerektiğinde bu zor olabilir



Şekil 2.5. MPI yönteminin şematize görüntüsü (Kılıç 2019)



Şekil 2.6. MPI yöntemi ile çatlak tespit edilmiş parça

2.3.2 Sıvı Penetrant Yöntemi

Bu yöntem manyetik olmayan malzemelerin ve gözeneksiz malzemelerin yüzey süreksizliklerini tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Penetrant (girici boya) temiz bir yüzeye uygulandığında, yüzey süreksizliklerinin içine kapiler etki ile nüfuz eder. Yeterli bir nüfuziyet süresinden sonra penetrantın fazlası yüzeyden temizlenir. Yüzey süreksizliklerine girmiş olan penetrant, bir emici (developer) yardımı ile yüzeye geri çekilir ve parça yüzeyinde görünür bir belirti oluşturulur.

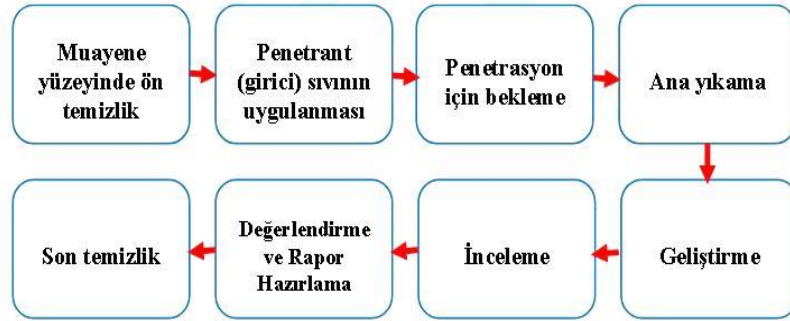
Avantajları;

- Nispeten ucuz bir yöntemdir,
- Portatif bir yöntemdir,
- İnce ve bitişik (4 mikro inç'e kadar) süreksizliklere çok duyarlıdır,
- Uygulaması basit bir yöntemdir,

- Çok türde malzemeye uygulanabilir,
- Yüzey süreksizliklerinin yönlenmesine bakmaksızın bir işlemle tespit edilebilir,

Dezavantajları;

- Test yüzeyi bütün kirliliklerden (kir, yağ, boya, pas, vs..) arındırılmış olmalıdır,
- Sadece yüzeye açık süreksizlikler tespit edilebilir,
- Gözenekli malzemelerde kullanılmaz ve çok pürüzlü yüzeylerde kullanılması zordur,
- Test işleminden sonra malzeme yüzeyinin genelde temizlenmesi gereklidir.



Şekil 2.7. Penetrant uygulama işleminin şematize gösterimi (Kılıç 2019)



(A)



(B)

Şekil 2.8. Penetrant yöntemi ile tespit edilen süreksizlikler. A) Dövme parçada tespit edilen süreksizlikler B) darbe sonrası kılcal çatlaklar oluşan parça (Fatmanur Yiğit ve ark. 2021).

2.3.3 Sıvı Penetrant Yöntemi Kaynak Araştırmaları

Tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan sıvı penetrant yönteminin önemi son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. İlk olarak, havacılık ve uzay sanayiinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise petrol rezervlerinin azalması ile birlikte, alternatif yakıt türlerinden olan hidrojen ve elektrik teknolojisi gelişmeye devam etmektedir. Otomobillerin elektrikli hale gelmesi ile birlikte, otomobillerde ağırlık azaltma çalışmaları önem kazanmıştır. Ağırlık azaltma çalışmalarının en önemli basamağı, çelik parçalar yerine alüminyum alaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte hidrojen yakıtının kullanılmasıyla ilgili çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Hidrojen yakıtının, çelik alaşımlarını korozyona uğratması sebebiyle, çelik alaşımları yerine ostenitik paslanmaz çelikler kullanılmaya başlanmıştır.

Otomotiv endüstrisinin ürün grubu yelpazesinin havacılık sektörüne oranla çok fazla ve üretim adetlerinin yüksek olması sebebiyle kurulacak olan tahribatsız muayene sisteminin tüm ürün gruplarını kontrol edebilecek esneklikte ve hızlı olması beklenmektedir.

G. Meneghetti ve arkadaşları (2017), 4 mm kalınlığında sıcak haddelenmiş AISI 304L paslanmaz çelik numunelerinden oluşturulan çatlak büyüme verilerini, özgül ısı ve ısı enerjisi ile yakalama üzerine çalışmalarını gerçekleştirdiler. B. Oswald ve arkadaşları (2018), manyetik ve manyetik olmayan malzemelerin termography yöntemiyle çatlak kontrolün gerçekleştirilebildiğini tespit etti. J. Yang ve arkadaşları (2019), çelik bir sacın üzerini termal olarak uyarmak için yatay bir ısı iletimi yöntemi araştırarak (bobin yardımı ile parçanın ısıtılması), sıcaklık farklarını termal görüntüleme yöntemiyle belirleyerek, çatlak tespiti üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında, otomotiv endüstrisindeki ürün yelpazesinin genişliği ile birlikte, özellikle parça ısıtma ve görüntüleme problemleri sebebiyle, parçanın ısıtılarak ve termal kamera yardımıyla çatlak kontrolün pek uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bunun yerine, sıvı penetrant yönteminin otomotize hale getirilip, kontrol işleminin kamera yardımıyla operatör insiyatifinden çıkarılması otomotiv endüstrisi için daha uygulanabilir olarak değerlendirilmektedir.

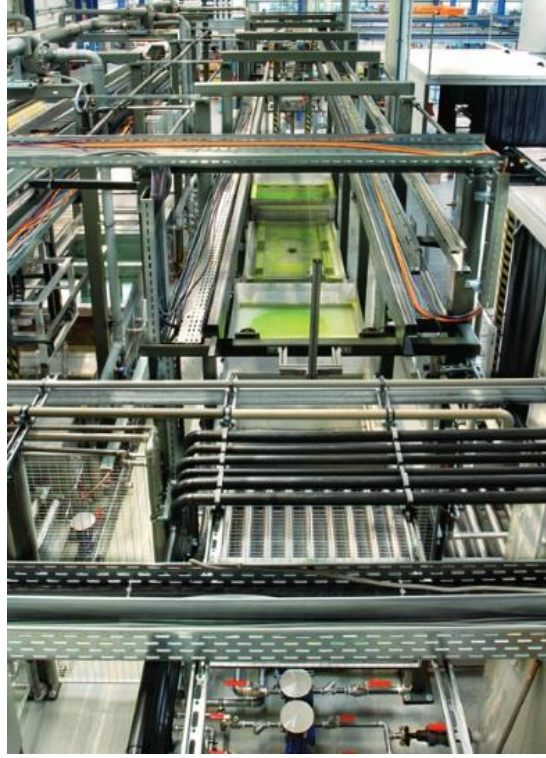
Tahribatsız muayene yöntemlerinden olan sıvı penetrant muayenesi de gözle muayene yöntemi gibi yüzeysel hata ve süreksizliklerin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak, sıvı penetrant muayene yöntemi ile malzemelerin içyapısındaki kusurlar tespit

edilememektedir (Kılıç,2019). Parida ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, penetrant muayenesinin temel prensibinin, yüzey gerilimi ve kılcal hareketin birleşik etkisiyle incelenecek temiz bir yüzeye penetrant uygulayıp, bir geliştirici (developer) tozunun etkisiyle ortaya çıkan kusurun içine sızması olduğu belirtilmiştir. Penetrant sıvı kontrolünde penetrant ve test parça ısısı 16 °C-52 °C limitleri arasında olmalıdır (Kafalı,2004). Bu muayene yönteminin etkinliği, kullanılan materyellerin boyutuna, parlaklığına ve kontrastına bağlıdır (Kalinichenko et al.,2019; Omelic ve Hrman, 2006). Bu yöntemin avantajlarından biri, diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetli olmasıdır. Sıvı penetrant muayenesi metaller, manyetik olmayan malzemeler, cam, plastikler ve yanmış seramikler gibi gözeneksiz ve oldukça pürüzsüz malzemelerde hataların ve süreksizliklerin tespit edilmesinde başarıyla kullanılabilir (Taheri et al., 2019). Sıvı penetrant yönteminde, yüzeyin pürüzsüz olması büyük önem arz etmektedir. Eğer malzeme yüzeyi pürüzlü ise sıvı penetrantın uygulaması oldukça zorlaşır ve hatalı sonuçlar almamıza neden olur (Migoun ve Delenkovsky, 2008). Bu hatalı sonuçlar, yüzey pürüzlülüğüne sahip bir test yüzeyinden penetrantın bazı kalıntı parçalarının yüzey mikro kusurlarının içinde kalması ve rahatsız edici bir arka plan oluşturması olgusundan kaynaklanır (Migoun ve Delenkovsky, 2008). Bu yöntemde öncelikle test edilecek malzemenin yüzeyi, uygun bir solvent ile temizlenir. Temizleme işlemi bittikten sonra malzemenin üzerine sıvı penetrant uygulanır. Sıvı penetrant uygulandıktan sonra belli bir süre (5-30 dakika) beklenir. Bu bekleme süresi içinde, penetrant malzeme üzerindeki çatlaklara nüfus eder. Bu bekleme süresinden sonra uygun bir şekilde, malzeme üzerindeki fazla penetrant temizlenir. Temizleme işlemi yapılırken, malzemedeki çukurlara nüfuz eden penetrantın kaldırılmasına dikkat edilir. Malzeme üzerindeki fazla penetrant uzaklaştırıldıktan sonra, malzeme üzerine bir geliştirici (spray) püskürtülür. Geliştiricinin uygulanmasından sonra bir süre beklemek gerekmektedir. Bu bekleme süresinden sonra da malzeme üzerine püskürtülen developer beyaz bir tabaka oluşturur ve malzemenin çatlak bölgelerine nüfuz eden penetrant yüzeye çıkar. Böylece malzeme yüzeyindeki hata ve süreksizlikler kırmızı bir renkte görülmeye başlar (Manikandan et al., 2020). Bu işlemlerden sonra da test edilen malzemenin görsel kontrolü yapılır ve elde edilen bulgular not edilir (Suhaila et al., 2014).

Sıvı penetrant yöntemi uçak komponentler ve malzemeleri üzerinde de oldukça etkilidir. Guirong ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, sıvı penetrant testinin helikopter ve uçak

bileşenleri için etkili bir tahribatsız muayene yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Taşınabilir penetrant malzemeler, fırça veya silme uygulaması için küçük kaplarda ‘Aerosol sprey kutularında’ mevcuttur (Stancu ve arkadaşları, 2011). Bu aerosol kutu ile uçağın yapısında monte edilmiş parçalar üzerinde penetrant testi yapılabilmektedir (Stancu ve arkadaşları, 2011). Sezgin ve arkadaşları (2017), çalışmalarında uçakların üretiminde ve bakımında yüksek güvenilirlik sağlamak için yaygın olarak sıvı penetrant testinin kullanıldığını ve bu yöntemin, esneklik ve kullanım kolaylığı gibi avantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Duarte ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, ‘Portekiz hava kuvvetleri’nde tahribatsız yöntemler ile arıza analizinin uçuş güvenliğine nasıl katkıda bulunduğuna dair araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, filodaki 6 uçağın tamamını floresan sıvı penetrant muayene yöntemi ile incelemişler ve 24 esnek noktanın tamamında 70mm uzunluğa ulaşan çatlaklar olduğunu tespit etmişlerdir. Cevahir Tarhan ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği çalışmalarda ultrasonik kontrol, görsel kontrol ve sıvı penetrant yöntemi karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ultrasonik kontrol prosesine, kontrol edilen parçanın geometrik şeklinin çok fazla etkisinin olmadığı, maliyet açısından ucuz bir yöntem olmasının yanı sıra çok fazla operatör tecrübesine gerek duyulmadığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, sıvı penetrant kontrolünün görsel kontrol ve ultrasonik kontrole göre, 20-30dk daha geç sonuçlandığı tespit edilmiştir.

T.Vetterlein ve arkadaşları (2005) havacılık sektöründe tahribatsız muayene yöntemlerinin daha önemli hale gelmesiyle birlikte gerçekleştirdikleri çalışmada otomatik sıvı penetrant sistemi geliştirdiler. Bu yöntemle daha fazla ve daha basit şekilde parçaların test edilebileceğini tespit ettiler. Kurdukları sistem 5 tanktan oluşmaktadır. Bunlar, emülsifikasyon, yıkama, kurutma, geliştirme (developer uygulama) ve muayene istasyonlarıdır. Şekil 2.7’de uçak parçaları için kurdukları otomatik sıvı penetrant test sistemi gösterilmektedir. Kurdukları proses 3 bağımsız hattan oluşur ve aynı anda 15 parça taşıma ve kontrol etme kapasitesine sahiptir. Şekil 2.8’de parçanın çıkarıldığı penetrant tankını göstermektedir.



Şekil 2.9. Otomatik Sıvı Penetrant Hattı (T.Vetterlein ve ark 2005)



Şekil 2.10. Penetrant tank (T.Vetterlein ve ark 2005).

Fatma Nur Yiğit ve arkadaşları (2021) havacılık sektörünün her geçen gün büyümesiyle birlikte ortaya çıkan ekonomik ve tahribatsız muayene yöntemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada, uçak kanat parçalarının sıvı penetrant yöntemi ile muayenesini araştırdılar. Sıvı penetrant muayene yöntemini uyguladıklarını uçak kanadı üzerinde Şekil 2.9’da görüleceği üzere derin ve düzensiz çizikler tespit ettiler.



Şekil 2.11. Çizik Hasarı (Fatmanur Yiğit ve ark. 2021)

3. MATERYEL ve YÖNTEM

Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen bilgiler ışığında görüleceği üzere havacılık ve otomotiv sektörünün her geçen gün gelişmesiyle birlikte manyetik olmayan parça ihtiyacı artmaktadır. Manyetik olmayan malzemelerin hızlı, ekonomik ve emniyetli bir şekilde tahribatsız muayenesi her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeden üretilecek ventil ve rail iş parçasının kalıp tasarımı, simülasyon çalışmaları, dövme operasyonu ve kamera yardımıyla sıvı penetrant kontrolü ile çatlak kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Yapılacak olan çalışmalar aşağıdaki sıra ile gerçekleştirilmiştir:

- Kalıp tasarım çalışmaları,
- Simülasyon çalışmaları,
- Dövme prosesi,
- Sıvı penetrant uygulama işlemleri,
- Sıvı penetrant uygulanmış iş parçasının kamera ile çatlak kontrolü,
- Otomatik hat tasarımının gerçekleştirilmesi.

Özellikle alüminyum dövme prosesinde, kalıba parça yapışmasını engellemek için dövme model ve kalıp tasarımı çok fazla önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra uygun dövme sıcaklığı, uygun dövme tezgahı ve uygun kalıp ayırıcı yağ kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, dövme prosesi sonrası yapılacak olan sıvı penetrant çatlak kontrolünün başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için uygun ölçülerde kumlama bilyeleri kullanılması gerekmektedir.

3.1 Kalıp Tasarım Çalışmaları

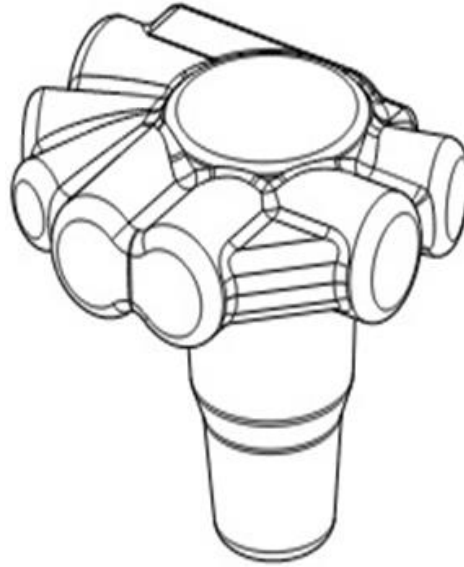
3.1.1 Hammadde ve Dövme Yöntemi ile Üretilen Parçaların Belirlenmesi

Bu çalışmada manyetik olmayan 6082 kalite alüminyum ve 304L paslanmaz çelik hammadde olarak seçilmiştir. Bu kapsamda 6082 kalite alüminyumdan Ventil ve 304L

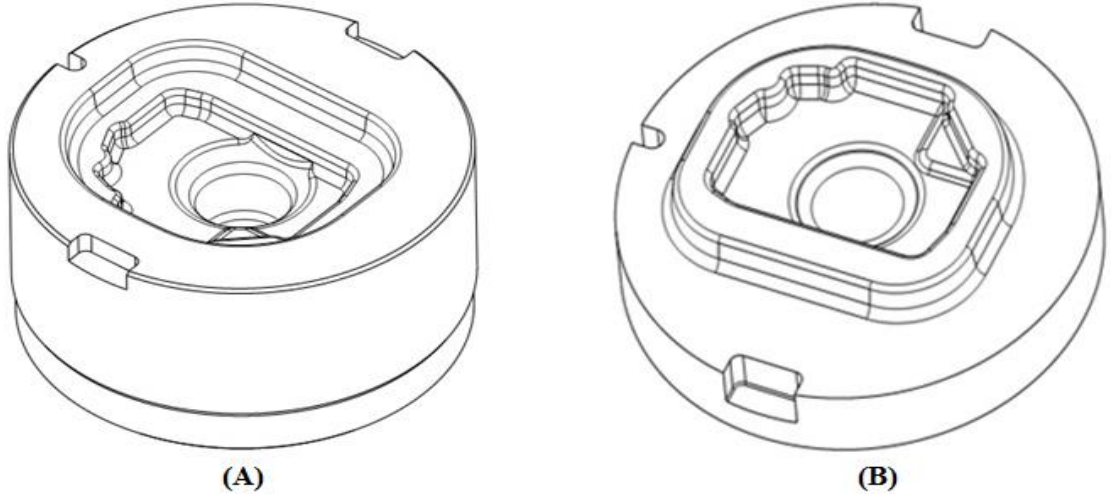
paslanmaz çelikten Common rail parçalarının dövülerek üretilmesi planlanmıştır. Dövme yöntemi ile üretilcek parçaların kalıp tasarım süreçleri ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

3.1.2 Alüminyum Ventil Kalıp Tasarım Çalışmaları

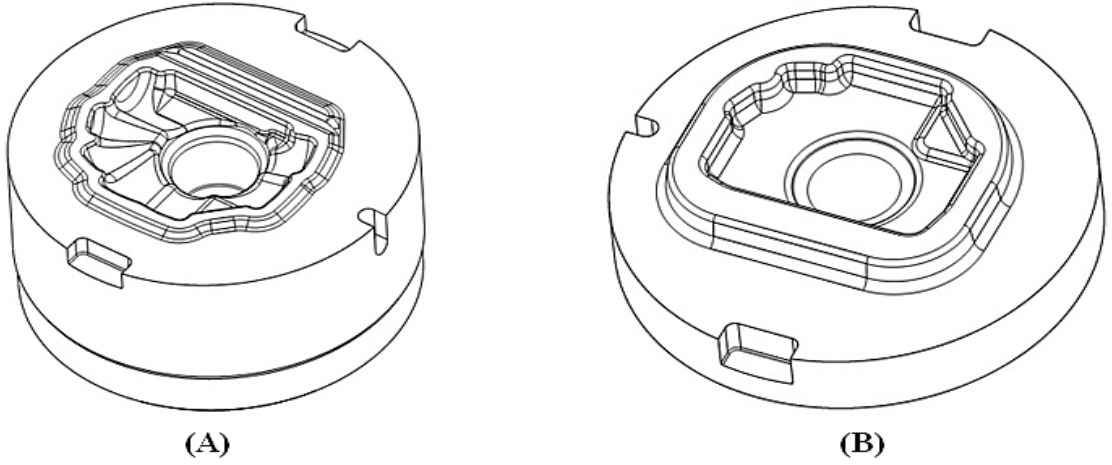
Yapılacak olan çalışma için ilk olarak, CAD (Catia) programı kullanılarak parçaya ait dövme modelinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımda, parçanın kalıptan rahat çıkabilmesi için kalıp çıkma açıları, çapak hattı geçişleri ve kalıp radüsleri dövme prosesine uygun hale getirilmiştir. Şekil 1’de parçaya ait dövme modeli gösterilmektedir. Yapılan dövme modeli tasarımında, parça net ağırlığı 1280 gr olarak tespit edilmiştir. Yapılan kesit analizinde ise Ø58 mm hammaddenin uygun olacağı belirlenmiştir. Oluşturulan dövme modeli sonrasında, parçanın tek operasyonda şekillendirileceği düşünülüp, sadece son dövme kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir ancak simülasyon çalışmaları sonrasında, parçanın tam olarak doldurup nihai şeklini alabilmesi için ön dövme kalıbına da ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiş olup sonrasında ön dövme kalıp tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 ve şekil.3.3’de dövme kalıp görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Alüminyum Ventil dövme modeli



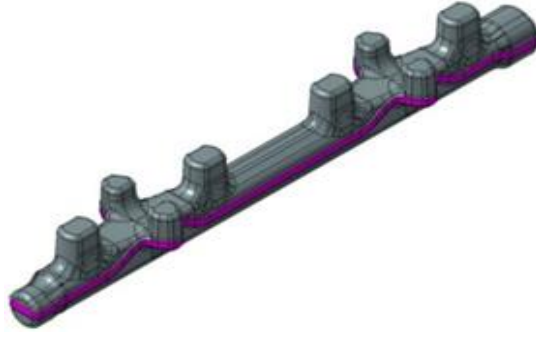
Şekil 3.2. Alüminyum Ventil ön dövme kalıpları. A) alt ön dövme kalıbı B) üst ön dövme kalıbı



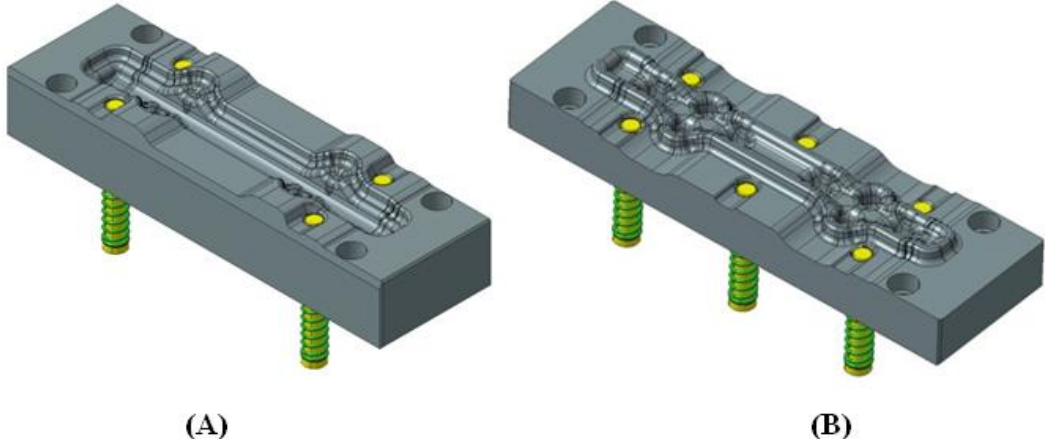
Şekil 3.3. Alüminyum ventil son dövme kalıpları. A) son dövme alt kalıbı B) son dövme üst kalıbı

3.1.3 Common Rail Kalıp Tasarım Çalışmaları

Yapılacak olan çalışma için ilk olarak, CAD (Catia) programı kullanılarak parçaya ait dövme modelinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarımda, parçanın kalıptan rahat çıkabilmesi için kalıp çıkma açıları, çapak hattı geçişleri ve kalıp radüsleri dövme prosesine uygun hale getirilmiştir. Şekil 4’de parçaya ait dövme modeli gösterilmektedir. Dövme prosesi olarak, ön dövme ve son dövme olarak iki operasyonda gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen dövme kalıpları Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Common rail dövme modeli



Şekil 3.5. Common Rail dövme kalıpları. A) Alt dövme kalıbı B) Üst dövme kalıbı

3.2 Simülasyon Çalışmaları

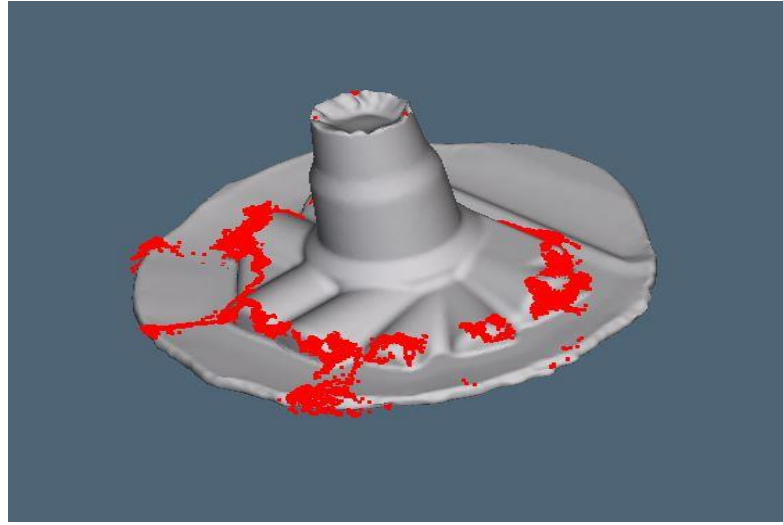
3.2.1 Alüminyum Ventil Simülasyon Çalışmaları

Simülasyon çalışmalarında Simufact Forming 2021 programı kullanılmıştır. Simülasyon parametreleri olarak, dövme modeli ve kalıp tasarımı aşamasında belirlenen verilerle birlikte, daha yapılan çalışmalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Simülasyon çalışmasında kullanılan veriler aşağıdaki gibidir;

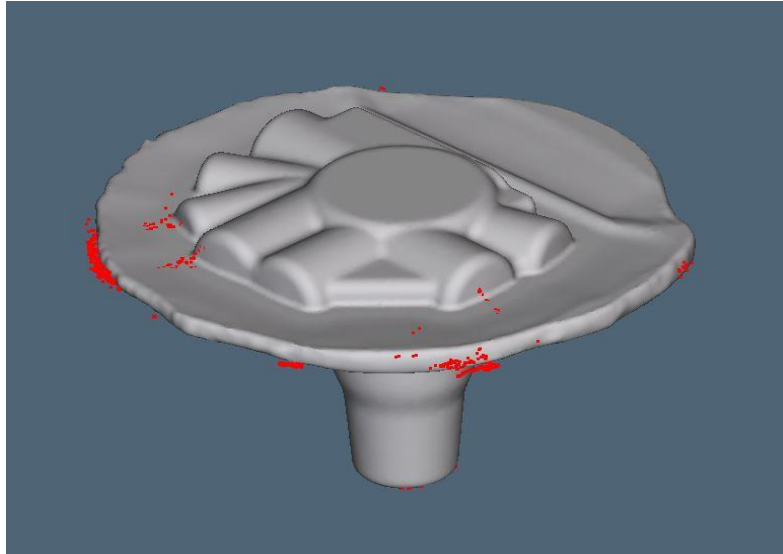
- Parça net ağırlığı: 1280 gr
- Hammadde Kalitesi: 6082 Alüminyum
- Parça Brüt Ağırlığı: 1450 gr/1550 gr/1650 gr (3 farklı deneme)
- Hammadde Kesiti: Ø58 mm
- Tezgah: Maxi 2500 ton

- Hammadde Sıcaklığı: 430 °C
- Kalıp Sıcaklığı: 180 °C

Simülasyon çalışmaları, ilk olarak direk son dövme operasyonu ile 1450 gr,1550 gr ve 1650 gr 6082 kalite alüminyum hammaddesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tamamlanan simülasyon çalışmalarında parçanın gravüründe kat hatası ve doldurmama problemleri tespit edilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’de doldurmamış ve kat hatalı parçalar gösterilmiştir.

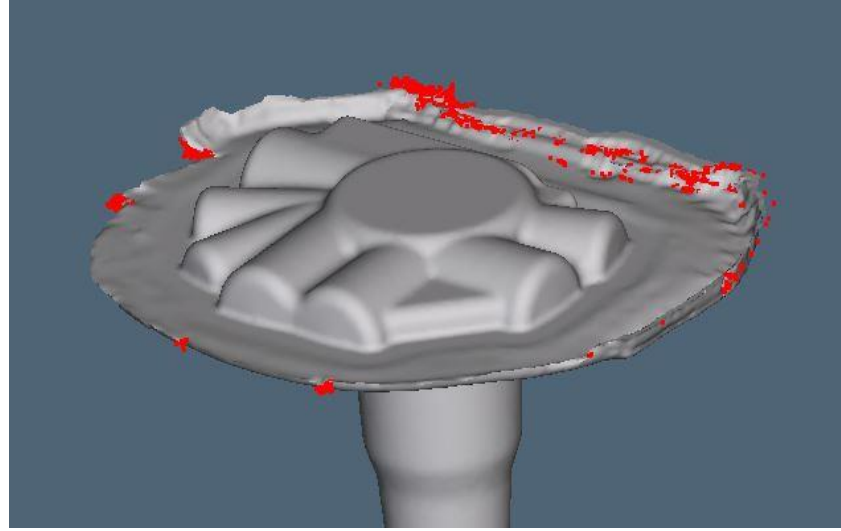


Şekil 3.6. Direk son dövme ile üretilmiş kat ve doldurmama hatalı parça

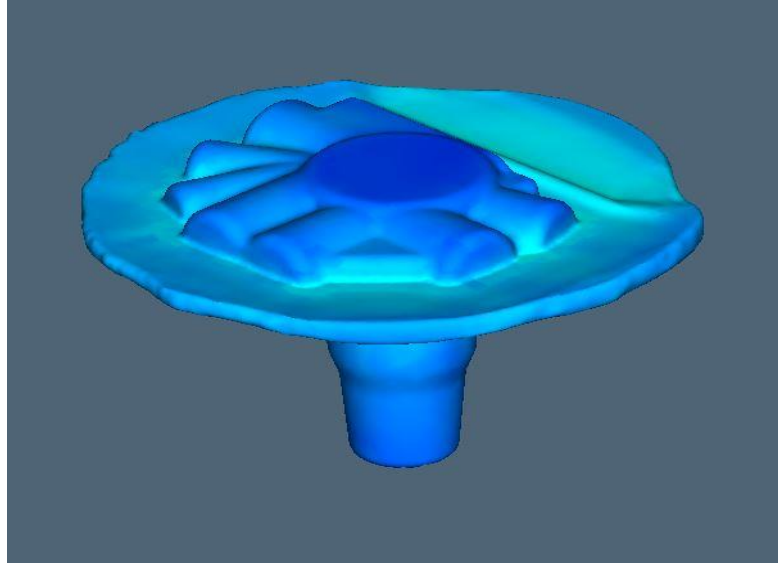


Şekil 3.7. Direk son dövme ile üretilmiş kat ve doldurmama hatalı parça

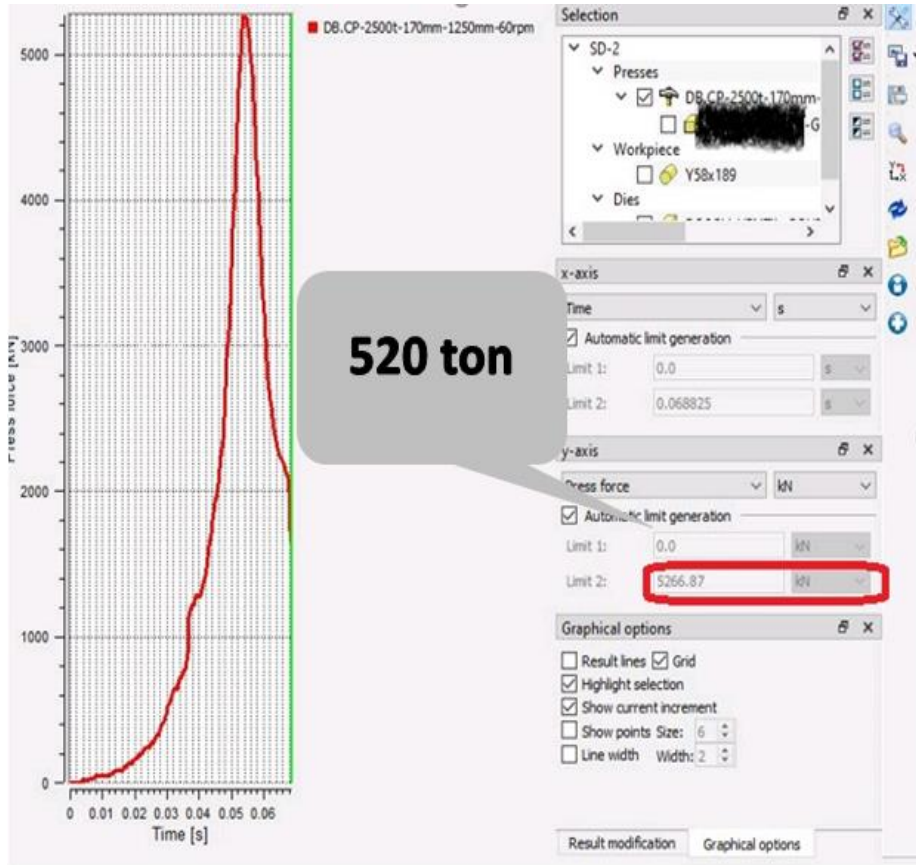
Doldurmama ve kat hatalarını engellemek amacıyla ön dövme kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yine 1450 gr, 1550 gr ve 1650 gr 6082 kalite alüminyum hammaddeler ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 1450 gr, 1550 gr ve 1650 gr 6082 kalite alüminyum hammaddesi ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında kat hatasının ortadan kalktığı gözlenmiştir. 1450gr hammadde kullanılarak üretilen parçanın şaft kısmında az da olsa dolduramam probleminin devam ettiği gözlemlenmiştir. 1550 gr ve 1650 gr 6082 kalite alüminyum hammadde kullanılarak üretilen parçalarda herhangi bir dövme kusuruna rastlanmamıştır. Bununla birlikte parçayı şekillendirmek için gerekli olan kuvvet grafiği incelendiğinde, parçayı şekillendirmek için 500 tonluk bir kuvvetin yeterli olacağı tespit edilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9’da doldurmuş ve herhangi bir kat hatası olmayan parçalar gösterilmiştir. Bununla birlikte parçanın şekillendirilebilmesi için gerekli olan kuvvet grafiği Şekil 10’da gösterilmiştir. Ayrıca, çizelge 4.1’de yapılan tüm simülasyon çalışmalarına ait veriler gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Herhangi bir dövme kusuru bulunmayan Alüminyum Ventil parçası



Şekil 3.9. Herhangi bir dövme kusuru bulunmayan parça Alüminyum Ventil parçası



Şekil 3.10. Şekillendirme için gerekli kuvvet (tonaj)

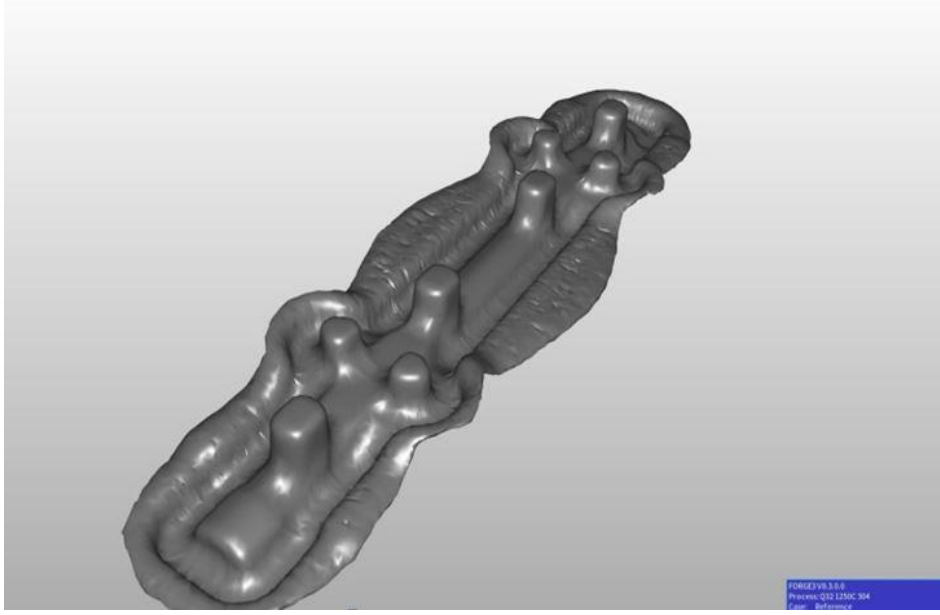
Çizelge 3.1. Simülasyon denemelerine ait genel veriler

Simülasyon Denemeleri						
Simülasyon Adı	Hammadde	Hammadde Sıcaklığı C	Kesit(Ø)	Brüt Ağırlık (gr)	Operasyon	Sonuç
Simülasyon-1	6082 Alüminyum	430	Ø58	1450	S.D	Doldurmadı
Simülasyon-2	6082 Alüminyum	430	Ø58	1550	S.D	Doldurmadı
Simülasyon-3	6082 Alüminyum	430	Ø58	1650	S.D	Doldurmadı
Simülasyon-4	6082 Alüminyum	430	Ø58	1450	Ezme+Ö.D+S.D	Doldurmadı
Simülasyon-5	6082 Alüminyum	430	Ø58	1650	Ezme+Ö.D+S.D	Doldurdu
Simülasyon-6	6082 Alüminyum	430	Ø58	1550	Ezme+Ö.D+S.D	Doldurdu

Simülasyon çalışmalarının tamamlanmasının ardından tasarım gözden geçirme çalışmalarından sonra kalıp imalat çalışmalarına başlanmıştır. Kalıplar 3 eksen CNC tezgahta işlenmiştir. CAM programı olarak Powermill kullanılmıştır. Kalıp hammadde kalitesi 1.2343 olarak seçilmiş olup, kalıplar 46-48 HRC'ye sertleştirilmiştir.

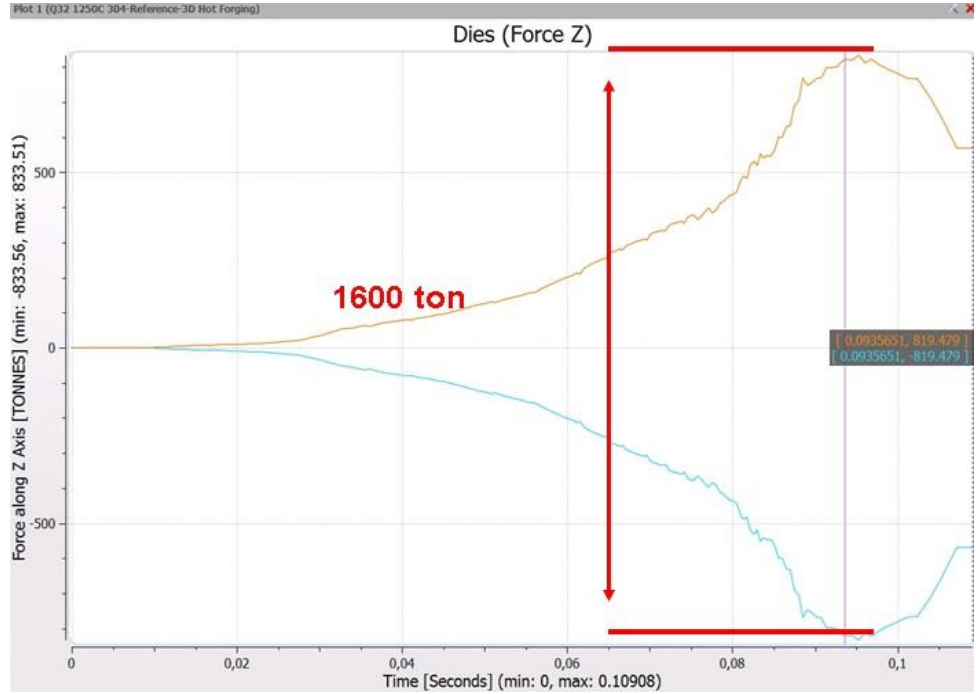
3.2.2 304L Paslanmaz Çelik Common Rail Simülasyon Çalışmaları

Simülasyon çalışmalarında FORGE simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon parametreleri olarak, dövme modeli ve kalıp tasarımı aşamasında belirlenen, literatür araştırmalarından elde edilen kalıp sıcaklığı, hammadde sıcaklığı ve şekillendirmek için gerekli kuvvete göre pres seçimi bilgileri kullanılmıştır. Simülasyon sonrası, parçaya ait görsel Şekil 11'te gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Common Rail simülasyon sonucu görüntüsü

Yapılan simülasyon çalışması sonucunda, parçayı şekillendirmek için gerekli olan tonaj 1600 ton olarak tespit edilmiştir. Simülasyon programından elde edilen grafik Şekil 12’te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Şekillendirme için gerekli kuvvet (tonaj)

3.3 Dövmeye Denemeleri

Simülasyon çalışmalarında kullanılan kalıpların imalatları tamamlandıktan sonra simülasyon çalışmalarını doğrulamak adına benzer şartlarda dövme operasyonu gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2’de görüleceği üzere 1450 gr, 1550 gr ve 1650 gr ağırlığındaki 6082 kalite alüminyum hammaddesi 450-480 °C arasına ısıtıldıktan sonra, sırayla ezme, ön dövme ve son dövme operasyonları ile şekillendirilmiştir. Üretim belirlendiği üzere 2500 tonluk tezgahta gerçekleştirilmiştir. Parçanın şekillendirilmesi için pres gücünün %20’si kullanılmıştır. 1450 gr ile üretilen parçanın simülasyonda olduğu gibi doldurmadığı gözlemlenmiştir. 1550 gr ve 1650 gr 6082 kalite alüminyum hammadde ile üretilen parçaların simülasyonda olduğu gibi doldurduğu gözlemlenmiştir. Üretilen parçalara ait fotoğraflar Şekil 13 ve Şekil 14’de gösterilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.2’de yapılan dövme üretimi denemelerine ait veriler mevcuttur.

Çizelge 3.2. Dövmeye üretime ait genel veriler

Dövmeye Denemeleri								
Deneme Adı	Hammadde	Hammadde Sıcaklığı C	Tezgah	Pres Gücü	Kesit(Ø)	Brüt Ağırlık (gr)	Operasyon	Sonuç
Deneme-1	6082 Alüminyum	450-480	M2500	20%	Ø58	1450	Ezme+Ö.D+S.D	Doldurmadı
Deneme-2	6082 Alüminyum	450-480	M2500	20%	Ø58	1550	Ezme+Ö.D+S.D	Doldurdu
Deneme-3	6082 Alüminyum	450-480	M2500	20%	Ø58	1650	Ezme+Ö.D+S.D	Doldurdu



Şekil 3.13. Üretilen uygun Alüminyum Ventil parçası



Şekil 3.14. Üretilen uygun Alüminyum Ventil parçası

3.4 Sıvı Penetrant Uygulama İşlemleri

Dövme üretimleri tamamlanan 6082 kalite alüminyum ventil parçası ve 304L paslanmaz çelik common rail parçalarına kumlama işlemi uygulandıktan sonra, BT68 penetrant sıvısı manuel olarak uygulanmıştır. Penetrant işlemi uygulanan parçalar Şekil 15 ve Şekil 16’da gösterilmektedir. Penetrant sıvısı uygulanan parçalar 15-30 dk bekletildikten sonra BT69 ile yüzey temizliği sağlanmıştır. BT69 ile yüzey temizliği gerçekleştirildikten sonra parçalar hava yardımı ile kurutulmuştur. Temizleme ve kurutma işleminin ardından, parça yüzeylerine yine manuel olarak BT70 geliştirici uygulanmıştır. Geliştirici uygulanan parçalara ait fotoğraflar Şekil 17’de gösterilmiştir



Şekil 3.15. Penetrant uygulanmış common rail parçası



(A)



(B)

Şekil 3.16. Penetrant uygulanmış ventil parçası. A) Parçanın üstten görünüşü B) Parçanın alttan görünüşü



(A)



(B)

Şekil 3.17. Geliştirici uygulanmış parçalar. A) Ventil parçası B) Common rail parçası

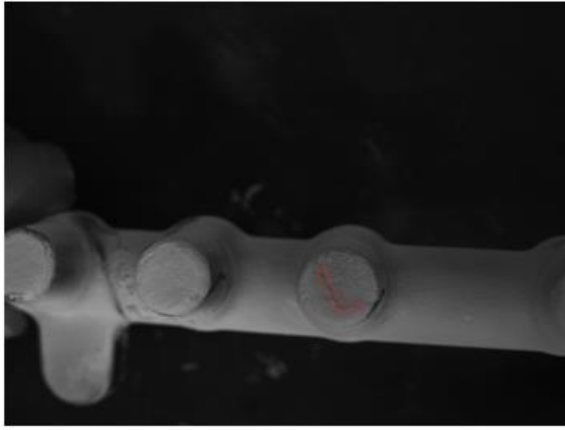
3.5 Kamera Yardımıyla Çatlak Kontrol Denemeleri

Sırasıyla penetrant, temizleme sıvısı ve geliştirici uygulanan parçaların kamera yardımıyla çatlak kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Kamera olarak Basler ace acA2500-

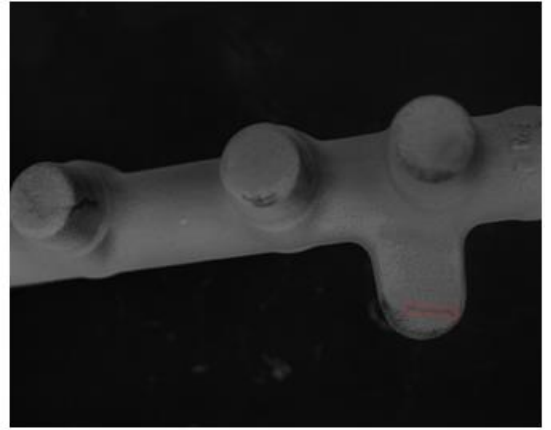
60µm kamera kullanılmıştır. Kullanılan kamera saniyede 60 fotoğraf çekme kabiliyetine sahiptir. Kullanılan kamera Şekil 18’de gösterilmiştir. Kamera ile çatlak tespitinin yapılabilmesi için MVTec HALCON görüntü işleme programı kullanılmıştır. Dövme parçalarda oluşan çatlak tipleri genel olarak çizgisel olarak olduğundan, kullanılan program içinde gömülü olarak bulunan ‘lines gauss’ metodu kullanılarak yazılım gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu çizgi dedektörü, görüntüdeki her bir piksel için görüntüyü tanımlayan bir polinomun parametrelerini belirlemek için bir Gauss çekirdeğinin standart sapması, görüntüye uygulanacak yumuşatma miktarını belirler. Daha büyük miktarda düzleştirme, daha az algılanan çizgiyle sonuçlanır, ancak aynı zamanda çizgilerin daha kötü lokalizasyonuna da neden olur. Polinomun parametreleri, görüntü düzlemindeki çizginin yönünü hesaplamak için kullanılır. Bu yöntem kullanılarak tespit edilen common rail parçalarına ait çatlak görüntüleri, Şekil 19 ve 3.20’de gösterilmiştir. Ayrıca, kamera yardımıyla çatlak kontrol işlemine tabi tutulan parçalarla ilgili deney tablosu çizelge 3.3’de gösterilmiştir. Çizelgede de görüleceği üzere alüminyum kalite hammaddeden üretilen ventil parçaları ile 304L paslanmaz çelikten üretilen common rail parçaları ayrı ayrı incelenmiştir. İlk olarak Şekil 21’te gösterilen alüminyum 6082 kalite alüminyum malzemeden üretilen Ventil parçalarına çatlak kontrol işlemi uygulanmış olup, kamera yardımıyla otomatik olarak tespit edilen çatlaklar incelenmiştir. Daha sonra common rail parçalarına kamera ile çatlak kontrol yapılmış, olup oluşan çatlaklar incelenmiştir. Tüm tespit edilen çatlaklar incelendiğinde ventil parçasının gravür bölgesinde çatlak tespit edilememiş ancak ince çapak olarak tabir edilen bölgesinde çatlaklar otomatik olarak tespit edilmiştir. Common rail parçalarının braket, şaft ve bos olarak tabir edilen bölgelerinde çatlaklar otomatik olarak kamera yardımıyla tespit edilmiştir. Çatlaklar incelendiğinde, hammadde üretiminden kaynaklı hadde izlerinin, parçanın yüzeyinde kılcal çatlaklar oluşturduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kamera tarafından çatlak tespit edilemeyen parçalar göz ile muayene edilmiş olup, kameranın tespit ettiği sonuçlar doğrulanmıştır. Çatlak olarak tespit edilemeyen parçalar Şekil 22’te gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Kamera

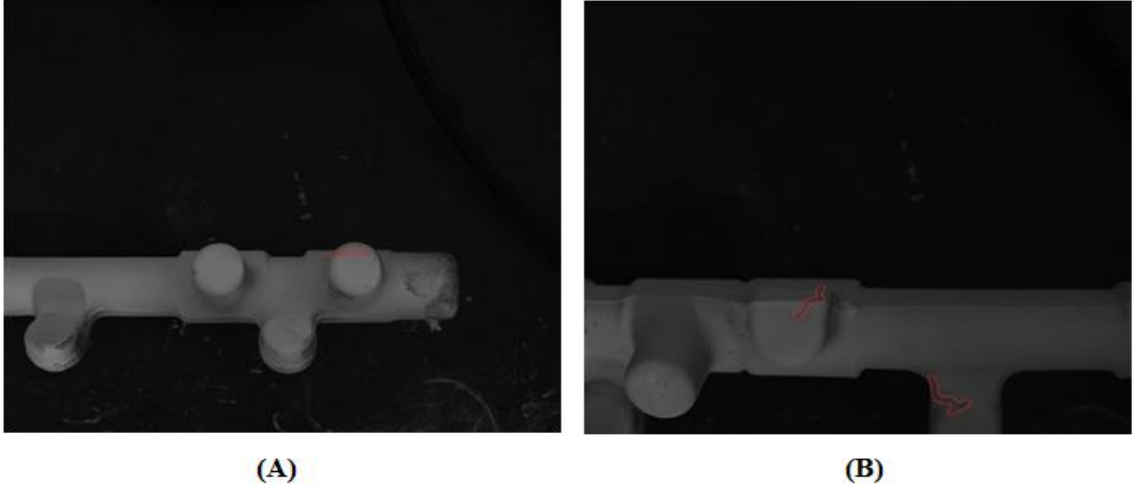


(A)

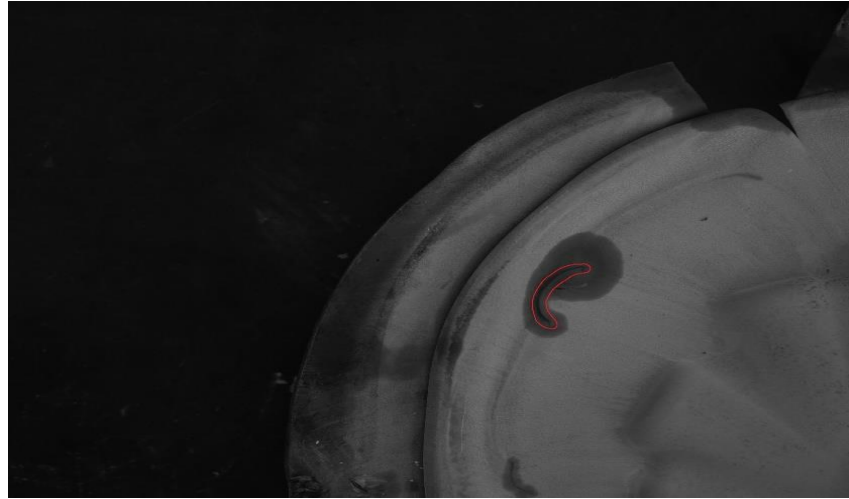


(B)

Şekil 3.19. Çatlak tespit edilen common rail parçası. A) Bos bölgesi B) Kulak bölgesi



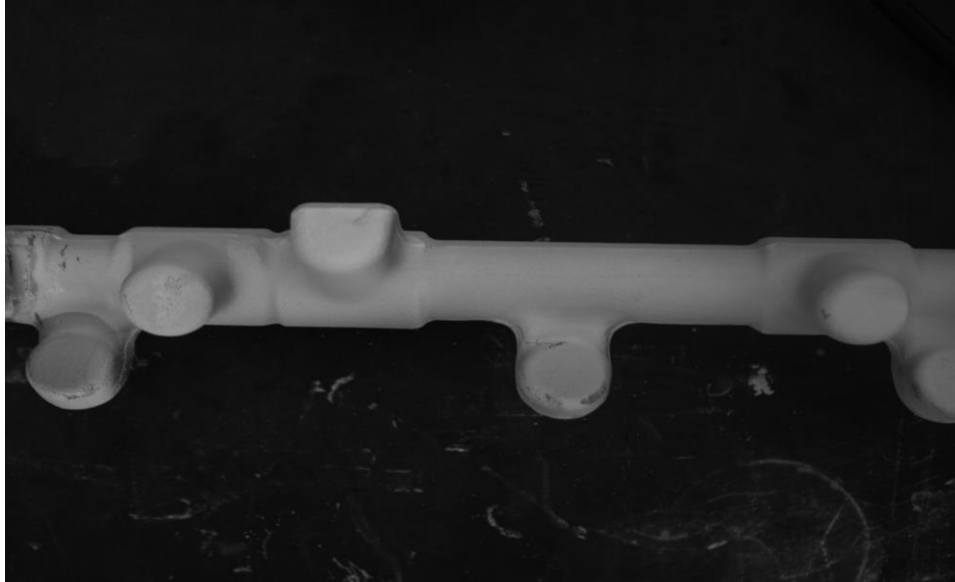
Şekil 3.20. Çatlak tespit edilen common rail parçası. A) Bos bölgesi B) Kulak bölgeleri



Şekil 3.21. Çatlak tespit edilen ventil parçası

Çizelge 3.3. Deney tablosu

PARÇA ADI	NUMUNE NUMARASI	ÜRETİM TARİHİ	DÖVME SICAKLIĞI	HAMMADDE KALİTESİ	ÇATLAK (✓/ X)
Ventil	1	02.03.2022	450-480 °C	6082 Alüminyum	✓
Ventil	2	02.03.2022	450-480 °C	6082 Alüminyum	✓
Ventil	3	02.03.2022	450-480 °C	6082 Alüminyum	✓
Ventil	4	02.03.2022	450-480 °C	6082 Alüminyum	□
Ventil	5	02.03.2022	450-480 °C	6082 Alüminyum	□
Common Rail	6	28.02.2022	1000 °C	304 L Paslanmaz	✓
Common Rail	7	28.02.2022	1000 °C	304 L Paslanmaz	✓
Common Rail	8	28.02.2022	1000 °C	304 L Paslanmaz	✓
Common Rail	9	28.02.2022	1000 °C	304 L Paslanmaz	
Common Rail	10	28.02.2022	1000 °C	304 L Paslanmaz	✓



Şekil 3.22. Çatlak tespit edilemeyen common rail parçası

3.6 Kontrol Sistemi için Ara yüz Oluşturma

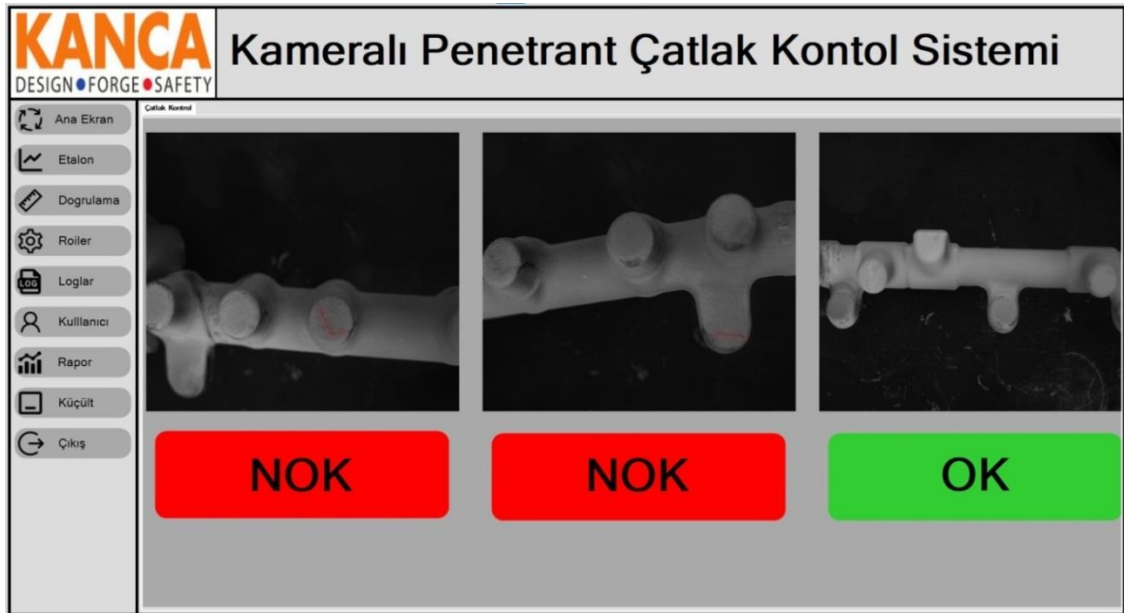
Otomotiv kalite yönetim sisteminin gerekliliği olarak, çatlak kontrolü gerçekleştirilen parçaların, kontrol verilerinin ve sonuçlarının dökümante edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, sistemin doğru çalıştığının kontrolünü sağlamak amacıyla belli periyotlar ile doğrulama operasyonu eklenmelidir. Bu isterleri sağlayabilmek adına, operatör kullanım

kolaylığı da düşünülerek bir ara yüz programı geliştirilmiştir. Ara yüz programına ait görsel Şekil 23'te gösterilmiştir.

Doğrulama işleminin sağlıklı yapılabilmesi amacıyla, daha önce çatlak tespiti gerçekleştirilmiş ve onaylanmış iki parça etalon ve/veya doğrulama parçası olarak belirlenmiştir. Operatörün vardiya başında ve sonunda doğrulama yapılabilmesi için, ara yüz programına ilave kod yazılmıştır. Vardiya başı ve sonunda program otomatik olarak, doğrulama parçası ölçümü talep edecek, doğrulama gerçekleştirilmeden, seri ölçüme devam etmeyecektir. Bununla birlikte, belirlenen periyot dışı doğrulama ve etalon tanımlama işlemleri için ara yüz ekranına, operatörün kolaylıkla gerçekleştirebileceği butonlar eklenmiştir.

Çatlak kontrol sürecinden sorumlu personeller, kullanıcı alanından tanımlanabilmektedir. Kontrol edilen parçalar ve sorumlu personele ait veriler server üzerinde otomatik olarak kayıt altına alınmaktadır. Bu kayıtlar, ara yüz programında bulunan rapor butonu ile görülebilmekte ve istenildiğinde çıktı olarak alınabilmektedir. Bu sayede hem sistem verimliliği takip ve dökümanite edilebilmekte, hem de kalite yönetim sistemi gereklilikleri yerine getirilmektedir.

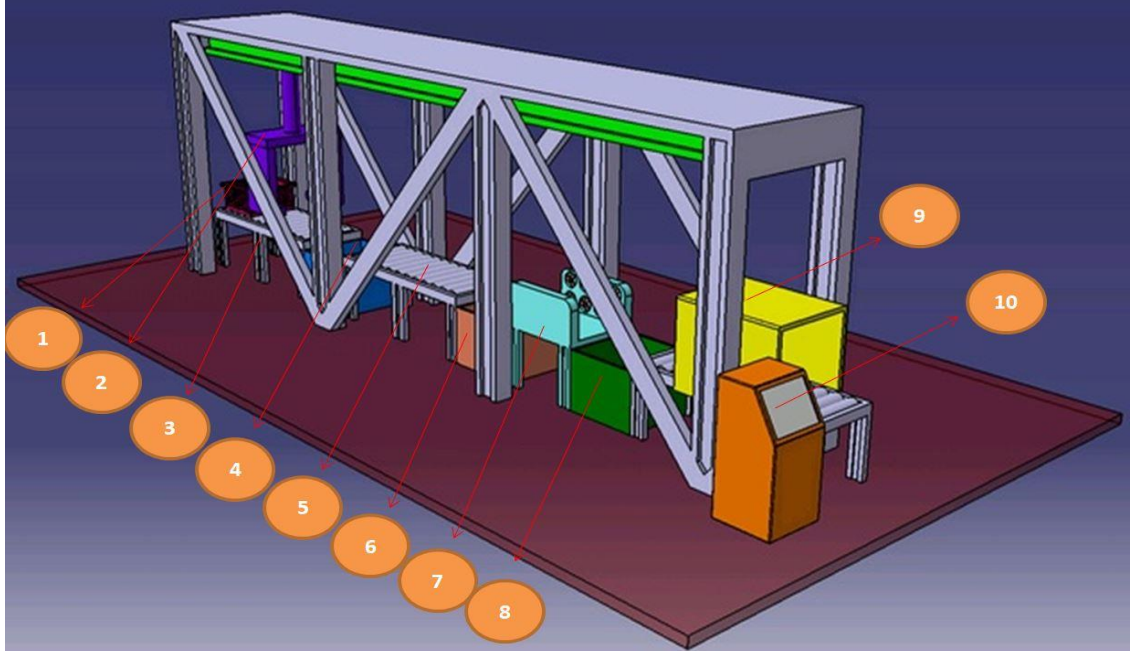
Oluşturulan kameralı penetrant çatlak kontrol sistemi ara yüzü, imalatı yapılacak olan, seri üretim hattında bulunan PLC ekranında kullanılacaktır.



Şekil 3.23. Çatlak kontrol ara yüz programı

3.7 Hat Tasarımının Gerçekleştirilmesi

Yapılan tüm çalışmalar ve deneyler ışığında, seri üretime uygun olacak şekilde bir hat tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hat tasarıma ait görsel Şekil 4.X'te gösterilmiştir. Hat tasarımı yapılırken Catia V5, CAD dizayn programı kullanılmıştır.



Şekil 3.24. Hat tasarımı

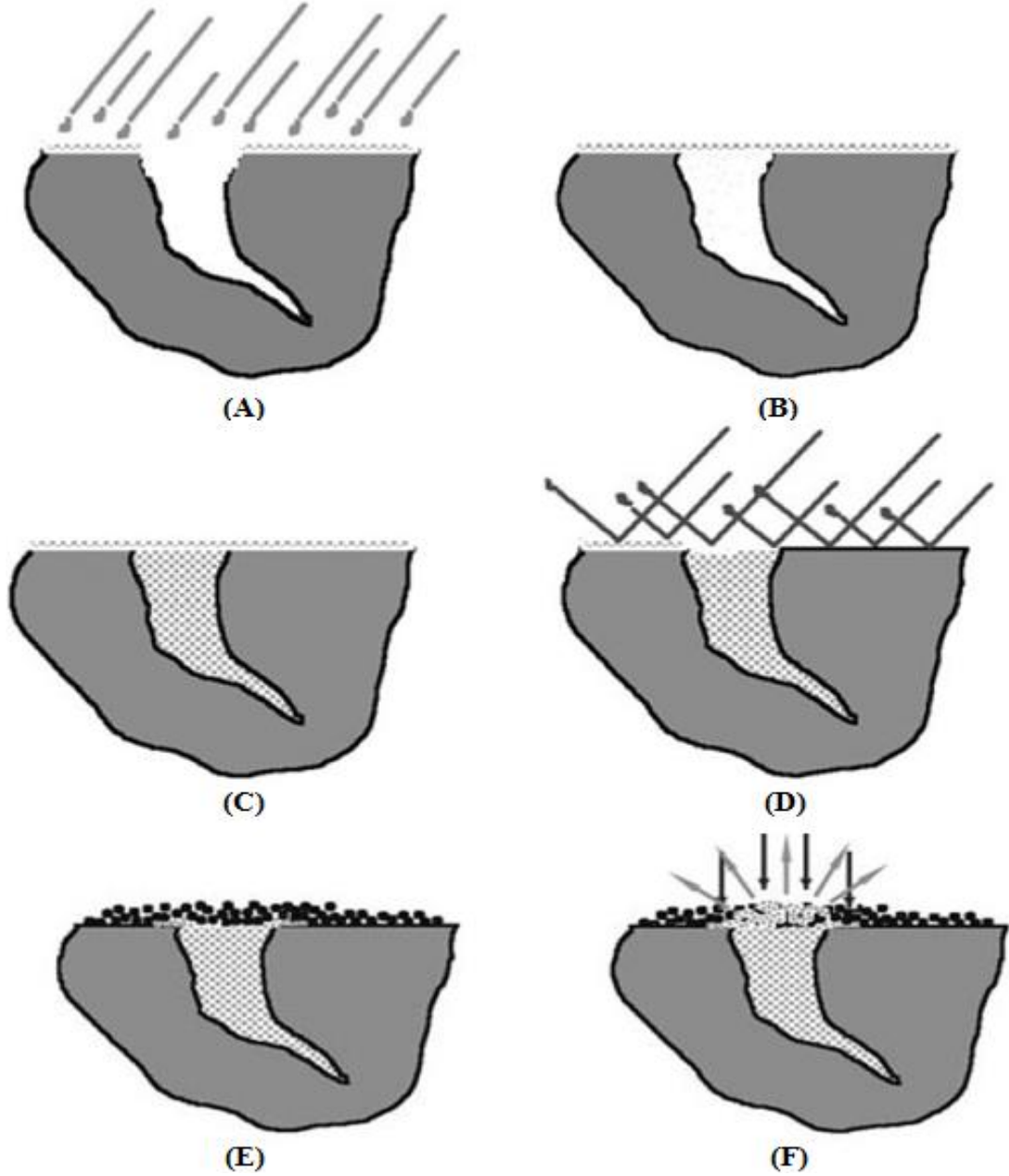
Hat tasarımına ait görselde numaralı olarak işaretli bölgeler ile ilgili bilgiler aşağıdaki gibidir;

- 1 Numara ile gösterilen bölge, parça taşıma sepetidir. Parçaları, gösterilen sepet yardımıyla operasyonun son adımına kadar taşınmaktadır. Sepet dizaynı, konveyör ve sıvı tank boyutlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.
- 2 Numara ile gösterilen bölge, parça taşıma sepetinin penetrant, temizleyici ve geliştirici tanklarına daldırılıp, çıkarılması için kullanılan hem X hemde Z ekseninde hareket kabiliyetine sahip bir taşıma sistemidir.
- 3 Numara ile gösterilen bölge, parça taşıma sepetinin penetrant işlemi prosesine geçişte kullanılan rulo tipi bir konveyörü temsil etmektedir.

- 4 Numara ile gösterilen bölge, penetrant sıvı tankıdır. Konveyör yardımı ile tankın önüne kadar getirilen sepet, caraskal tipi taşıma sistemi yardımıyla, tankın içerisine daldırılıp, çıkartılmaktadır.
- 5 Numara ile gösterilen bölge, penetrant işlemi sonrası parçaların, penetrantın emiliminin bekleneceği taşıma konveyörüdür. Penetrant işlemi uygulanan parçalar, bu konveyör üzerinde, penetrant sıvısının emilmesini tanımlanan süre kadar beklerken, hat diğer parçaların kontrol işlemine devam etmektedir.
- 6 Numara ile gösterilen bölge, yüzey temizleme sıvısının uygulandığı bölgedir. Bu bölgede, tank içerisinde bulunan yüzey temizleme sıvısı içerisine parçalar caraskal tipi taşıma sistemi vasıtasıyla daldırılıp, çıkartılır.
- 7 Numara ile gösterilen bölge, parçaların yüzey temizleme işlemi sonrası kurutulması işlemidir. Parçalar, caraskal tipi taşıma sistemi yardımıyla bir sonraki operasyon olan geliştirici uygulama adımına götürülürken kurutma işlemine tabi tutulur. Bu bölgede bulunan fanlar yardımı ile parça taşınırken hem penetrant sıvısından arındırılıp, hem de yüzeyleri temizlenmektedir.
- 8 Numara ile gösterilen bölge, geliştirici (developer) uygulama bölgesidir. Parçalar, caraskal tipi taşıyıcı vasıtasıyla, geliştirici tankına daldırılıp çıkarılır.
- 9 Numara ile gösterilen bölge, kamera ile çatlak kontrol bölgesidir. Geliştirici işlemi uygulanmış parçalar, bu bölgede çift kamera yardımıyla görüntüleri alınarak çatlak tespiti gerçekleştirilir. Daha sonra, rulo tipi konveyör yardımıyla hat sonuna kadar taşınmaktadır.
- 10 Numara ile gösterilen bölge, PLC kontrol ünitesidir. Yapılan çatlak kontrol deneme programlarının ve oluşturan ara yüz programının seri üretimde kullanıldığı alandır. İlgili personel, hat ile ilgili tüm verileri buradan takip ve müdahale edebilir.

Şekil 24'te gösterildiği sıralama ile parçalar bir sepet üzerinde seri kontrol hattına görmektedir. İlk olarak parçalar bir konveyör yardımı ile, penetrant uygulama tankına taşınır, burada caraskal tipi taşıma sistemi ile parçalar tank içerisine daldırılıp, çıkartılır. Literatür çalışmalarından ve yapılan denemelerden tespit edildiği üzere parçalar bir sonraki konveyör üzerinde 15-30dk arasında bekletilir. Bekleme prosesinden sonra, parçalar, caraskal yardımı ile temizleme sıvısının içerisine daldırılır, bir sonraki operasyon olan geliştirici (developer) uygulama tankına taşınırken fanlar yardımı ile kuvvetli hava

uygulanarak, parça yüzeyleri hem temizlenir hemde kurutulur. Son olarak, parçalar yine caraskal tipi taşıyıcı yardımı ile, geliştirici (developer) sıvısının içerisine daldırılır. Bu proses ile birlikte uygulama adımları sona ermiş, kontrol adımlarına geçilmektedir. Daha sonra, parçalar konveyör ile taşınırken, çift kamera yardımıyla, çatlak görüntüleri alınarak, çatlak tespitleri gerçekleştirilir.



Şekil 3.25. Çatlak kontrol proses sıralaması. A) Penetrant uygulama B) Emilim bekleme süresi başlangıcı C) Emilim bekleme süresi sonu D) Yüzey temizleme E) Geliştirici uygulama F) Çatlak kontrol (T.Vetterlein ve ark 2005)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Dövme Prosesinin Yorumlanması

Alüminyum 6082 ve 304L kalite paslanmaz çelikten parçalar sıcak dövme işlemine tabi tutularak üretilmiştir. Üretim öncesi, kalıp tasarımı ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar kaplamında kalıp tasarım, simülasyon ve üretim parametrelerinin çelik alaşımlarına göre çok farklı olduğu tespit edilmiştir. Kalıp ve model tasarımlarında, parçanın kalıba yapışmaması için, kalıp açılarının, çelik alaşımlarına göre farklı olarak tasarlanması gerektiği ve aynı zamanda kalıba verilen çekme paylarının üretim yapılacak hammadde özelliklerine göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Simülasyon çalışmaları ışığında, parçaların çektiği tonaj hesaplanmış olup, çelik alaşımlarına göre çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. Alüminyum alaşımları ile çelik alaşımlarının şekillendirilmesi için gerekli tonaj arasında minimum 2 kat fark oluşmaktadır. Alüminyum parçaları şekillendirmek için gerekli kuvvet, çelik alaşımlarını şekillendirmek için gerekli tonajın yarısı kadardır. Paslanmaz çelik alaşımları ile çelik alaşımları karşılaştırıldığında ise tam tersi bir durum söz konusudur.

Ayrıca, hammaddeyi ısıtmak için kullanılan fırın parametreleri incelendiğinde, alüminyum hammaddesini ısıtmak için gereken enerji, çelik alaşımlarını ısıtmak için gereken enerjinin yaklaşık 3 katıdır.

Paslanmaz çelik dövme prosesinde, hammadde, çelik alaşımlarına göre min. 200°C daha soğuk olarak ısıtıldığı için, parçayı şekillendirmek için gerekli tonaj artmakta ve aynı zamanda kalıp üzerine gelen kuvvet artmaktadır. Bu sebeple, özellikle paslanmaz çelik üretimi yapılan kalıpların ömürlerinin, çelik alaşımlarının şekillendirildiği kalıplara oranla yarı yarıya düşük olacağı öngörülmektedir.

4.2 Çatlak Kontrol Prosesinin Yorumlanması

Manyetik olmayan alüminyum ve östenitik paslanmaz çeliklerin çatlak kontrolü tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan penetrant yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Dövme prosesi ile üretilen ventil ve common rail parçalarına, penetrant işlemi uygulandıktan sonra, deney prosedüründeki sıra ile kamera ile görüntüleri alınmıştır. Alınan bu görüntüler MVTEC HALCON görüntü işleme merkezinde 'gauss lineer' metodu ile incelenmiştir. Kullanılan bu program yardımıyla, çatlak tespitinin kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

Programın tespit ettiği çatlak ve çatlak olmayan parçalar manuel olarak kontrol edilmiş olup, programın oldukça başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Tespit edilen çatlakların hepsi derin olmayan, hammadde hadde izi kaynaklı kılcal çatlaklardır.

4.3 Hat Tasarımının Yorumlanması

Yapılan deneyler ve literatür çalışmalarından çıkan sonuçlar ışığında Catia V5, CAD programı kullanılarak hat tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan hatta, penetrant, temizleme ve geliştirici uygulama proseslerinin yanı sıra kamera ile kontrol ve çatlak tespitinin yapılması otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Çatlak olarak tespit edilen parçalar, operatör tarafından red ve/veya yeniden işlem alanına alınmaktadır. Ayrıca, hat içerisine ilave edilen PLC kontrol ünitesi, operatörün kullanım kolaylığını sağlamakta olup, vardiya başlarında ve sonlarında otomatik olarak doğrulama yapılmasını zorunlu kılan program ile çalışmaktadır. Kurulan bu hat sistemi ile, hem operatör sayısı azaltılmış olup, hem de kontrol prosesi operatör insiyatifinden çıkarılmıştır. Ayrıca ara yüze eklenen, hızlı rapor butonu ile, sisteme kaydedilen (dökümante edilen) veriler istenilen türe ve özelliklere göre sınıflandırılarak, çıktı alınabilmekte, excel ve/veya pdf olarak kaydedilebilmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, manyetik olmayan 6082 kalite alüminyum ve 304L kalite ostenitik paslanmaz çeliklerin tasarım, simülasyon, dövme üretimi ve kontrol sistemiği incelenmiştir. Yapılan deneyler ve çalışmalar ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda sırası ile gösterilmiştir;

- 6082 Alüminyum kalite hammadde ile dövme olarak, krank tipi preste ventil parçası üretilmiştir. 6082 kalite alüminyum, 450-480°C arasında ısıtılmıştır. Hammaddeyi ısıtma için gerekli enerji 2,23 kWh/kg olduğu tespit edilmiştir. Bu değer, çelik alaşımlarını ısıtmak için gerekli enerjinin yaklaşık 3 katıdır. 1650 gr'lık 6082 kalite alüminyum kalite parçayı şekillendirmek için gerekli pres kuvveti 520 ton olarak hesaplanmıştır. Gerçekte tespit edilen değer ile simülasyon değerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.
- 304L kalite paslanmaz çelik ile dövme olarak, krank tipi preste common rail parçası üretilmiştir. Parça 1000°C'de şekillendirilmiştir. Üretim parametreleri, çelik alaşımları ile karşılaştırıldığında, şekillendirmek için yaklaşık iki kat kuvvet gerektiği tespit edilmiştir.
- Üretilen ventil ve commol rail parçalarına sırası ile penetrant, temizleyici ve geliştirici uygulanmıştır. Penetrant uygulama sonrası, penetrantın emilmesi için 15-30 dk arası beklemenin yeterli olduğu tespit edilmiştir. Bu bekleme süresi sonrasında, sırası ile uygulanan temizleyici ve geliştirici operasyonlar sonrasında göz ile manuel olarak tespit edilen çatlakların görüntüleri Basler marka kamera yardımıyla alınmıştır.
- Çatlak görüntüleri, lisanslı MVTEC HALCON görüntü işleme merkezinin 'gauss liner' metodu ile incelenmiştir. Çatlak görüntülerinin tespiti ile ilgili yazılımda minör değişiklikler yapıldıktan sonra, çatlakların sağlıklı bir şekilde tespiti sağlanmıştır. Derinliği 0,5mm'nin altında olan kılcal

çatlak olarak tabir edilen, hammaddenin haddeleme operasyonundan kaynaklı çatlakların dahi tespit edilebilirliği sağlanmıştır. Kontrolün tek bir ekrandan otomatik olarak, sağlanabilmesi için, ara yüz programı geliştirilmiştir.

- Elde edilen veriler ışığında, manyetik olmayan malzemelerin çatlak kontrolünün otomatik olarak gerçekleştirilmesi için, hat tasarımı Catia V5, CAD programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan hat, penetrant, temizleme ve geliştirici uygulama proseslerinin yanı sıra kamera ile çatlak kontrol prosesini içermektedir. Yapılan olan tasarım değerlendirildiğinde, manyetik olmayan malzemelerin çatlak kontrolünün, tek bir hat ile otomatik olarak gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Duarte, D., Marado, B., Nogueira, J., Serrano, B., Infante, V., & Moleiro, F. (2016). An overview on how failure analysis contribute to flight safety in the Portuguese Air Force. *Elsevier*.
- Ghidoni, S., Antonello, M., Nanni, L., & Menegatti, E. (2015). A thermographic visual inspection system for crack detection in metal parts exploiting a robotic workcell. *Elsevier*.
- Jun, J., Kim, J., & Lee, J. (2011). A Hand Held Magnetic Camera System for Real Time Crack Inspection. *IEEE*.
- Kafalı, H. (2004). Nondestructive testing of Dandwich Composites. Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi.
- Kılıç, O. (2019). Marmaray Demiryolu Hattında Ray Kusurlarının Ultrasonik Yöntemle İncelenmesi ve Ray Kusurlarının hattın Hangi Kısımlarında Yoğunlaştığının Tespiti. *Tez*. İstanbul, İstanbul, Türkiye: Marmara Üniversitesi.
- Meneghetti, G., & Ricotta, M. (2017). The heat energy dissipated in a control volume to correlate the crack propagation rate in stainless steel specimens. *IGF-ESIS*, 299-306.
- Migoun, N. P., & Delenkovsky, N. V. (2008). The ways of penetrant Testing Applicability for Rough Surfaces. *17th World Conferance on Nondestructive Testing*.
- Mohan, A., & Poobal, S. (2017). Crack detection using image processing: A critical review and analysis. *Elsevier*.
- Netzelmann, U., Walle, G., Lugin, S., Ehlen, A., Bessert, S., & Valeske, B. (2015). Induction thermography: principle, applications and first steps towards. *Fraunhofer Institute for Nondestructive Testing IZFP*.
- Omelic, M., & Hrman, D. (2006). Measurements of UV Radiation During NDT Inspection. *ECNDT*.
- OU, K., Li, X., Zheng, J., Luo, W., Chen, D., & Pan, Z. (2016). Inspection and Treatment for Surface Cracks of Stainless Steel Surfacing Layer in Pressurized Hydrogen Environment. *IEEE*.
- Parida, N. (1999). Non-destructive Testing and Evaluation of Cast Materials. *NML, Jamshedpur*, 177-193.
- Runnemalm, A., & Broberg, P. (2011). Surface crack detection using infrared thermography and ultraviolet excitation. *University West*.
- Sakagami, T., Izumi, Y., Mori, N., & Kubo, S. (2012). Development of self-reference lock-in thermography and its application to remote nondestructive inspection of fatigue cracks in steel. *Quantitative Infrared Thermography Journal*.

- Sakata, Y., Terrasaki, N., & Nonaka, K. (2017). Development of a novel non-contact inspection technique to detect micro cracks under the surface of a glass substrate by thermal stress-induced light scattering method. *Elsevier*.
- Sezgin, H. S., Muftuler, F. Z., Ichedef, Ç., Kilcar, A. Y., Teksöz, S., Unak, P., et al. (2017). A new approach to liquid penetrant inspection: radiolabeled QDots. *CrossMark*.
- Stankovicova, Z., Dekys, V., Novy, F., & Novak, P. (2016). Nondestructive testing of metal parts by using infrared camera. *Elsevier*.
- Taheri, H., Kilpatrick, M., Norvalls, M., Harper, W. J., Koester, L. W., Bigelow, T., et al. (2019). Investigation of Nondestructive Testing Methods for Friction Stir Welding. *Metals*.
- Tai, C. C., & Pan, Y. L. (2008). A novel multiphysics Method Based on Thermal and EC Techniques and Its Application Crack Inspection. *IEEE*.
- Tarhan, C., & Kurt, B. (2021). Drain Mast Komponentinin Tahribatsız Muayene Yöntemleri Kullanılarak Test Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*.
- Tranta, b. O. (2018). Induction Thermography for Surface Crack Detection and Depth Determination. *applied sciences*.
- Tsopelas, N., & Siakavellas, N. J. (2011). Experimental evaluation of electromagnetic-thermal non-destructive inspection by eddy current thermography in square aluminum plates . *Elsevier*.
- Vetterlein, T., Wagener, M., Rongen, H., & Sampson, C. (2006). Automated dye penetrant systems with process control and documentation in the aerospace industry. *Insight*, 171-173.
- Wei, W., & Qing, L. (2018). Crack Identification of Infrared Thermal Imaging Steel Sheet Based on Convolutional Natural Network. *MATEC*.
- Yang, J., Wang, W., Lin, G., Li, Q., Sun, Y., & Sun, Y. (2019). Infrared Thermal Imaging-Based Crack Detection Using Deep learning. *IEEE*.
- Yiğit, F. N., Keskinsoy, N., Güven, T. B., & Gültekin, E. E. (2021). Non-destructive testing of aircraft wing with liquid penetrant method. *Internasional Journal of Aeronautics and Astronautics*.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mert Karaman

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa/1991

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Sedat Karan Anadolu Lisesi / 2009

Lisans :Niğde Üniversitesi / 2015

Lisans : Anadolu Üniversitesi / 2017

Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi / 2022

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Kanca El Aletleri / 2021-Halen
MSK Çelik Dövme 2015-2021

İletişim (e-posta) : mertkrmn16@gmail.com