



TÜRK OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SICAK
ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK
KALIP TASARIMI YETENEĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ferdi EŞİYOK



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRK OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SICAK ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK
KALIP TASARIMI YETENEĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ferdi EŞİYOK

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2015

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ferdi EŞİYOK tarafından hazırlanan ‘‘Türk Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarımı Yeteneğinin Geliştirilmesi Projesi’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Başkan : Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Bölümü
İmza

Üye : Doç. Dr. Ali Rıza YILDIZ
Bursa Teknik Üniversitesi
Doğa Bil. Mimarlık ve Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü
İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SEVİLGEN
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Bölümü
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

.../.../2015

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.**

01/11/2015

Ferdi EŞİYOK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRK OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE SICAK ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK KALIP TASARIMI YETENEĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ferdi EŞİYOK

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Sıcak şekillendirme teknolojisi ultra yüksek dayanımlı çeliklerin şekillendirilmesinde kullanılan alternatif yöntemlerindedir. Yöntem kısaca borlu malzemenin (AL-Si kaplamalı 22MnB5) östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletildikten sonra robotla kalıba transfer edilip kalıp içerisinde soğutulup şekillendirilmesi adımlarından oluşmaktadır. 1974 yılında geliştirilerek patenti alınmış olan yöntem tarım araç ve ekipmanlarında ilk defa kullanılmıştır. Yöntem 1984 yılında otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanmıştır.

Dünya genelinde mevcut durumda yaklaşık 270 adet sıcak şekillendirme hattı bulunmaktadır. Ülkemizde ilk defa BEYÇELİK GESTAMP tarafından kurulumu tamamlanmış olan 3 adet orta boy sıcak şekillendirme hatları ile ülkemiz sıcak şekillendirme hatlarına sahip ülkeler arasına girmiştir.

Önerilen projede otomotiv endüstrisinde son yıllarda kullanımı artarak yaygınlaşan sıcak şekillendirme parçalarının şekillendirilebilirlik analizleri ile kalıp tasarım yönteminin Türk Otomotiv Endüstrisinde uygulanabilmesi yeteneğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu proje ile sıcak şekillendirme yönteminde kullanılan kalıpların tasarım ve imalatının yerleştirilmesi ile ülke ekonomisine ve teknolojisine katkı sağlanması ve sıcak şekillendirme kalıp tasarım yeteneğinin geliştirilerek "know-how" birikiminin önemli ölçüde artırılması hedeflenmiştir. Optimizasyon yöntemi Beyçelik hot forming prosesi sürecine entegre edilecek, böylece üretimde optimizasyon bütünleşmesi sağlanmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Sıcak şekillendirme, Kalıp tasarımı, Sac parça şekillendirilebilirlik simülasyonları, Optimizasyon, Preste sertleştirme, Sıcak şekillendirme soğutma kanalı tasarımı

2015, xi + 94 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ENHANCEMENT OF THE DESIGN CAPABILITY FOR HOT FORMING OF VEHICLE SHEET PARTS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY IN TURKEY

Ferdi EŞİYOK

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK

Hot forming (press hardening) technology is an alternative production method for forming of ultra high strength sheet metals. It contains heating the boron material until austenite phase, directly transfer through the water cooling tools and quenching steps. This process is invented in 1974 and first used in agriculture field, and started using in automotive industry in 1984.

Approximately there are 270 hot forming production lines in worldwide. Our country has been one of the hot stamping producer country after assembled three medium hot forming product lines which were launched by BEYÇELİK GESTAMP.

The aim of this Project is to develop the ability of formability simulation and design water cooled dies and optimize the design and process parameters in Turkish automotive industry. The target of this study is designing and manufacturing hot forming dies with home production and increasing the capability of know-how and contributing the country's economy.

Key words: Hot forming, Hot forming die design, Sheet metal forming simulation, Optimization, Press hardening, Hot forming cooling channel design

2015, xi + 94 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması "Türk Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarım Yeteneğinin Geliştirilmesi" isim ve 1529.STZ.2012-2 numaralı SAN-TEZ projesi kapsamında tamamlanmıştır.

Bana bu projenin bir parçası olma imkânı veren ve bu tez çalışmasına danışmanlık eden başta kıymetli hocam Prof. Dr. Ferruh Öztürk, yüksek lisansa başlamamda önemli desteği olan kardeşim Yunus Emre Eşiyok ve bu projenin çıkmasında büyük emeği geçen değerli arkadaşım Yrd. Doç. Dr. İdris Karen olmak üzere proje süresince birlikte büyük bir uyum ve dayanışma içinde çalıştığımız değerli hocalarım Prof. Dr. Necmettin Kaya, Doç. Dr. Murat Yazıcı ve Yrd. Doç. Dr. Gökhan Sevilgen'e teşekkür ederim.

Beyçelik-Gestamp A.Ş. saygı değer Yönetim Kuruluna ve kıymetli yöneticilerine süreç boyunca vermiş oldukları sınırsız maddi/manevi destek ve dünya üzerinde sıcak şekillendirmeye yön veren üretici ve akademisyenlerle yurt içi ve yurtdışı seminerlerde bir araya gelme fırsatını vererek tezimi istişare imkânı sağladıkları için derin teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerde bana destek veren ve değerli bilgileri ile beni yönlendiren Prof. Dr. Taylan Altan, Doç. Dr. Eren Billur, Murat Yıldırım ve RMC Mühendislik'e ayrıca teşekkür ederim.

Projenin imalat sürecinde emeği geçen değerli çalışma arkadaşlarım Hüseyin Kazan, İlhan Alyay, Rukiye Yıldırım, Cemal Bulut, Ahmet Serdar Önal, Nasuh Balkan ve Beyçelik-Gestamp A.Ş. çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Son olarak ve en önemlisi hayat boyu desteğini hep kalbimde hissettiğim biricik eşim Nuriye'ye, geriye gelmeyecek kıymetli bebeklik günlerinde bu projeye ayırdığım vaktimi ileride anlayışla karşılayacaklarını umut ettiğim canım kızım Ayşe Nil'e, canım oğlum Ömer Mert'e ve aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

01/11/2015

Ferdi EŞİYOK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Literatür Çalışması	5
2.2. Sıcak Şekillendirmenin Tarihçesi	7
2.3. Sıcak Şekillendirmeye Olan Gereksinim	11
2.4. Sıcak Şekillendirmenin Tanımı.....	15
2.5. Sıcak Şekillendirmenin Avantajları ve Dezavantajları	22
2.6. Sıcak Şekillendirme Kalıp Teknolojisi	24
2.7. Ön Tasarım Çalışmaları ve Optimizasyon Parametreleri.....	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM.	31
3.1. Proses Çalışması	31
3.2. Fizibilite Analizleri	38
3.3. Pres Bilgilerinin Modellenmesi.....	54
3.4. Katı Kalıp Tasarımı.....	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
4.1. Soğutma Kanalı Simulasyonları.....	61
4.2. Soğutma Kanallarının Tasarıma Aktarılması ve Katı Tasarım Tamamlanması	76
5. SONUÇ	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
Re	Reynolds sayısı
μ	Poisson oranı
E	Young modülü (Gpa)
α	Doğrusal genleşme (1/C)
mm	Milimetre
N	Newton
λ	Gizli Isı (kJ/kg)
β	Hacimsel genleşme (1/C)
μ	Viskozite (kg/m s)
k	Isıl iletkenlik katsayısı (W/m C)
Cp	Özgül ısı (J/kg C)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
P	Basınç
t ₀	Sac kalınlığı (mm)
T	Sıcaklık (C°)
t _y	Süre (dak.)
kN	Kilonewton
GPa	Gigapascal
Kg.	Kilogram
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
cp	Özgül ısı (J/kg/K)
r	Yoğunluk (kg/m ³)
e	Neşretme katsayısı
A	Temas yüzey alanı (m ²)

V	Hacim (m ³)
a _c	Isı taşınım katsayısı
L	Boy (mm)
t	Süre (sn)
R	Çap (mm)
σ _{max}	Max gerilme (MPa)
σ _{min}	Min gerilme (MPa)
Q	Birim hacimde geçen ısı miktarı (Kj/s)
m	Kütleli debi (Kg/s)
C	Sabit basınçta ortalama özgül ısı (KJ/KgK)
ΔT	Sıcaklık farkı (K)
C	Yüze olan mesafe (mm)
d ₁	Kanal Çapı (mm)
B	Kanal merkezleri arası mesafe (mm)
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Manganez
Cr	Krom
Mo	Molibden
B	Bor

Kısaltmalar

Açıklama

Euro NCAP	European New Car Assessment Programme (Avrupa Yeni Otomobil Değerlendirme Programı)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration - Uluslararası Trafik Güvenliği Yollar İdaresi
C.A.F.E	Corporate Average Fuel Economy
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety
BIW	Body In White
MPG	Miles Per Gallon
CCT	Continuous Cooling Transformation
FEM	Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
HS	Hot Stamping
PH	Press Hardening
Ms	Martenzit Start
Mf	Martenzit Finish
AÖN	Alt Ölü Nokta
A ₃	Östenit (Austenite)
PPM	Parts Per Minute (Dakikada yapılan strok)
MPa	Megapascal
HTC	Heat Transfer Coefficient (Isı Transfer Katsayısı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.2.1. Katana imalatı şematik gösterimi (Shapiro 2009)	7
Şekil 2.2.2. Sıcak şekillendirme teknolojisinin tarihsel gelişimi (Anonim_a 2013).....	9
Şekil 2.2.3. Saab-9000 Kapı barı (1984) (Anonim 1984).....	9
Şekil 2.2.4. Sıcak şekillendirilmiş çelik komponentlerin otomotiv endüstrisindeki kullanımı (Önal ve ark. 2012)	10
Şekil 2.2.5. Sıcak Şekillendirilmiş Parçaların Toplan BIW içerisinde %'leri (Billur 2014)	11
Şekil 2.3.1. Sıcak Şekillendirilmiş parç. araçta kullanım yerleri (Anonim_b 2013)	12
Şekil 2.3.2. IIHS çarpışma testi (Anonim_b 2015).....	12
Şekil 2.3.3. Global regülasyonlar (Craig 2012)	16
Şekil 2.3.4. Yıllara göre MPG (C.A.F.E.) (Craig 2012)	14
Şekil 2.3.5. Yıllara göre CO ₂ emisyon hedefleri (Craig 2012).....	14
Şekil 2.3.6. Malzemelerin ortalama ağırlık tasarrufu (Anonim_a 2013)	15
Şekil 2.4.1. Sıcak şekillendirme çevrimi (Anonim_c 2015)	16
Şekil 2.4.2. Termomekanik çevrim (Dongwei 2012).....	17
Şekil 2.4.3. Soğuma hızına göre oluşan yapı	17
Şekil 2.4.4. Mikroyapı özellikleri	18
Şekil 2.4.5. Kalıp soğutma hızına göre oluşması beklenen yapı (Anonim_c 2015)	18
Şekil 2.4.6. Usibor-1500 özellikler-Arcelor (Anonim_e 2014).....	19
Şekil 2.4.7. Lazer kesim (Beyçelik-Gestamp)	19
Şekil 2.4.8. Sıcak şekillendirme prosesi (Anonim_c 2015).....	20
Şekil 2.4.9. Doğrudan (direk) ve dolaylı (en-direk) sıcak şekillendirme (Anonim_a 2013)	20
Şekil 2.4.10. 2015'te yaklaşık 270 sıcak şekillendirme hattı aktif üretimde olacak (Lehmann 2015).....	21
Şekil 2.5.1. Sıcak şekillendirmenin temel avantajları (Bayrak 2013).....	22
Şekil 2.5.2. Bölgesel mukavemet (tailored properties) için farklı yöntemler (Karbasiyan ve Tekkaya 2010).....	23
Şekil 2.5.3. Sıcak şekillendirme prosesinde gerçekleşen etkileşimler	24
Şekil 2.6.1. Döngüsel soğutma kanalı tasarımı (Benteler).....	25
Şekil 2.6.2. Doğrusal soğutma kanalı tasarımı (Beyçelik-Gestamp)	26
Şekil 2.6.3. Homojen olmayan su kanalı etkisi (Watcharakamol 2015).....	27
Şekil 2.6.4. Farklı bölgelerin uzama eğrileri (Anonim_c 2015)	28
Şekil 3.1.1. Catia V5R19 Part Design Draft Analysis ters açı kontrolü	32

Şekil 3.1.2. Catia PAM-STAMP-Display-Normal Angle/Stamping Direction-Undercut-Angle with normal ile parça pozisyonlama.....	32
Şekil 3.1.3. Pres çalışma yönüne göre parça form verme pozisyonu.....	33
Şekil 3.1.4. Fırın çıkış sıcaklığı (Beyçelik-Gestamp Medium Line-1).....	34
Şekil 3.1.5. Proses başlangıç sıcaklığı (Beyçelik-Gestamp Medium Line-2).....	35
Şekil 3.1.6. Proses sıcaklık değişimi (Naderi 2007)	35
Şekil 3.1.7. Proses bitiş sıcaklığı (Beyçelik-Gestamp Medium Line-2).....	36
Şekil 3.1.8. Usibor-1500 Sürekli Soğuma Dönüşüm (CCT-Continuous cooling transformation) Diyagramı (Arcelor).....	37
Şekil 3.1.9. Faz dönüşüm diyagramı (Naderi 2007)	37
Şekil 3.2.1. Tool editor (PAM-STAMP).....	38
Şekil 3.2.2. Proses penceresi (PAM-STAMP).....	39
Şekil 3.2.3. Proses değerleri.....	40
Şekil 3.2.4. Dişi-erkek kalıp yüzeyleri.....	41
Şekil 3.2.5. Parçaların kalıp üzerinde yerleşimi.....	41
Şekil 3.2.6. FormingSuite parça açınım konturu.....	42
Şekil 3.2.7. Kalıp elemanları (pot ilaveli).....	42
Şekil 3.2.8. Pot boşluğu yetersiz, kırışma	43
Şekil 3.2.9. Orta bölge kapanma esnasında kontrolsüz hareket ediyor.....	43
Şekil 3.2.10. 10 saniye sonunda parça sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 3.2.11. Östenit faz fraksiyonu	44
Şekil 3.2.12. Martenzit faz fraksiyonu	44
Şekil 3.2.13. Sıcaklığa bağlı ısı transfer katsayısı değişimi (Merklein ve Lechler 2006)	45
Şekil 3.2.14. Kalıp- iş parçası arası mikro ölçekte ısı transferi gösterimi (Madhusudana 2014)	45
Şekil 3.2.15. Basınca ve sıcaklığa bağlı ısı transfer katsayısı değişimi (Merklein ve Lechler 2006)	46
Şekil 3.2.16. Kalıp elemanları (orta dayama ilave edilmiş).....	47
Şekil 3.2.17. Kalıp elemanları şematik gösterim	48
Şekil 3.2.18. Proses sonu sıcaklık dağılımı.....	50
Şekil 3.2.19. Sıcaklık histogramı	51
Şekil 3.2.20. Proses sonu östenit faz fraksiyonu.....	51
Şekil 3.2.21. Östenit faz histogramı	52
Şekil 3.2.22. Proses sonu martenzit faz fraksiyonu	52
Şekil 3.2.23. Martenzit faz histogramı	53

Şekil 3.3.1. Pres hattı modeli (CatiaV5R19).....	54
Şekil 3.3.2. Hidrolik ve su ünitesi.....	55
Şekil 3.3.3. Beyçelik-Gestam Medium Line.....	55
Şekil 3.4.1. Parça taşıma pozisyonları.....	56
Şekil 3.4.2. Saca çekme payının verilmesi.....	57
Şekil 3.4.3. Çelik ve matris grubu.....	59
Şekil 3.4.4. Teorik ve gerçek soğutma kanalları gösterimi.....	60
Şekil 3.4.5. Çelik birleşme yerlerinin şematik gösterimi (Woo ve ark. 2013).....	60
Şekil 4.1.1. CFD simülasyon çalışmaları.....	61
Şekil 4.1.2. İki boyutlu model.....	62
Şekil 4.1.3. Sonlu elemanlar modeli ve eleman dağılımı.....	63
Şekil 4.1.4. Sonlu elemanlar modeli sınır şartları.....	64
Şekil 4.1.5. Başlangıçtaki sıcaklık dağılımı.....	65
Şekil 4.1.6. $t=90$ s'deki sıcaklık dağılımı.....	65
Şekil 4.1.7. Sac parça orta noktasındaki sıcaklığın zaman göre değişim grafiği.....	66
Şekil 4.1.8. Kalıp sac parça ve modeli.....	67
Şekil 4.1.9. Kabuk Model.....	68
Şekil 4.1.10. Katı model.....	68
Şekil 4.1.11. $t=5.2s$ için kalıp temas ara yüzeyi ve diğer yüzeylerin sıcaklık dağılımı ..	69
Şekil 4.1.12. 2B ısı transferi modeli ve sınır şartları.....	69
Şekil 4.1.13. Parametreler.....	70
Şekil 4.1.14. Modeller.....	70
Şekil 4.1.15. Sonlu Elemanlar Analizi: Geçici Rejimde Isı Transferi.....	71
Şekil 4.1.16. Sac yüzeyi ortalama soğuma eğrileri.....	71
Şekil 4.1.17. Kalıp Elemanları Genel Görünüm.....	72
Şekil 4.1.18. Çözüm ağı yapısı ve yüzeylerin oluşturulması.....	73
Şekil 4.1.19. $t=7s$ için Sac Parça Yüzey Sıcaklık Dağılımı.....	73
Şekil 4.1.20. $t=7s$ için Sac Parça ve Kalıp elemanları Yüzey Sıcaklık Dağılımı.....	74
Şekil 4.1.21. $t=7s$ için Alt Kalıp Ara Yüzey Sıcaklığı Dağılımı.....	74
Şekil 4.1.22. Gerilme analizi sınır şartları.....	75
Şekil 4.2.1. Parçadan çeliklere olan ısı akışı (Ansys-Şematik gösterim).....	76
Şekil 4.2.2. Reynolds sayısına bağlı ısı transfer katsayısı.....	77
Şekil 4.2.3. Paralel çevrim.....	78
Şekil 4.2.4. Seri çevrim.....	79
Şekil 4.2.5. QRO-90 Supreme-Uddelhom (Hongsheng ve ark. 2011).....	81
Şekil 4.2.6. 20 strok sonrası kalıp sıc. (PAM-STAMP-uygun olmayan soğutma).....	82

Şekil 4.2.7. PAM-STAMP soğutma analizi kalıp yüzeyleri (proses sonrası yüzey sıcaklıkları uygun değil).....	82
Şekil 4.2.8. PAM-STAMP soğutma analizi kalıp yüzeyleri (proses sonrası uygun sıcaklık).....	83
Şekil 4.2.9. 20 strok sonrası kalıp sıcaklığı (PAM-STAMP-uygun soğutma).....	83
Şekil 4.2.10. Alt kalıp pres üzerinde.....	84
Şekil 4.2.11. Kalıp izometrik görünüş	84



1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde her geçen gün araç güvenliğini artırmak, çevreye duyarlı araçlar üretmek ve yakıt tasarrufu sağlamak önem kazanmaktadır. Araç mukavemetini arttırmak geleneksel saclarla ancak sac kalınlığını artırarak ya da takviye parçalar eklenerek sağlanabilmektedir.

Temel amaç güvenlik kriterlerini sağlayan ve güç gereksinimini an alt seviyede tutan araçların üretimidir, bunun için de daha hafif araçların tasarımı gerekmektedir. Hibrid ve elektrik tahrikli araçlarda da daha hafif tasarımların yapılması önem arz etmektedir. Bu durum araç ağırlığının azaltılması ve dolayısıyla hem yakıt kullanımını hem araç maliyetini hem de CO2 emisyonlarının azaltılması için otomotiv üreticilerini yeni sac arayışına itmiştir (Mori ve Okuda 2010, Macek 2012)

Yüksek mukavemetli çelikler (HSS) bunun için bir çözüm olmakta fakat beraberinde üretim kabiliyetini zorlaştıran problemler getirmektedir (Turetta ve ark. 2006, Bariani ve ark. 2008). Geri yaylanma (springback) problemi kalıp imalatçıların karşılaştığı en önemli problemlerden birisidir. Karşılaşılan problemler imalatçıları alternatif sac uygulamalarına ve farklı üretim tekniklerine yönlendirmiştir. Modern imalat yöntemlerinde bu alanda ihtiyacı karşılayacak en uygun yöntem olan sıcak şekillendirme son yıllarda otomotiv sektöründe kullanımı yaygınlaşarak uygulanmaktadır (Ingarao ve ark. 2011, Billur ve Altan 2012).

Mevcut durumda sadece yurt dışından ithal edilerek temin edilen sıcak şekillendirme kalıplarının yurt içinde üretilirliği sağlanarak sıcak şekillendirme kalıp üretimi konusunda bilgi birikimi ve yetkinlik kazanılması amaçlanmaktadır.

Yeni bir teknoloji olan sıcak şekillendirme teknolojisinde kullanılan seri üretim hatlarında kullanılmaya elverişli sıcak şekillendirme kalıplarının tasarımı ve üretimi için gerekli olan Ar-Ge ve “know-how” bilgi birikimi sağlanarak ilk seri hat kalıp prototipini simülasyon ve optimizasyon destekli tasarlamak ve imal etmek, bu konuda yetkinlik kazanılması projenin temel yenilikçi yönüdür.

Bu proje sonunda Şu an hâlihazırda yurtdıŐında sadece birkaç firmada tasarlanıp üretilmekte olan sıcak Şekillendirme kalıp teknolojisinin geliştirilerek yerliŐtirilmesi sonucunda yurtdıŐına ödenen dövizin ÷lke içerisinde kalması projenin en önemli ekonomik getirisi olacaktır.

Ayrıca yapılacak bu proje BEYÇELİK GESTAMP tarafından yapılmış olan bir TÜBİTAK TEYDEB projesi olan Sıcak Şekillendirme Süreç Optimizasyonu adlı projenin devamı niteliğindedir.

Problemin ana girdisi verilen bir parçaya göre nihai sıcak Şekillendirme kalıbını tasarlayabilmektir. Parçanın kalıplana bilirlilik bilgisi hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Kalıbın tasarımında dikkat edilmesi gereken parametreler ve parametrelerin değişim aralıkları bilinecektir.

Proje 4 ana bölümde tanımlanmış iş paketleri ile tamamlanmıştır.

İŞ Paketi-1= Literatür taraması

Sıcak Şekillendirme araştırma çalışmaları ile ilgili literatürde yer alan yayınlar, kitaplar, standartlar, patentler bu bölümde araştırılmıŐtır. Sıcak Şekillendirme işlemi modelleri, analizler ve uygulamalar konusunda yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemler, model tanımlamaları, parametreler incelenmiş, literatürde araştırmacıların kullandığı modeller, model parametreleri, çözüm yöntemleri ve elde edilen sonuçlar ile araştırmacıların konu ile ilgili önerileri deėerlendirilmiŐtır.

Proje önerisinde yer alan tasarım doğrulama çalışmaları ile ilgili test tanımlamaları da ön tasarım ve tasarım doğrulama çalışmaları olarak bu iş paketinde ele alınmıştır. Optimizasyon yöntemleri ve kalıp tasarım optimizasyon matematiksel modelleri ile ilgili tanımlamalar yapılmıştır. Sıcak Şekillendirmenin gelişimi, kullanım alanları, tarihçesi ve proses parametreleri incelenmiŐtır.

İŞ Paketi-2= Tasarım ve Analiz alıŐmaları

Bu bölümde model oluşturma, simülasyon ve tasarım doğrulama değerlendirmeleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Sıcak Şekillendirme proses parametreleri ve parametrelerin

(fırın sıcaklık değerleri, fırında kalma süresi, fırın çıkışında parça transfer süresi, parçanın kalıba giriş sıcaklığı, deformasyon süresi, kalıp yüzey sıcaklığı, soğutma suyu sıcaklığı, soğuma zamanı (cooling time), parçanın kalıptan çıkış sıcaklığı) etkilerinin incelenerek sıcak şekillendirme süreci tanımlamaları ve model oluşturma çalışmaları yapılmıştır. Optimum proses değerlerinin elde edilmesi için tasarım optimizasyon modeli belirlenmiştir.

Meta sezgisel optimizasyon yöntemi ve deneysel tasarım yöntemleri (DOE-Design of Experiments) kullanılarak sıcak şekillendirme kalıp tasarım modeline entegre edilecek ve simülasyonlar için deney tasarımından yararlanılmıştır. Kalıbı üretilecek parçanın şekillendirilebilirlik analizleri (simülasyon) gerçekleştirilmiş ve kalıp çeliklerinde olması gereken soğutma kanallarının çapları, birbirleri ile ve kalıp çelikleri ile parça formuna bağlı mesafeleri ilgili bilgisayar destekli mühendislik yazılımları yardımıyla simülasyonu gerçekleştirilmiş ve deneysel tasarım çalışmaları uygulanmıştır. Kalıp çeliği yüzeylerinin CATIA ile modellenmesi ve kalıbı üretilecek parçanın şekillendirilebilirlik analizleri (simülasyon) PAMSTAMP ile yapılmıştır. Kalıp çeliklerinde olması gereken soğutma kanallarının çapları, birbirleri ile ve kalıp çelikleri ile parça formuna bağlı mesafelerinin ANSYS/ABAQUS programı ile analizleri yapılmıştır.

Simülasyon çıktıları ile CATIA'da katı kalıp modellemesi tamamlanmış ve malzeme siparişleri geçilmiştir.

İş Paketi-3= Sıcak Şekillendirme Prototip Kalıp İmalatı

Bu bölümde standart ve hammaddelerin siparişi geçilmiş, büyük ve küçük parçaların 2D-3D talaşlı imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı tamamlanan parçaların kontrolü, küçük parçaların kumpas-mikrometre ile büyük parçaların ise CMM ile yapılmıştır.

Kalıp çelikleri içerilerinde soğutma kanalları ihtiva etmeleri sebebiyle parçalı olarak imal edilmiş ve ısıl işlem sonrası taşlanarak ölçüsüne getirilmiştir. 2D, 3D, ölçüm ve taşlaması biten ön montaj malzemelerin montajı tamamlanmış ve sızdırmazlık testinin ardından yüzey finish işlemesi gerçekleştirilmiştir. ATOS ile yapılan kalıp yüzeyi uygunluğu onaylandıktan sonra final montajı yapılmış ve pres altında try-out yapılarak parça çıkarma çalışmaları tamamlanmıştır.

İş Paketi-4= Prototip Parça Üretimi, Test ve Benzetim Sonuçları Doğrulaması

Alıştırılmış Kalıp Sıcak Şekillendirme Presine bağlanarak kalıptan parça basımı işlemleri gerçekleştirilmiştir. Basılan parçalar ATOSTA ölçülerek simulasyonda elde edilen geri yaylanma ve ölçüsellik karşılaştırılmış, müşteri speklerine göre parçanın doğruluğu kontrol edilmiştir.

Parça üzerinden farklı bölgelerden sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiş ve uygunluğu kontrol edilmiştir.

Kaplama kalınlığı ve malzeme içyapı incelenmiş, çıkan sonuçlar kapanış raporu düzenlenerek proje sonlandırılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Çalışması

Literatürde yer alan yayınlar incelendiğinde sıcak şekillendirme ile ilgili araştırma çalışmaları ve uygulamaların son yıllarda artmaya başladığı ve yapılan çalışmaların daha çok malzemelerin termo-mekanik özelliklerinin, şekil değişimlerin incelenmesi, termal parametrelerin belirlenmesi, model oluşturulması, sıcak şekillendirme işleminin simülasyonu, ısıtma ve soğutma hızlarının deformasyonlar üzerinde etkileri, malzemenin akış davranışının incelenmesi, geri yaylanma probleminin çözümlenmesine yönelik olduğu görülmektedir. Geri yaylanma probleminin çözümü için simülasyon ve deneysel çalışmalar ile proses parametrelerinin geri yaylanma üzerindeki etkileri çeşitli araştırmacılar tarafından ele alınmıştır.

Bazı araştırmacılar başlangıç sıcaklık değerlerinin geri yaylanma üzerinde etkisini göstermiştir (Hongsheng ve ark. 2011). Araştırmacıların özellikle vurguladığı mevcut yöntemin etkin olarak kullanılabilmesi için kısıtlamaların giderilmesine yönelik özellikle sıcak şekillendirme işleminin simülasyon modellerinin oluşturulması ve optimizasyon uygulamalarının yapılmasıdır. Bu alanda çalışmalar bulunmakla birlikte problemin karmaşık yapısı nedeniyle bu konularda henüz yeterli sonuçlar elde edilmemiştir. Bu nedenle yeni yaklaşımların özellikle optimizasyon konusunda görülen yetersizlikleri gidermesi için uygulanması gerekmektedir.

Sıcak şekillendirme simülasyonları için yapılan sonlu elemanlar tabanlı çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır, bu çalışmalarda genelde sonlu elemanlar yaklaşımı kullanılmakta ve hesapsal açıdan zaman alıcı simülasyonların daha kısa sürelerde yapılabilmesi için araştırmacılar model basitleştirilmesini önermektedir (Odenbergera ve ark. 2011). Bunun için de hassasiyet analizleri ile hangi parametrelerin işlem üzerinde daha etkili olduğunun belirlenmesi çalışması önerilmektedir.

Sıcak şekillendirme işleminin FEM simülasyonu yaygın olarak araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Hongsheng ve ark. 2011). FEM simülasyonu ile geri yaylanma da soğutma hızı ve diğer termal özelliklerin etkileri de araştırmacılar tarafından ele alınan konulardır (Bardelcık ve ark. 2010).

İşlem parametrelerinin uygun kontrolü açısından; materyal şekillendirilebilirliği, işlem sıcaklığı ve pres ayarları, istenilen şeklin elde edilmesi açısından etkin parametreler olduğu literatürde yer alan çalışmalarda belirtilmektedir. Mekanik ve termal işlemlerin simülasyonda çözümlenmesi çözüm süresinin azaltılması için yeni yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır.

Literatür taramasında sıcak şekil verme prosesi konusunda yeterli bilgi sahibi olmanın sürecin tasarımı ile optimizasyonu ve kalıpların tasarımı ile optimizasyonu açısından önemli olduğu görülmektedir. Gözlenen diğer bir sonuç da şu ana kadar yapılan araştırmaların ürün özellikleri ile kalıp sıcaklık değerleri, soğuma süre değerleri ile geri yayılma miktarı arasındaki ilişkinin net olarak ortaya konamadığıdır.

Sıcak şekillendirme süreci ile ilgili literatürde özellikle son yıllarda yapılan araştırmaların artması dikkat çekmektedir. Çok sayıda yayın yer almakla birlikte bu projede konu ile ilgili olan sürecin optimizasyonu ve parametreleri ile ilgili olan yayınlar ve sıcak şekillendirme sürecinin gelinen aşamadaki durumunu belirten yayınlar incelenmiştir. Ayrıca projenin yürütüleceği firmanın bu konuda edindiği bilgi birikimi, tecrübe ve karşılaşılan gereksinimler de değerlendirilmiştir.

Literatür taramasında karşılaşılan eksikliklerden birisi de optimizasyon çalışmaları ve proses parametrelerinin tespiti (Ikeuchi ve Yanagimoto 2011, Karbasian ve Tekkaya 2010, Ozturk ve ark. 2006, Yu ve ark. 2011). Hesapsal açıdan optimizasyon işlemlerinin kısa sürede sonuçlandırılabilmesi için malzeme akış davranışlarının, deformasyonlar üzerinde etkileri için işlem parametrelerinin tespiti ile ilgili çalışmalara çözüm olacak sıcak şekillendirme işlem için karmaşık yapı içermeyen modellere gereksinim duyulmaktadır. Karmaşık modeller ile çalışmalarda sayısal çözümler ve optimizasyon uygulamaları zaman ve maliyet açısından problem oluşturmaktadır. Bu nedenle modellerin oluşturulması ve çözümlenmesinde klasik yaklaşımlar yerine yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada literatürde görülen bu belirsizliklerin giderilmesi için de sezgisel yaklaşımları da içeren bir yaklaşım önerilmiştir. Bu araştırma konusunun literatürde yer alan çalışmalardan farkı sezgisel yöntemlerin ve meta sezgisel model ile optimizasyonu içeren matematiksel modelinin kurulması ve sıcak şekillendirme kalıp tasarım prosesi parametrelerinin optimizasyonunda yeni bir yaklaşımın kullanılmasıdır.

2.2. Sıcak Şekillendirmenin Tarihçesi

Demirin bulunması ve kullanılması toplumların yaşam şartlarını belli ölçülerde kolaylaştırmıştır. İnsanoğlu demiri bularak savunma ve avlanma amaçlı silah, ev eşyası vb. araç gereçler üretmiş, yaşam alanlarını sağlamlaştırarak kendilerini diğer toplumlardan ve doğanın yıkıcı etkilerinden daha iyi bir şekilde korumaya başlamıştır.

Demir, savaş sırasında savunma gereçleri süngü, mızrak, kılıç olarak; barış zamanında da ekim aletleri, saban, orak, yaba, kazma, kürek, keser, makas gibi el aletlerinin yanında inşaat sektörünün ve sanayinin vazgeçilmez malzemesi olmuştur.

Demircilik bir doğu sanatıdır. Bu meslek doğuya yapılan akınlar ve seyahatler neticesinde batıya yayılmıştır. Tarihçiler dövme teknolojisiyle demircilik ve kılıç üretiminin başlangıcını 618-907 yılları arasında Çin Tang Hanedanlığına dayandırır (Shapiro 2009). Bir sonraki aşamaya geçişin ise alaşımlandırma ve su verme proseslerindeki gelişmelerle birlikte Japon Samuray Kılıcı Katana (14. yüzyıl) ile devam ettiği düşünülmektedir (Şekil 2.2.1).

Arkeolojik kazılarda demir bulguların nadiren görülmesinin en önemli nedeni oksitlenmedir. Oksitlenme demiri yakıp yok eder. Bu nedenle XI. yüzyıl öncesine giden kazılarda demirden yapılan işlere pek rastlamayız. XII Yüzyıl'dan sonra demircilikte önemli gelişmeler sağlanmış ve günümüze kadar gelen eşsiz güzellikte eserler yaratılmıştır.



Şekil 2.2.1. Katana imalatı şematik gösterimi (Shapiro 2009)

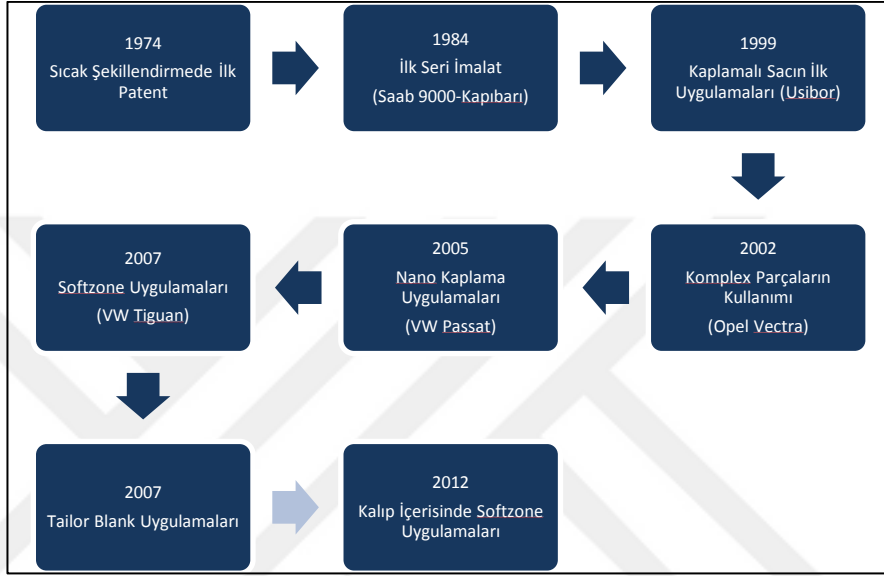
Çeliğin su ile olan bu ilgisinden dolayı sertleştirme esnasında içine su aldığı, tekrar ısıtıldığında içindeki bu suyu dışarı çıkararak yumuşadığı zannedilmiştir. Atadan görme usullerle çelik sertleştirme işleri ile uğraşan pek çok kişi çeliğin içine su girdiğine inanır. Su verilen çelikte meydana gelen, çok az bir hacim büyümesi de bu inanişe sebep olmuş olabilir. Malzeme bilimindeki gelişmeler sayesinde sertleşmenin suyun çeliğin içine girmesi ile olmadığı, çeliğin kristal yapısındaki değişikliklerin sertliğe sebep olduğu anlaşılmıştır.

Saf demir belirli sıcaklık aralıklarında farklı kristal yapıları fazlarda bulunur. Buna allotropi denir. Demir alaşımlandırıldığında bu allotropik yapısını muhafaza eder, ancak dönüşüm sıcaklıkları alaşımlandırma durumuna göre değişir. Saf demirin kristal yapısı üzerinde yapılan çalışmalar, 910-1400 °C arasındaki sıcaklıklarda hacim merkezli kübik, bunun altındaki ve üstündeki sıcaklıklarda ise yüzey merkezli kübik yapı olduğunu göstermiştir. Demir ayrıca 768 C'nin üstündeki sıcaklıklarda manyetik özelliğini kaybeder.

Farklı sıcaklıklarda farklı kristal yapısında bulunan demir her iki kristal yapı da, makine parçasının kırılmadan şekil verilmesine müsaittir. Şekil değiştirme özelliği atomların birbiri üzerinde kaymasından kaynaklanmaktadır. Dönüşüm sıcaklığının üstüne kadar ısıtılan çelik tekrar yavaş olarak soğutulursa yine hacim merkezli kübik yapı oluşur. Çok hızlı soğutulduğunda ise, hacim merkezli kübik kristal yerine, martenzit diye adlandırılan dikdörtgenler prizması şeklinde bir kristal yapı oluşur. Böyle bir kristal yapıda atomlar birbirlerinin üzerinde kayamazlar. Bu yapıdaki çelik eğilip bükülemez, yani sertleşir. Çok zorlanırsa kırılır.

Çeliğin sertleşmesinde suyun tesiri çeliğin hızlı soğumasını sağlamaktır. Çeliğin soğuması başka bir ortamda sağlandığında yine sertleşme meydana gelir. Yüksek alaşımlı çelikler yağda veya havada soğutma ile sertleşebilir. Çeliğin sertleşmesinde alaşım elementlerinin, bilhassa karbonun önemi büyüktür. Mesela inşaat demiri olarak bilinen % 0.2 oranında karbon ihtiva eden çelik sertleştirilemezken karbon oranı % 0.5'den fazla olan çelik sertleşebilir özelliktedir.

Sıcak şekillendirme ve akabinde kalıp içerisinde hızlı soğutarak sertleştirme yönteminin endüstriyel uygulamaları ise 1974 (Şekil 2.2.2) yılına dayanmaktadır. Kuzey İsveç'te bir grup uzman teknolojinin uygulama alanlarıyla ilgili çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Proses yaklaşık 10 yıl boyunca tarım ve zirai araçlarda (kazma,kürek,bel..vs) başarılı bir şekilde uygulanmış, 1984 yılında ise ilk defa bir araç için seri imalata geçilmiştir (Karbasiyan ve Tekkaya 2010, Anonim 1984).



Şekil 2.2.2. Sıcak şekillendirme teknolojisinin tarihsel gelişimi (Anonim_a 2013)



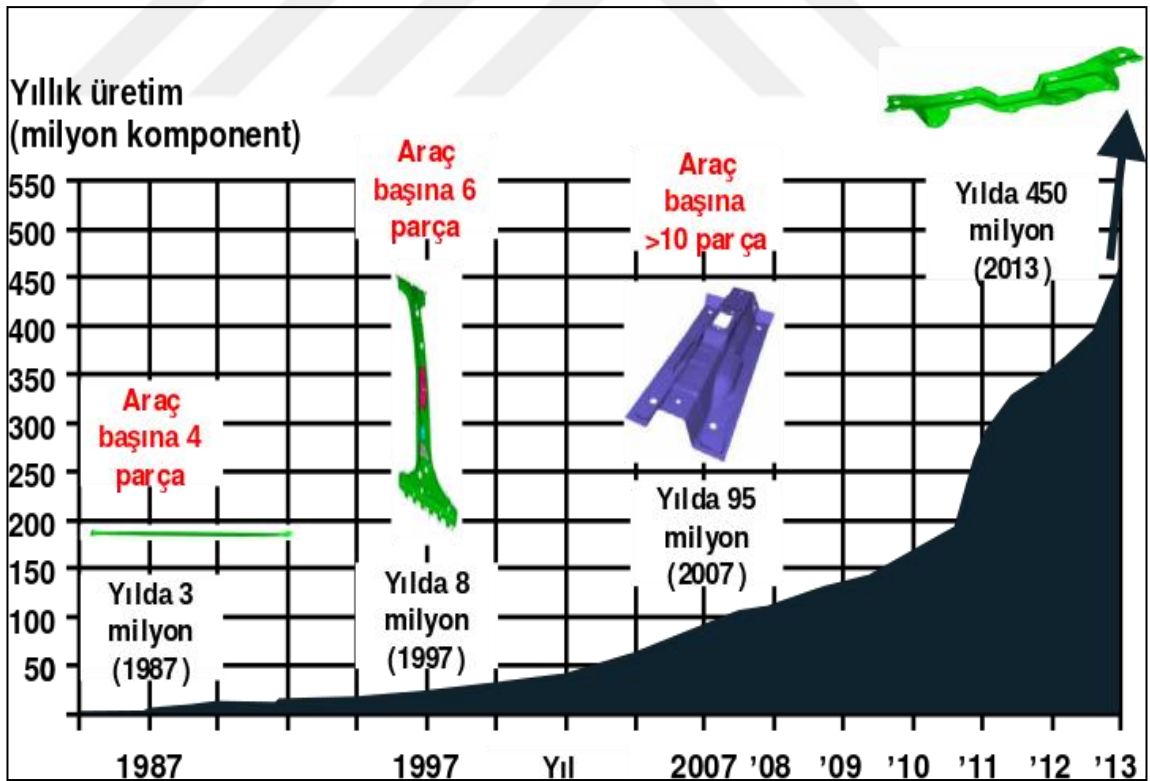
Şekil 2.2.3. Saab-9000 Kapı barı (1984) (Anonim 1984)

2005 yılında ilk defa bir araç üzerinde çift haneli rakamlarda parçalar üretilmeye başlanmış ve araç güvenliğine etkisi de ciddi oranda artmıştır. (Şekil 2.2.4 ve Şekil 2.2.5)

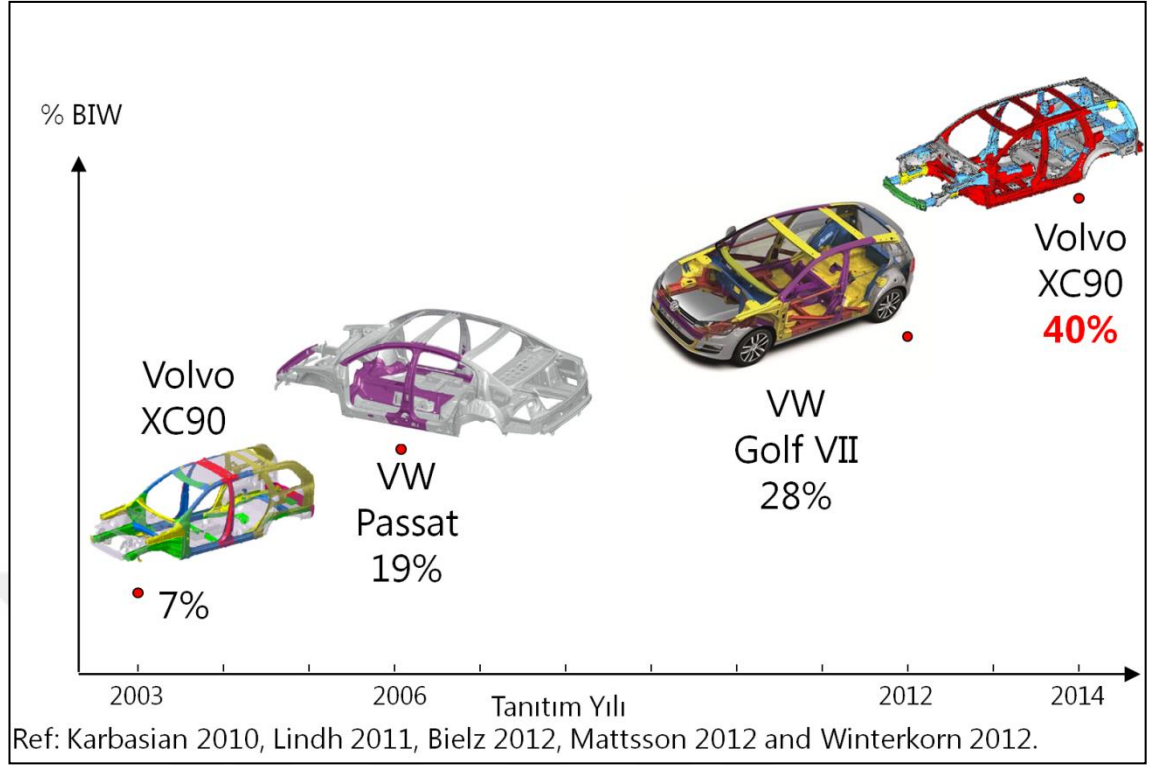
2007 yılında tailor uygulamaları başlamıştır. 1800 MPa seviyesi, ilk kez 2011 yılından itibaren Mazda CX-5'te kullanılmıştır (Matsuoka ve Fujihara 2011).

2012 yılında ilk defa bölgesel ısıtma (tailored tempering) uygulaması kalıp içerisinde uygulanmıştır. Bu sayede parça içerisinde farklı bölgelere farklı mukavemet kazandırılmaktadır. Yine aynı amaçla üretilen ve yüksek sıcaklıkta da özelliğini kaybetmeyen, proses sonrası 500 MPa seviyesinde kalan sac lar ise ilk kez Volvo XC90'da, 2014'ten bu yana kullanılmaktadır (Ljungqvist ve ark. 2014).

2015 itibari ile en çok kullanıldığı otomobil yeni Volvo XC90'dır ve gövde ağırlığının %38'i sıcak şekillendirilmiştir. Bunun %33'ü 1500 MPa seviyesinde, %5'i 500 MPa seviyesindedir (Ljungqvist ve ark. 2014).



Şekil 2.2.4. Sıcak şekillendirilmiş çelik komponentlerin otomotiv endüstrisindeki kullanımı (Önal ve ark. 2012)



Şekil 2.2.5. Sıcak Şekillendirilmiş Parçaların BIW içerisinde %'leri (Billur 2014)

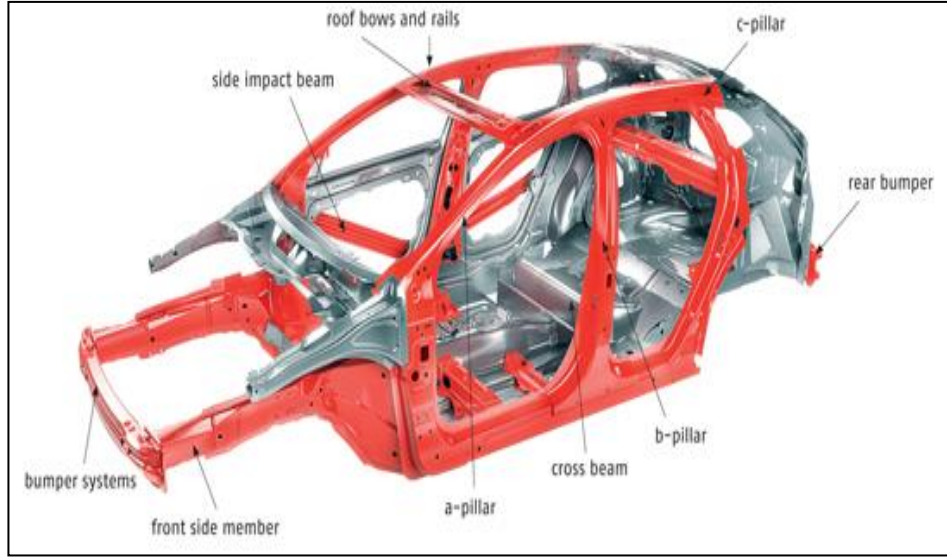
2.3. Sıcak Şekillendirmeye Olan Gereksinim

Son yıllarda, otomotiv endüstrisinde araç güvenliğini artırmak, araç ağırlıklarını ve emisyonları azaltmak, yakıttan tasarruf sağlamak, küresel pazarlarda rekabet edebilmek ve ilgili regülasyonlara uyumlu araçlar üretebilmek için araçlarda sıcak şekillendirme ile üretilmiş parçaların kullanımının artarak yaygınlaştığı görülmektedir.

Sıcak şekillendirme prosesi ile metal parçalarda yüksek mukavemet değerlerine erişilebilmekte ve araçlarda ağırlık azaltılması hedefleri sağlanabilmektedir. Bu nedenle sıcak şekillendirme prosesi ile üretilen metal elamanlar araçlarda son yıllarda giderek artan oranda kullanılmaya başlamıştır.

Sıcak şekillendirme teknolojisi ile üretilen parçalar 1650 MPa'lara kadar yükselen yüksek performans göstermektedir (Anonim_a 2013). Özellikle çarpışma sonrası sürücü ve yolcuların güvenliğini korumak için şekil değiştirmeye mukavemet göstermesi istenen bölgelerde sıcak şekillendirilmiş parçaların kullanılması yaygınlaşmaktadır (Şekil 2.3.1)

A-B-C direkler, ön-arka tamponlar, tünel parçaları, crossmember grubu, tavan parçaları, kapı barları, araç gövde yan destek parçaları, taşıyıcılar, takviye parçaları, travers grubu gibi gövdeyi (BIW) oluşturan ve mukavemet gerektiren iskelet parçalar bu grubun içerisinde (Anonim_b 2013, Sevilgen ve ark. 2014, Federici ve ark. 2005, Eşiyok ve ark. 2014, Anonim_b 2011).



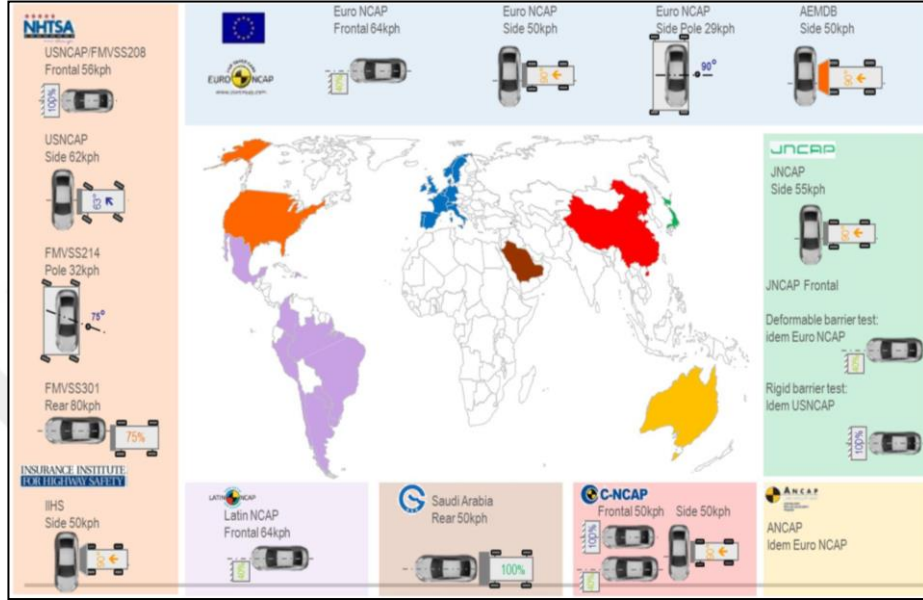
Şekil 2.3.1. Sıcak Şekillendirilmiş parçaların araçta kullanım yerleri (Anonim_b 2013)

Sıcak şekillendirilmiş parça kullanımının 3 temel sebebi var; yüksek deformasyon mukavemeti, ağırlık ve maliyet (Anonim_a 2013). Araçlarda giderek artırılan çarpışma güvenliği regülasyonları (örneğin EuroNCAP,NHTSA ya da IIHS) nedeniyle yüksek mukavemetli sacların kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Otomobil güvenlik seviyesini çarpışma testleriyle onaylayan ve bağımsız otorite kabul edilen EuroNCAP yapılan test sonuçlarını 5 yıldız üzerinden yayınlıyor. Bu kuruluşun test sonuçları özellikle Avrupa'da tüketicilerin satın alma kararında büyük rol oynuyor (Anonim_a 2014).



Şekil 2.3.2. IIHS çarpışma testi (Anonim_b 2015)

Önden çarpma, yandan çarpma, çocuk güvenliği, direğe çarpma, yayaya çarpma başta olmak üzere çeşitli kriterlere göre puanlama yapıp sonuca göre yıldız veriliyor (Şekil 2.3.2). Test sonuçları özellikle AB ülkelerinde satış rakamlarını ve dolayısıyla araç fiyatlarını etkiliyor. Bu nedenle otomobil firmaları araç güvenliğini artırmak için rekabet içerisinde ve neredeyse her yeni modelde güvenlik seviyesi daha da yukarıya çıkıyor (Şekil 2.3.3).



Şekil 2.3.3. Global regülasyonlar (Craig 2012)

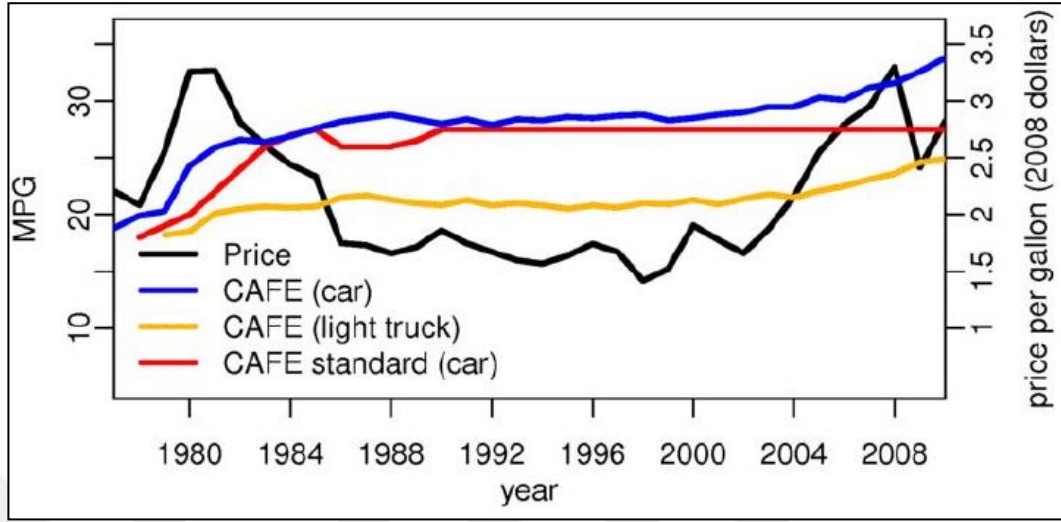
Diğer taraftan imalatçılar aynı zamanda yakıt tasarrufu sağlamak ve bununla birlikte CO₂ emisyonlarını azaltmak için güvenlikten ödün vermeden ve maliyet artırmadan araç ağırlığını azaltmayı hedeflemektedirler.

Şekil 2.3.4'te görüldüğü gibi ABD CAFE¹ (Corporate Average Fuel Economy Standard) resmileşen standartlara göre daha önce 2016'da 35.5 mpg (100 Km'de 6,6 Litre) olan hedefin 2025 yılında 54,5 mpg (100 Km'de 4,3 litre) yükseltilmiştir.

Yeni standart ilk 5 yıl otomobiller için %5, hafif kamyonlar için %3,5 iyileşme; 2025'e kadar geri kalan yıllar için yılda %5 iyileşme hedefi getirmektedir.

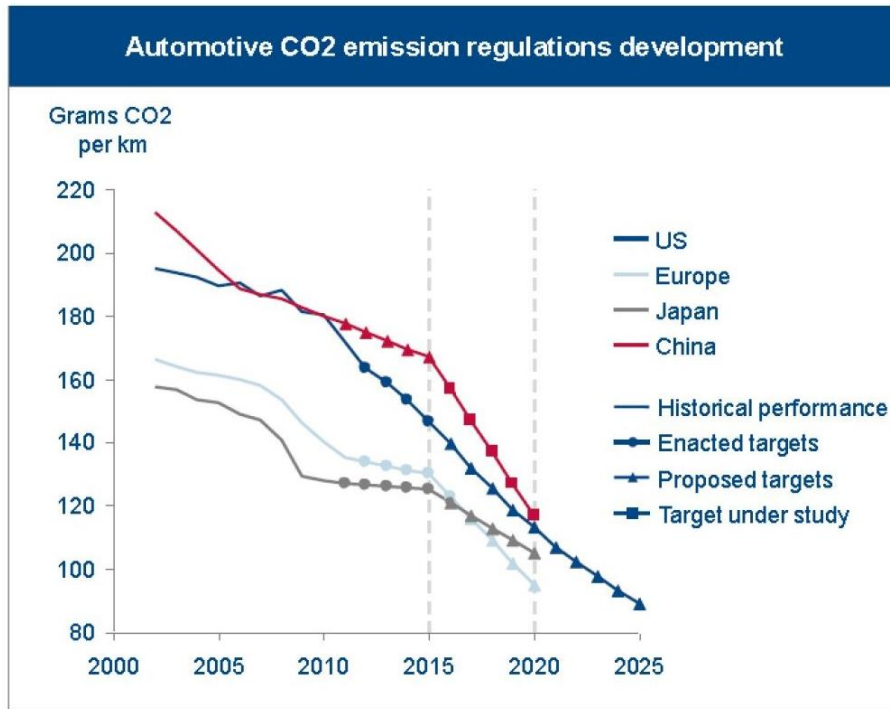
¹ CAFE Standardı nedir? Corporate Average Fuel Economy (CAFE) 8500 lbs (3855 Kg) ve altı otomobil ve hafif kamyon için getirilen ve herhangi bir yılda üreticinin ABD'de satış için üretimi yapılan araçlarının satış rakamları baz alınarak ağırlıklı ortalama yöntemiyle hesap edilen ve mpg (miles per gallon) olarak ifade edilen yakıt ekonomisi hedef rakamlarıdır. Yakıt ekonomisi EPA (Environmental Protection Agency) tarafından belirlenen ölçme ve değerlendirme metodolojisine göre bir otomobilin bir galon (3,78 Litre) benzin (veya eşdeğeri miktar diğer yakıtlar) ile katettiği ortalama mesafe (mil cinsinden) olarak tanımlanmaktadır.

Bu standart doğrultusunda üreticilerin şasi ve kaporta ağırlıklarını 2025 yılına kadar %40 oranında azaltmaları beklenmektedir.



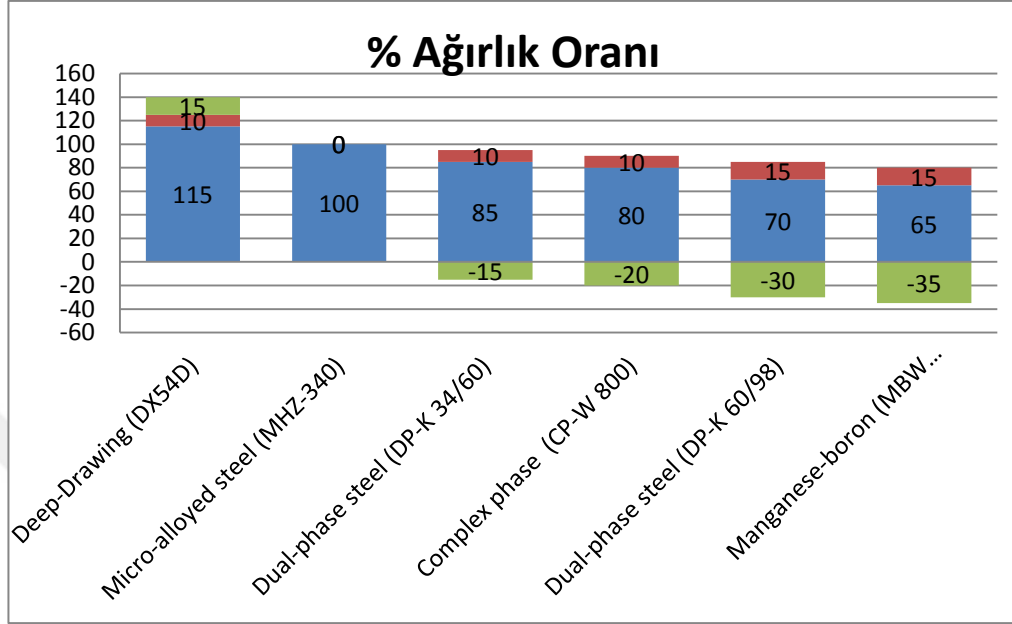
Şekil 2.3.4. Yıllara göre MPG (C.A.F.E.) (Craig 2012)

Yönetmeliklere göre 2006 yılında 160g/km olan CO₂ emisyon oranı 2012 yılında 132g/km olarak düzenlenmiş ve 2020 yılına 95g/km hedefi konmuştur (Şekil 2.3.5) (Anonim_b 2014)



Şekil 2.3.5. Yıllara göre CO₂ emisyon hedefleri (Craig 2012)

Sıcak şekillendirme bütün ihtiyaçları karşılayan en uygun proses olarak karşımıza çıkmaktadır. Sadece mukavemeti artırmakla kalmayıp aynı zamanda Şekil 2.3.6’da görüldüğü gibi ağırlıktan da %35'e varan tasarruf sağlanabilmektedir (Anonim_a 2013, Güçlü ve ark. 2015).

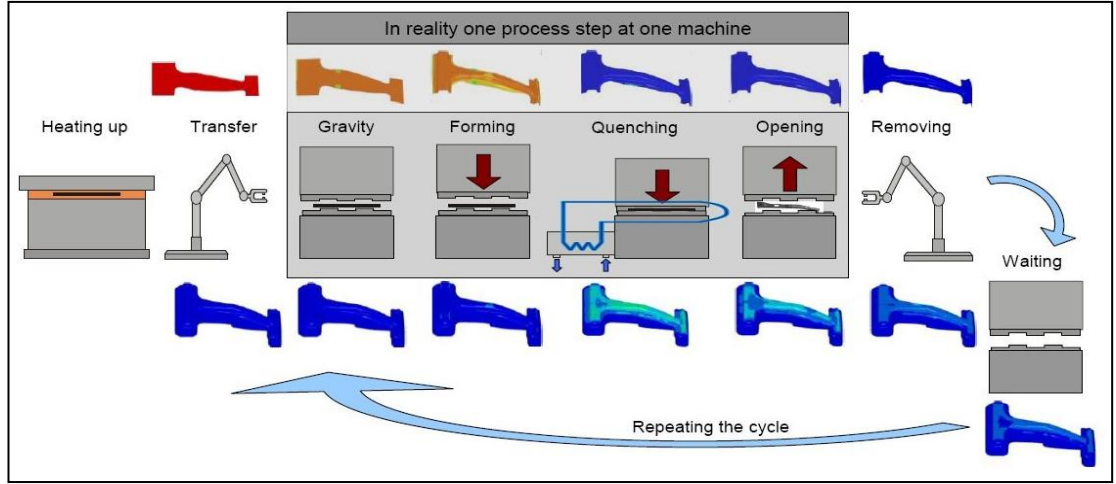


Şekil 2.3.6. Malzemelerin ortalama ağırlık tasarrufu (Anonim_a 2013)

Mevcut regülasyonlar incelendiğinde uluslararası pazarda rekabet edebilmek için taşıyıcı ara gövde parçalarında alüminyum, darbe dayanımı gereken güvenlik parçalarında sıcak şekillendirilmiş parçaların kullanımının her geçen gün artması beklenmektedir. Özetleyecek olursak fizik kuralları gereği bir nesneyi hareket ettirmek için enerjiye ihtiyaç vardır ve kütle ne kadar artarsa enerji ihtiyacı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Sıcak şekillendirme prosesi enerji ihtiyacını ve dolayısıyla hava kirliliğini azaltan, bununla birlikte güvenliği artıran yeni bir teknolojidir.

2.4. Sıcak Şekillendirmenin Tanımı

Otomotiv endüstrisinde, araç ağırlığını düşürmek, CO₂ emisyonlarını azaltmak, yakıttan tasarruf sağlamak, çarpma-kaza emniyetini iyileştirmek ve küresel pazarlarda rekabet edebilmek ve ilgili regülasyonlara uyumlu araçlar üretebilmek amacıyla son yıllarda alternatif üretim yöntemleri ve malzemelerle ilgili araştırmalar yaygınlaşmaktadır. Sıcak sac şekillendirme yöntemi, ultra yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulan otomobil parçalarının üretimi için alternatif ve en başarılı imalat teknolojilerinden birisidir (Federici ve ark. 2005, Eşiyok ve ark. 2014, Eşiyok ve ark. 2015, Caron ve ark. 2014). Proses bir nevi ısı işlem ve form verme işlemlerinin proses edildiği bir sertleştirme işlemidir (Şekil 2.4.1-Şekil 2.4.9).



Şekil 2.4.1. Sıcak şekillendirme çevrimi (Anonim_c 2015)

Oda sıcaklığında Ferrit&Perlit yapısındaki boron malzeme önce rulodan açınım kesilir. Açınımı ya da levha şeklindeki yumuşak malzeme (600Mpa) önce, istifleme (destacker) ünitesinde robot kollar vasıtasıyla konveyör merdaneler üzerine bırakılır (Şekil 2.4.2).

Sertleştirilebilmek için malzemenin 723°C'nin üzerinde ısıtılması gereklidir. Merdaneler sacı 900-950°C'deki fırın içerisine bırakılır. Fırın sıcaklığı farklı ısıtma bölgelerinden oluşmaktadır.

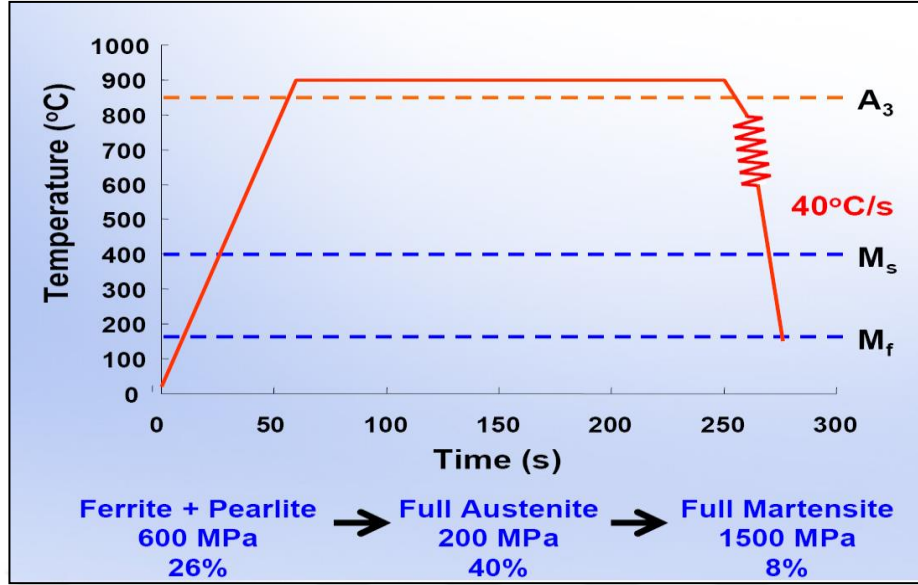
İlk kademede alüminyumun ergime sıcaklığı olan 600°C civarına ısıtılır ve başlangıçtaki Al-Si kaplaması, Fe atomlarıyla difüzyonla oksitlenmeyi önleyecek nihai kaplama oluşturulur.

Sonrasında yüksek şekil değişim kabiliyeti olan östenit (A₃) fazına geçer. Fırın sıcaklığı %100 östeniti sağlamak ve fırın çıkışında transfer süresinde ışınlama ile olan ısı transferi kaybı nedeniyle 900-950°C arasında seçilir (Şekil 2.4.2).

Geleneksel seri hatlarda genelde sürekli beslemeli merdaneli fırınlarla yapılmaktadır. Seramik ya da ısıya dayanıklı çelik merdaneler, aksel dönme hareketi ile fırın içerisindeki sacı istifleme ünitesinden merkezleme masasına doğru sürerler.

Son zamanlarda özellikle Japonya'da yerden tasarruf için raflı fırınlar da kullanılmaktadır. Modern hatlarda fırın uzunluğu hat tipine göre 35-70m arasında değişmektedir. Eski seri hatlarda dolap tipi hazneli fırınlar da kullanılmıştır.

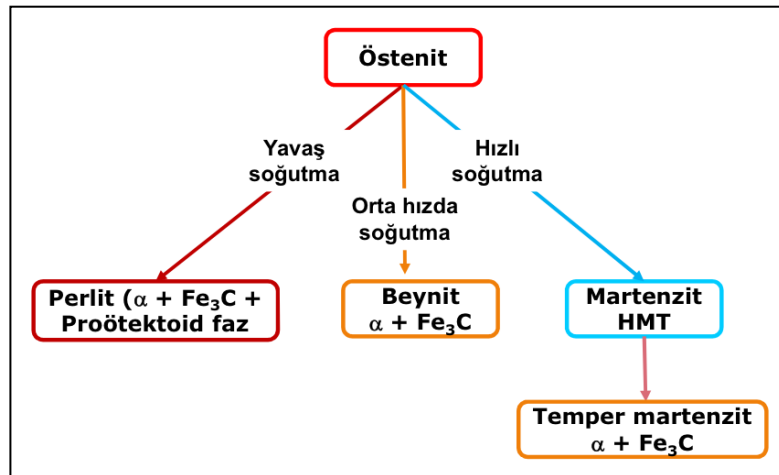
Fırın içerisinde sac malzemesine ve kalınlığına göre 3-10dk. arasında bekletilmektedir. Fırınlanma süresi bittikten sonra sac levha (ya da Sıcak Şekillendirme türüne göre endirek ise ön şekillendirilmiş ürün) hızlı bir şekilde merkezleme masasına getirilir. Fırında tutma süresi kontrollü bir şekilde yapılmalıdır, aksi halde parçanın boya ve kaynak kabiliyeti etkilenecektir.



Şekil 2.4.2. Termomekanik çevrim (Dongwei 2012)

Fırın çıkışında transfer sistemi çıkan sacı hızlı bir şekilde pres içerisindeki su soğutmalı kalıbın içerisine bırakır. Transfer sisteminde sıcak levhanın mümkün olan en kısa sürede fazla ısı kaybına uğramadan kalıba taşınması ve şekillendirmenin 420°C M_s sıcaklığından önce tamamlanması sağlanmalıdır (Şekil 2.4.2). Aksi halde sakız kıvamında ve mükemmel uzamaya sahip östenit fazının form verebilme özelliğinden yararlanılamaz ve faz dönüşüm esnasında form verilmeye çalışılır. Düşük sıcaklığın form verebilmeye olumsuz etkisi vardır. Sac kalınlığına bağlı olarak transfer süresinde $150\text{-}250^{\circ}\text{C}$ arası ısı kaybı yaşanabilir.

Su kanallı form verme ve sertleştirme kalıbı sıcak şekillendirme proses zincirinin en önemli halkasıdır. Nihai ürünün mukavemetini ve metalürjik özelliklerini belirleyen en önemli etkendir. İstenilen hızda soğuma olmazsa malzemede istenmeyen içyapılar oluşabilir ve bu da çarpışma performansını etkilemektedir (Şekil 2.4.3-Şekil 2.4.4).



Şekil 2.4.3. Soğuma hızına göre oluşan yapı

Mikroyapı	Mevcut fazlar	Fazların düzeni	Göreceli mekanik özellikler
Sferoid	α -ferrit+Fe ₃ C	α -Ferrit matris içerisinde nispeten küçük küresel Fe ₃ C partikülleri	Yumuşak ve sünek
Kaba perlit	α -ferrit+Fe ₃ C	Tekrarlanan nispeten kalın α -ferrit ve Fe ₃ C plakaları	Sferoid'den daha sert daha mukavemetli, fakat sferoid kadar sünektir.
İnce perlit	α -ferrit+Fe ₃ C	Tekrarlanan nispeten ince α -ferrit ve Fe ₃ C plakaları	Kaba perlitten daha sert daha mukavemetli, fakat kaba perlit kadar sünektir.
Beynit	α -ferrit+Fe ₃ C	α -ferrit matris içinde oldukça ince ve uzamış Fe ₃ C partikülleri	Sertlik ve mukavemet ince perlitten daha fazla, sertlik mukavemetten daha az, süneklik martenzitten daha az.
Temper martenzit	α -ferrit+Fe ₃ C	α -ferrit matris içinde oldukça ince ve uzamış Fe ₃ C partikülleri	Mukavemetli; martenzit kadar sert değil, fakat martenzitten çok daha sünek
Martenzit	HMT, tek faz	İğne-şekilli taneler	Çok sert, çok kırılğan

Şekil 2.4.4. Mikroyapı özellikleri

Sıcak şekillendirme prosesinde hidrolik presler kullanılır ve kalıp AÖN'da soğutma zamanı boyunca pres bekleme özelliğine sahip olmalıdır (Anonim_a 2013).

Form verme tamamlanır ve kalıp içerisindeki su kanalları vasıtasıyla hızlı soğutma işlemiyle formunu tamamlamış parça ferrit&perlit yapı dönüşümüne fırsat vermeden martenzit fazına dönüştürülür (Şekil 2.4.5) (Karen ve ark. 2012)

dT/dt	HV ₁₀	
100 K/s	475	
80 K/s	470	
30 K/s	474	
25 K/s	473	
20 K/s	417	→ martensite + bainite
10 K/s	247	→ no ferrite
8 K/s	232	→ small amount of ferrite
3 K/s	182	→ small amount of pearlite

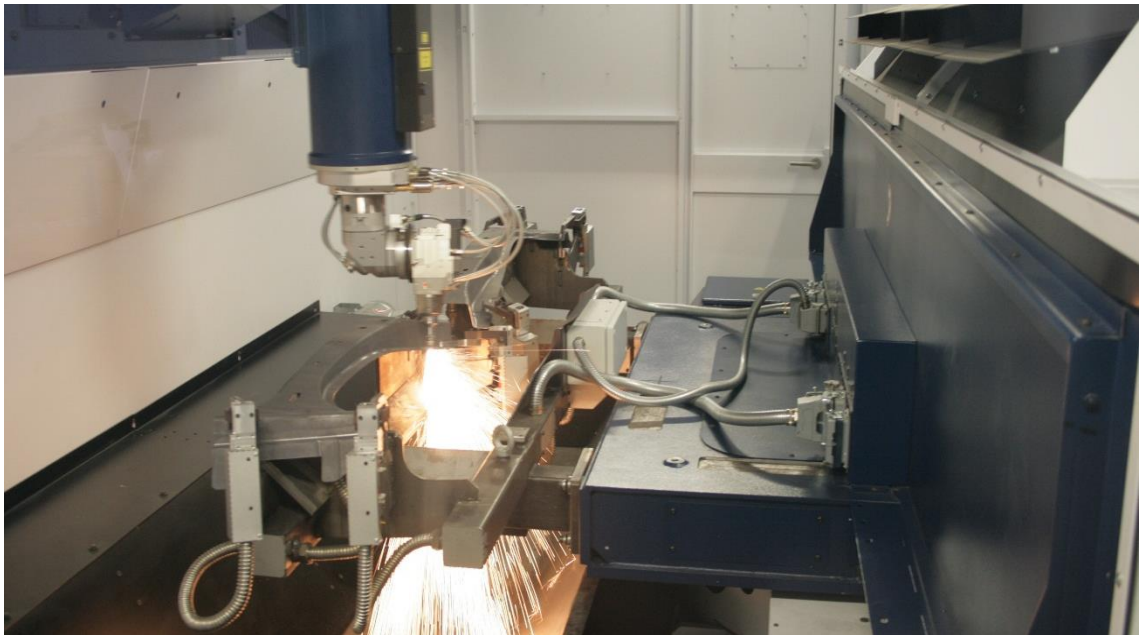
Şekil 2.4.5. Kalıp soğutma hızına göre oluşması beklenen yapı (Anonim_c 2015)

Proses başlangıcında yaklaşık 50KSI çekme dayanımına sahip sac, proses sonunda 200KSI çekme dayanımına sahip bir ürüne dönüşmektedir (Şekil 2.4.6) (Anonim_d 2014).

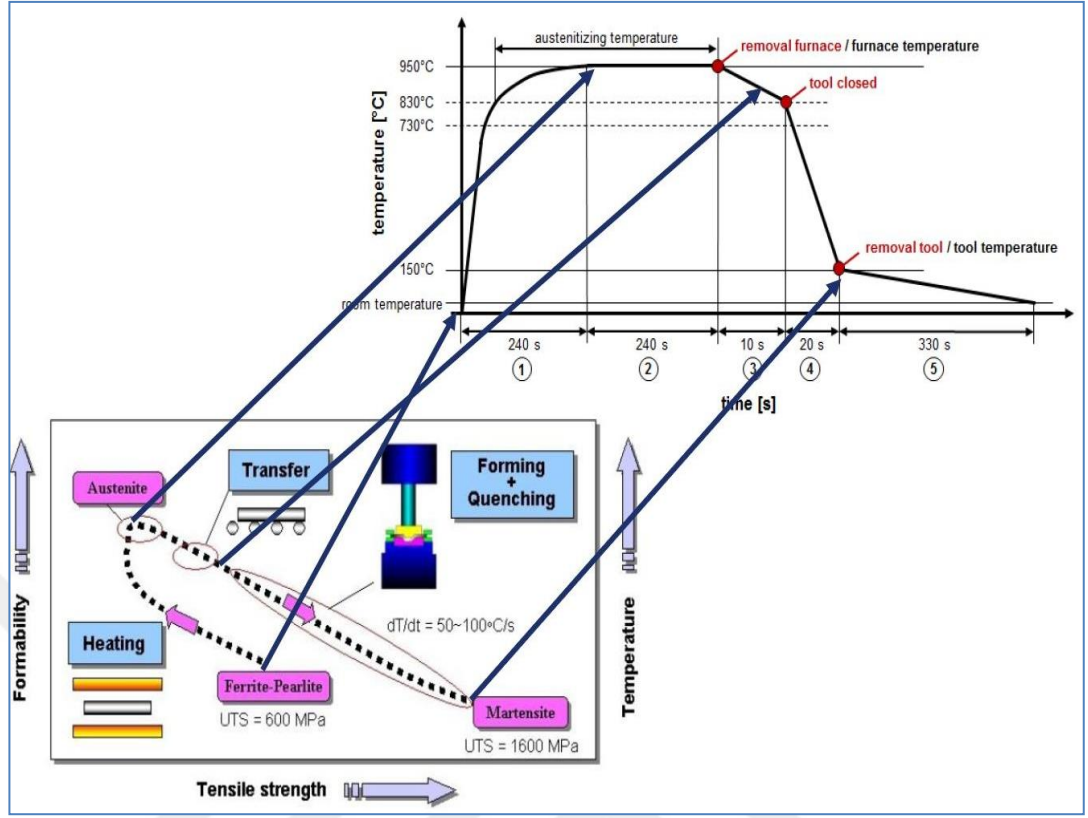
Sıcak Şekillendirme Öncesi			
	YS (MPa)	UTS (MPa)	e_f (%) $L_0 = 80$ mm $th < 3$ mm
Usibor® 1500	350 -550	500 -700	≥ 10
22MnB5	320 -550	500 -700	≥ 10
Sıcak Şekillendirme Sonrası			
	YS (MPa)	UTS (MPa)	e_f (%) $L_0 = 80$ mm $th < 3$ mm
Usibor® 1500	1100	1500	6
22MnB5	1100	1500	6

Şekil 2.4.6. Usibor-1500 özellikler-Arcelor (Anonim_e 2014)

Kaplamasız saclarda (22MnB5) pres sonrası kumlama (shutblast) ihtiyacı vardır. Kaplamalı (Usibor-1500) saclarda bu ihtiyaç ortadan kaldırılmıştır. Son olarak nihai ürün elde etmek için lazer kesim ya da küçük düz hatlara sahip konturlar için konvansiyonel kesim yapılarak proses zinciri tamamlanır (Şekil 2.4.7).

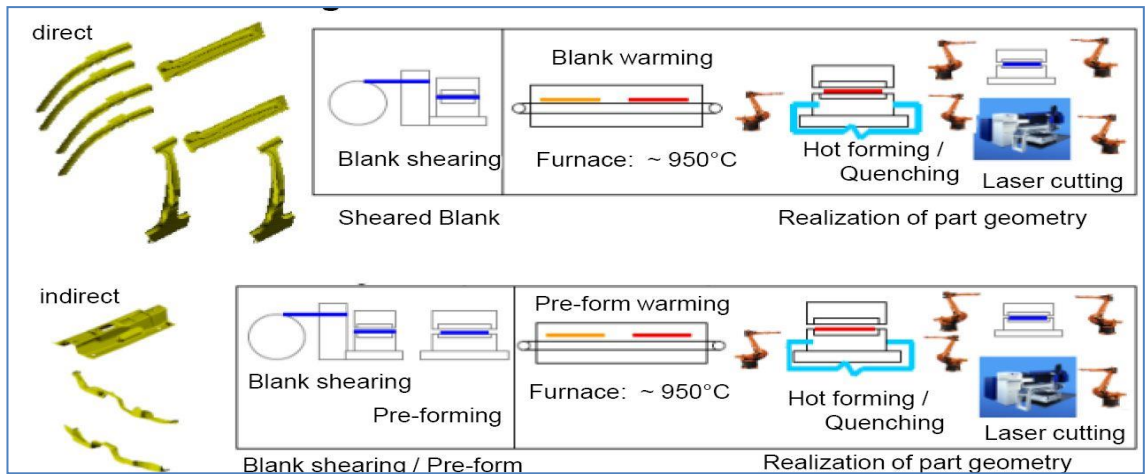


Şekil 2.4.7. Lazer kesim (Beyçelik-Gestamp)



Şekil 2.4.8. Sıcak şekillendirme prosesi (Anonim_c 2015)

Sıcak şekillendirme işleminde pek çok ısıtma yöntemi kullanılmakla birlikte, bu işlem doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı yolla gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.4.9) (Önal ve ark. 2012)



Şekil 2.4.9. Doğrudan (direk) ve dolaylı (en-direk) sıcak şekillendirme

(Anonim_a 2013)

Doğrudan (direk / tek adımlı) sıcak şekillendirme günümüzde en fazla kullanılan yöntemdir. Rulodan levha ya da genellikle ön kesme şeklinde kesilen sac 880-950°C arasında fırın içerisinde östenit fazına geçirilir. Daha sonra transfer sistemi ile (robot kollar ya da kartezyen feederlar) su soğutmalı kalıp içerisine transfer edilir. Kalıp pres ile kapatılır ve saca form verilir. Form ve ardından hızlı su verme tamamlandığında östenit fazındaki malzeme martenzit fazına dönüşmüş olur. Sertleştirme sonrası parça kalıp içerisinden çıkarılır ve ihtiyaç halinde lazer ya da kalıpla nihai delik ve dış hat kesimi yapılır. Geometri tekrarlanabilirliği için parçanın yaklaşık 200°C sıcaklığında kalıptan çıkarılması yeterlidir (Anonim_a 2013).

Dolaylı (endirek / çok adımlı) sıcak şekillendirmede ise rulodan kesilen sac öncelikle soğuk şekillendirme adım ya da adımlarını tamamlar. Bunun için konvansiyonel pres ya da hat ihtiyacı vardır. Verilecek form bölgesel ön şekil verme olabileceği gibi komple şekillendirme de olabilir. Kesme adımları ihtiyaç soğuk şekil verirken de yapılabilir. Sıcak şekillendirme prosesi daha çok yüksek mukavemetli kaplamasız saclarda yaşanan kalıp aşınma problemine çözüm olarak kullanılmaktadır. Kaplamasız malzemelerde ısı işlem esnasında ya da sonrasında yüzeyde tufal oluşumu gerçekleşme ihtimali vardır. Bu durum da kalıp yüzeyinde aşınmalara ya da oluşan tufallerin kalıp yüzeyine yapışarak geometriyi bozmasına neden olmaktadır. Soğuk şekillendirme sonrasında parça ihtiyaç olan sıcaklığa kadar ısıtılır ve genelde tekrar şekil vermeye ihtiyaç duyulmadan sadece soğutma yapacak kalıp içerisine transfer edilir. Hızlı su verme ile proses tamamlanmış olur. Doğrudan yöntemle göre ilave soğuk şekil verme prosesi olduğu için oldukça masraflıdır ve özellikle Al-Si kaplamalı sacların kullanımı yaygınlaştıktan sonra çok tercih edilmemektedir. 2015 yılı itibariyle dünya üzerindeki üretim hatları Şekil 2.4.10'da verilmiştir.



Şekil 2.4.10. 2015'te yaklaşık 270 sıcak şekillendirme hattı aktif üretimde olacak (Lehmann 2015)

2.5. Sıcak Şekillendirmenin Avantajları ve Dezavantajları

Sıcak şekillendirme prosesi özellikle son yıllarda emniyet Parçalarında artan mukavemet ihtiyacı, bununla birlikte çevreye duyarlı ve yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla tercih edilen alternatif bir imalat yöntemidir (Şekil 2.5.1). Yöntem özellikle kalıp imalatçılarının baş ağrısı olan UHSS malzemelerde yaşanan geri yaylanma ve kalıp aşınma problemleri nedeniyle yaygınlaşarak tercih edilmektedir.

Avantajları

- Karmaşık ve kompleks geometriler üretilebilir
- Proses öncesi 600MPa olan çekme mukavemeti proses sonrasında yaklaşık 1600Mpa seviyesine yükselir ve başlangıç değerine göre 3,5 kat daha fazla dayanım sağlar
- Sıcak şekillendirilmiş parça kullanılarak bazı iç takviye sacları elimine edilebilir
- Aynı mukavemet daha ince saclarla sağlanabilir
- Ağırlıktan tasarruf sağlanabilir
- Hafifletilmiş araçlarla yakıttan tasarruf sağlanabilir
- Daha mukavim ve yüksek çarpışma dayanımı sonuçları elde edilebilir
- Daha az yakıt nedeniyle daha az CO₂ emisyonları azaltılır
- Sıcak şekillendirme sonrası geri yaylanma (springback) yok denecek kadar azdır
- Östenit fazında şekillendirme yapıldığı için uzama değerleri çok yüksektir ve incelme riski olan parçalarda avantaj sağlar
- Form vermek için ihtiyaç olan kuvvet düşüktür, pres tonaj ihtiyacı daha düşüktür
- Yüksek mukavemetli sacların imalatına göre kalıp aşınmaları daha düşüktür
- Sıcak şekillendirme teknolojisi ile aynı parçada farklı bölgelerde farklı mukavemet değerleri elde edilebilir (Şekil 2.5.2)

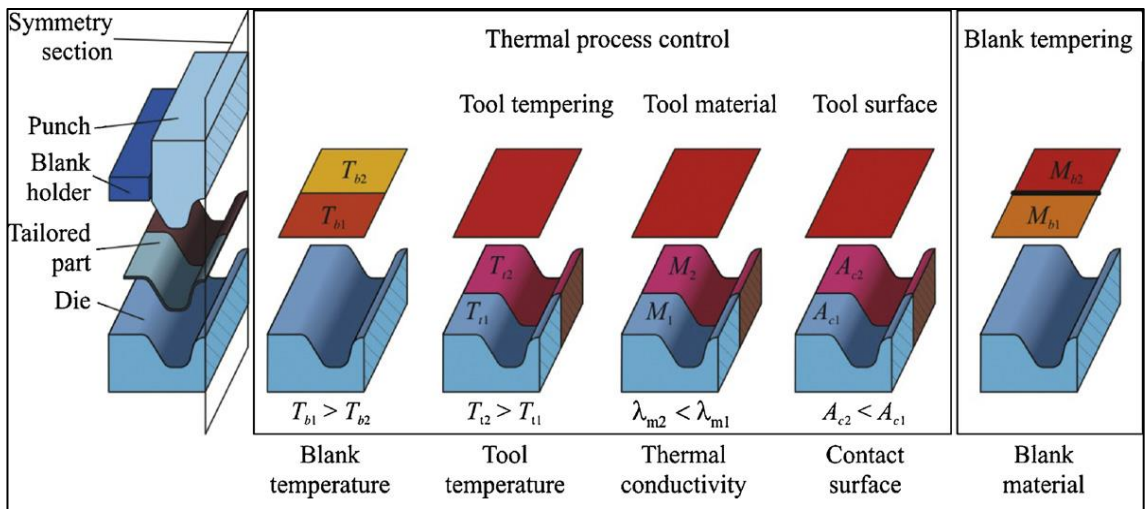


Şekil 2.5.1. Sıcak şekillendirmenin temel avantajları (Bayrak 2013)

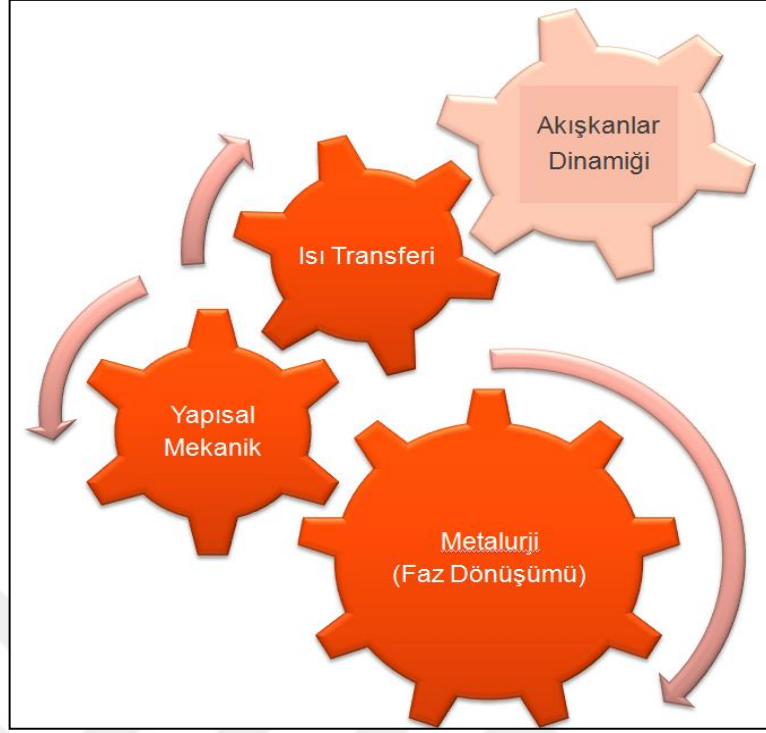
Sıcak şekillendirme prosesi sağladığı imkanlar nedeniyle birçok avantajı sağlamasına rağmen soğuk şekillendirmeye göre tecrübe eksikliği, ilk yatırım maliyeti gibi etkenlerden dolayı birtakım problem ya da ihtiyaçları da beraberinde getirmektedir (Anonim_d 2014, Eşiyok ve ark. 2012).

Dezavantajları

- Yüksek hat yatırım maliyeti
- Kalıp maliyetleri yüksek
- Kalıp imalat süreleri daha uzun
- Elektrik (ya da ısıtmak için kullanılan enerji) maliyeti yüksektir
- Kalıp ve hat bakım maliyetleri yüksektir
- Soğutma zamanı nedeniyle dakikadaki üretim adedi (PPM) düşüktür
- Hat ve pres için ısıtma sistemi, soğutma sistemi, bekleme süresi için hidrolik sisteme ihtiyaç vardır
- Sıcak şekillendirme kalıplarında su kanlı ihtiyacı vardır
- Sıcak şekillendirme prosesi multi-disipliner bir yöntem olduğu için uygulamada farklı disiplinler hakkında uzmanlık ihtiyacı vardır (Şekil 2.5.3)
- Prosesi yüksek sıcaklığa uygun emniyet şartlarına sahip olması gerekmektedir
- Yeni bir teknolojidir ve tecrübe/dokümantasyon eksikliği vardır
- Malzeme maliyeti yüksektir
- Sıcak şekillendirme sonrası tekrar form verilemez
- Lazer kesim ihtiyacı vardır
- Malzeme yelpazesi kısıtlıdır (bu konuda çalışmalar son yıllarda artmaktadır)
- Hem fizibilite hem de soğutma kanalı simulasyonu yapan program ihtiyacı vardır



Şekil 2.5.2. Bölgesel mukavemet (tailored properties) için farklı yöntemler (Karbasian ve Tekkaya 2010)



Şekil 2.5.3. Sıcak şekillendirme prosesinde gerçekleşen etkileşimler

Sıcak şekillendirme prosesinin karmaşık yapıda olmasından dolayı, prosesi tam olarak simüle etmek için proste meydana gelen tüm mekanik, termal ve mikro yapı olaylarını belirleyerek birbirleriyle olan etkileşimlerini tüm proses boyunca tespit etmek gerekmektedir.

Sıcak şekillendirmede LS-Dyna, PAMSTAMP, AUTOFORM ve ABAQUS FEA gibi ticari programlar kullanılmaktadır (Ravindran 2011, Skrikerud ve ark. 2012)

PAMSTAMP, hem fizibilite, hem de su kanalları tamamlanmış katı kalıp modelinin soğutma analizini yapabilmektedir. AUTOFORM kullanıcıları tamamlanmış fizibilite şartlarını sağlayacak su akış analizi için ilave soğutma kanalı analiz programı kullanılmaktadır.

2.6. Sıcak Şekillendirme Kalıp Teknolojisi

Soğuk şekillendirme kalıpları ile kıyaslandığında sıcak şekillendirme kalıpları daha karmaşık yapıya sahiptirler. Bütün başlıca nedeni çok yüksek termal yüklerle çalışıyor olmaları ve parçanın malzeme özelliklerinin tamamen kalıp ile sağlanıyor olması. Seçilen kalıp malzemesinin termal tokluğu yüksek ve ısıl iletkenlik katsayısının yüksek olması gerekmektedir. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek çelikler daha kısa zamanda soğutma yaptıkları için proses çevrim zamanını kısaltırlar. Fakat takım çeliği seçimi yaparken sadece ısıl iletkenlik katsayısı yeterli değildir. Çeliğin maruz kalacağı sıcaklık, kalıp ömrü, yıllık üretim adedi gibi etkenler de bakım ve periyodik değişim maliyeti açısından dikkat edilmesi gereken hususlardır.

70'li yıllarda kurulan hatlarda gerek fırın kapasitesi, gerekse transfer sistemindeki yetersizlikten dolayı kalıp soğutma zamanları çok dikkat edilen bir konu değildir. Gelişen teknoloji ile birlikte transfer sistemindeki süreler birkaç saniyeye kadar inmiş durumdadır ve kalıp soğutma sistemi tasarımı prosesi hızlandıran en hassas konudur. Son yıllarda soğutma kanalı optimizasyonu ile ilgili birçok akademik ve endüstriyel araştırma yapılmıştır ve yapılmaktadır.

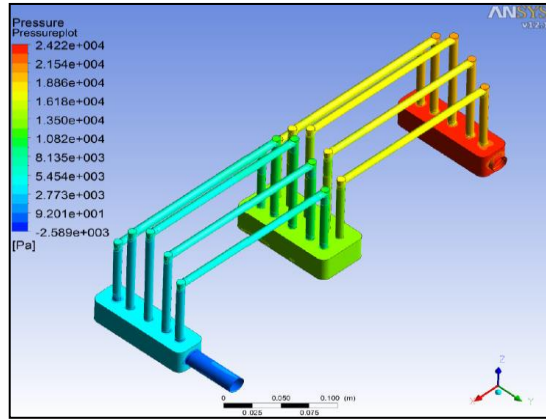
Soğutma sistemi tasarımı açısından sıcak şekillendirme kalıpları 3 gruba ayrılırlar;

- **Kabuk tasarım (crown-type / shell design)** : Çekirdeğin üzerine tersine su kanalları işlenmiş kapak monte edilir ve sonrasında kalıp yüzeyi işlenir. Suyun döngüsü doğru tasarlanırsa soğutma açısından en verimli olanıdır. Yüksek üretim adetlerinde tercih edilmez. Kalıp maliyeti en düşük olan sistemdir fakat seri üretimde kabuk kırılma riski çok yüksektir. Eskiden tercih edilen fakat günümüzde yerini soğutma kanallarına bırakan bir sistemdir. Suyun akışı doğru yönlendirilemediği takdirde suyun tekrar kullanılması ve ısınması nedeniyle kayıp zamanlar yükselir. Üretilen parçaların periyodik kontrollerinin yüksek olması gerekmektedir. Kırılma riski nedeniyle belli bir yüzey kalınlığı olması gerekmektedir.

- **Döngüsel soğutma kanalı tasarımı (Omega Design)** : Su kanalı döngüsünün her bir çelikte alt haznede toplanıp tekrar dağıtıldığı tasarım yöntemidir. Benteler'in kullandığı yöntemdir. Özellikle değişken kesitlerde soğutma kanalı tasarımı çok kolaydır (Şekil 2.6.1).

Suyun tekrar kullanılma ihtimali ve döngü nedeniyle alınan yolun uzaması ve dönüşlerdeki basınç kaybı sebebiyle soğutma verimi doğrusal soğutma kanalı yöntemine göre daha düşüktür.

Çelik imalat süreleri daha fazla su kanalı işlendiği için daha yüksektir ve montaj sonrası su kaçaklarını tespit etmek daha zordur. Birbiriyle öpüşen yüzeylerde hassasiyet gerektirmez. Su kanalı bitişlerinde Hasco kullanımı gerekmektedir. Yüzeyde bölgesel geçiş boşlukları vardır. Yüzeye en fazla yaklaşılabilen tasarım şeklidir.

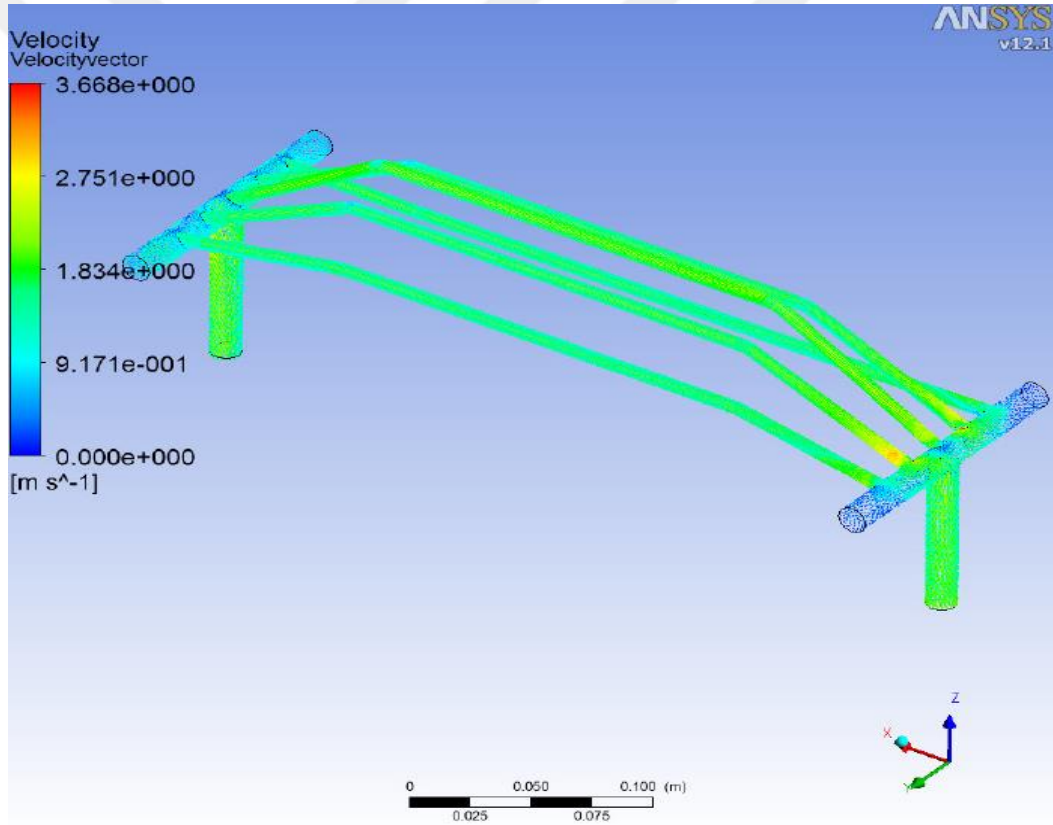


Şekil 2.6.1. Döngüsel soğutma kanalı tasarımı (Benteler)

- **Doğrusal soğutma kanalı tasarımı (Continuous cooling design)** : Soğutma bütün çelikler boyunca birbirini takip eden su kanalları ile yapılmaktadır. Gestamp'ın kullandığı sistemdir. Soğutma kanallarının tüm yüzeyi takip etmesi, her bir kanalın kendi içindeki suyu baştan sona kullanması ve basıncın değişmemesi nedeniyle soğutma verimi dögüsel tasarımdan daha yüksektir (Şekil 2.6.2).

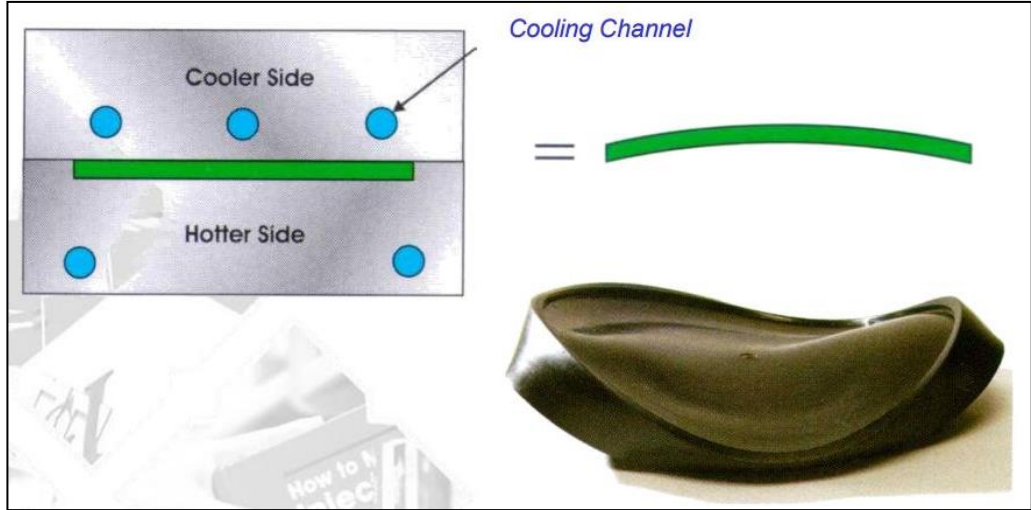
Daha az soğutma kanalı imalatı ve hasco kullanılmaması nedeniyle blok çeliklerin imalat süreleri daha kısadır.

Çelik montaj yüzeylerinde takip eden kanallar nedeniyle su kanallarının giriş-çıkış yerlerinde hassasiyet yüksektir. Finish hatasında bölgesel olarak çelikleri değiştirmek gerekmektedir. Sızdırmazlık testinde müdahale daha kolaydır (Eşiyok ve ark. 2011). Su kanalları conta kullanımı nedeniyle yüzeye belli emniyet mesafesinde olmalıdır.



Şekil 2.6.2. Doğrusal soğutma kanalı tasarımı (Beyçelik-Gestamp)

Parça üzerindeki enerjiyi homojen bir şekilde dağıtmak için soğutma kanalı tasarımı kadar yüzey kontakının da önemi vardır. Yüzeylerdeki boşluklar soğutma zamanını ve dolayısıyla verimliliği düşüreceği gibi, dengesiz ve homojen olmayan bir temas dağılımı parçada çarpımlara ve geometrik sapmalara neden olacaktır. Su kanallarının homojen (conformal) ve yüzeyi belli bir aralıkta takip eden deliklerden oluşması da önem arz etmektedir.



Şekil 2.6.3. Homojen olmayan su kanalı etkisi (Watcharakamol 2015)

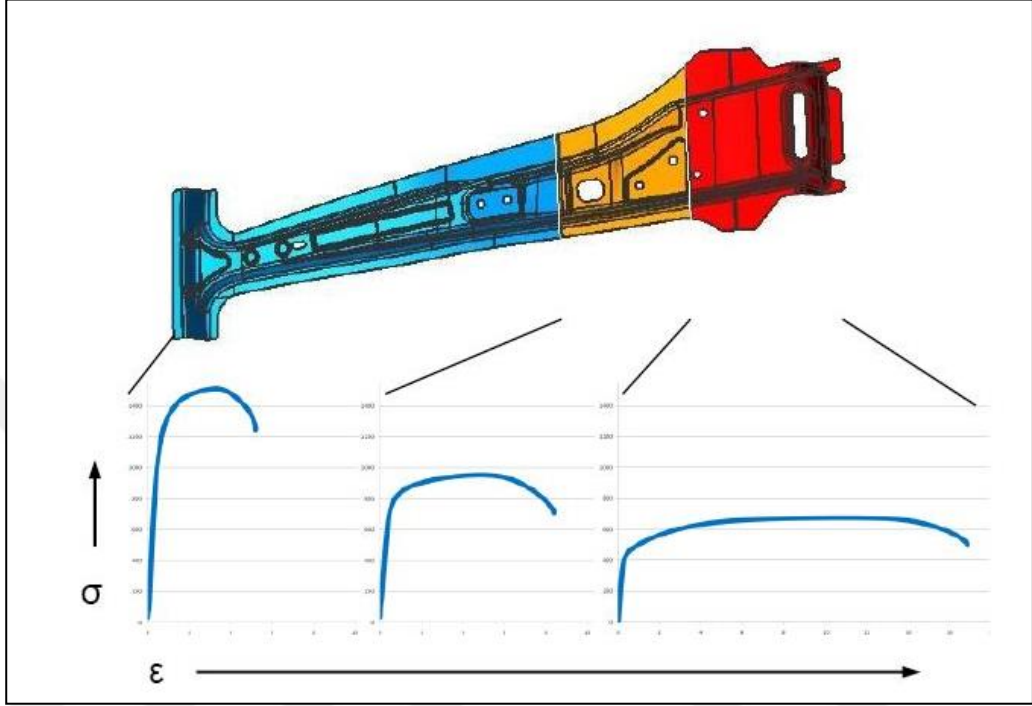
Mevcut analiz programlarının birçoğu soğutma kanalı simülasyonu yeteneğine sahip değildir. Fizibilite analizleri genelde kabuk şeklinde kalıp yüzeyini eşit ve mükemmel homojen bir sıcaklıkta kabul edip çalışmaları buna göre yapmaktadır. Homojen olmayan soğutma çarpımalara neden olmaktadır (Şekil 2.6.3). Fakat katı kalıp üzerindeki soğutma kanalları parça ve soğutma ile ilgili gerçek sonuçları vermektedir. Katı kalıp tasarımı tamamlandıktan sonra mutlaka kanalların kalıptaki yerleşimine göre soğutma analizi yapılmalıdır.

Sıcak şekillendirme parçaları araç üzerinde genelde çarpışma performansı beklenen bölgelerde kullanılırlar. Çarpışma türü ve parçanın araçta kullanıldığı yere göre bazen parçalardan homojen mukavemet yerine bölgesel olarak değişen mukavemet değerleri beklenmektedir (Şekil 2.6.4). Son yıllarda bu ihtiyacı karşılamak için gerek kalıp içerisinde, gerekse malzeme üzerinde çok fazla çalışma yapılmaktadır.

Literatürde tailored properties olarak geçen ve kullanıldığı yerin ihtiyacına göre dizayn edilen (Şekil 2.5.2) parçalarla ilgili çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan bir kısmı farklı kalınlıkta sacların kaynak edilmesi (tailor-welding), ya da farklı kalınlıkta sacların haddelenmesi (tailor-rolling), farklı özellikte iki malzemenin kullanımı (ductibor-usibor), bölgesel ısıtma (soft-zone) ve birbirine puntalı takviyeli sac (patch-work) kullanımı şeklindedir. Bütün bu çalışmaların ortak özelliği bölgenin ihtiyacı olan kuvvete göre malzeme ve kalınlık seçimi ve dolayısıyla ağırlıktan tasarruf ederek aracı hafifletmektir.

Yapılan bölgesel sertleştirme işlemlerinin bir kısmı kalıp içerisinde farklı yöntemlerle, bir kısmı da fırın içerisinde farklı zone'lar kontrollü şekilde ısıtılarak elde edilmektedir. Gestamp kalıp içerisinde belirli bölgenin ısıtılması, farklı ısıl iletkenliğe sahip çelik kullanımı ya da yüzey temasını azaltarak imalat yaparken Benteler prosesi fırın içerisinde yönetmektedir.

Bölgesel sertleştirme (Tailored properties) için analiz programları henüz tam anlamıyla endüstriyel ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Farklı kalınlıktaki ve farklı karakterdeki bölgelerin davranışı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 2.6.4. Farklı bölgelerin uzama eğrileri (Anonim_c 2015)

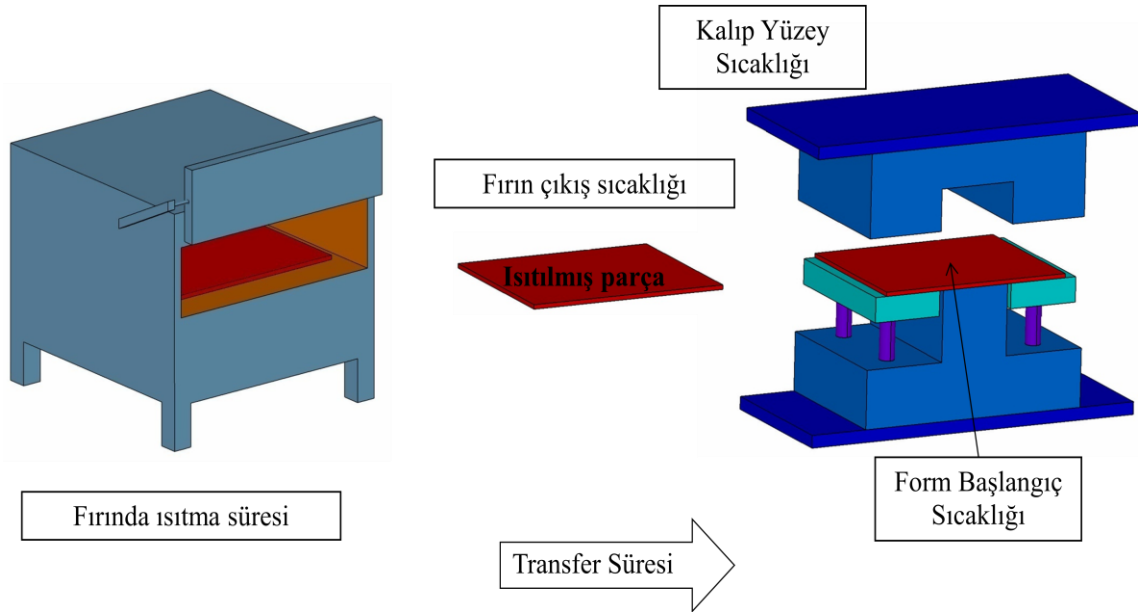
2.7. Ön Tasarım Çalışmaları ve Optimizasyon Parametreleri

Sıcak şekillendirme yöntemi; faz dönüşümü (metalurjik), ısı transferi (termal), akışkanlar mekaniği ve şekillendirme (mekanik) gibi bağdaşık farklı disiplinlerin gerçekleştiği çok fizikli bir işlemdir. Yöntemde kullanılan parametreleri kalıp içi ve kalıp dışı parametreler olarak iki gruba ayırabiliriz.

Proses içerisinde parçanın fırın içerisine bırakılmasından itibaren pres sonrası konveyöre taşınmasına kadar geçen süreçte fırın atmosfer şartlarından ortam sıcaklığına, malzeme özelliklerinden proses adımlarındaki zamanlara kadar bütün değişkenler çıkan sacın kalitesine, malzeme özelliklerine, kaynak ve boya kabiliyetine, çarpışma kriterlerine doğrudan etki etmektedir.

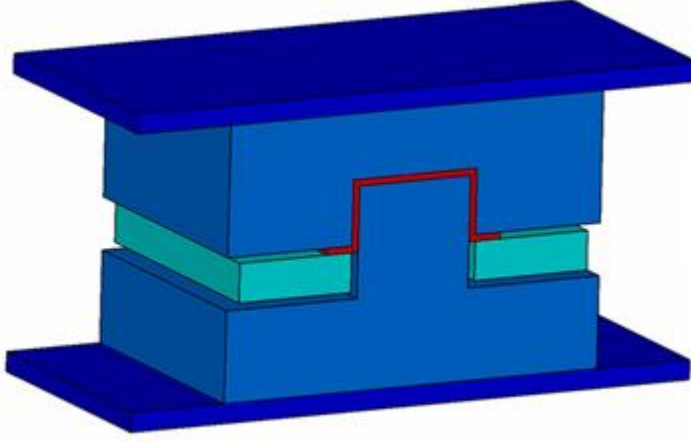
Bu çalışmada kalıp dışı parametreler literatürden ve seri imalatta yapılan ölçümlerden elde edilen veriler doğrultusunda girdi olarak hazır alınmış, kalıp içi parametreler de incelenerek en uygun tasarım modeli geliştirilmeye çalışılmıştır. Soğutma sıvısı olarak genellikle suyun kullanıldığı ve optimizasyon çalışmalarında genellikle soğutma kanal çapları, aralarındaki mesafeler ve kalıp yüzeyine olan mesafeleri optimizasyon parametreleri olarak alınmıştır. Amaç fonksiyonu olarak minimum soğutma zamanı seçilmiştir. Proses genel olarak 3 adımda incelenmiştir. İlk adım kalıp öncesi, diğer iki adım ise kalıp içerisinde geçen süreçtir.

BİRİNCİ ADIM: SAC MALZEMENİN ISITILMASI VE HIZLI BİR ŞEKİLDE PRESE TAŞINMASI



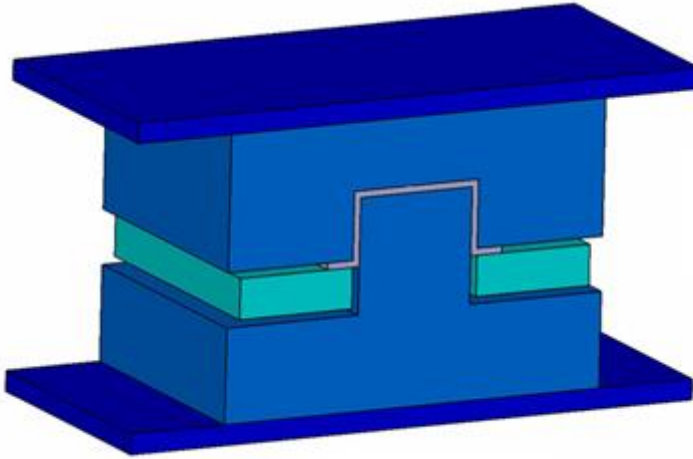
İlk adım sacın istifleme ünitesinden bırakılıp, kalıp içerisinde form öncesine kadar geçen zamanı kapsamaktadır. Fırın sıcaklığı, fırında tutma süresi, ısıtma hızı, fırından çıkış sıcaklığı, taşıma süresi, ortam sıcaklığı, sacın şekil vermeye başlangıç sıcaklığı gibi parametreleri içermektedir.

İKİNCİ ADIM: SAC MALZEMEYE HIZLI BİR ŞEKİLDE PRESTE FORM VERİLMESİ



İkinci adım form verme operasyonudur. Buradaki değişkenler ise pres deformasyon hızı, pres kuvveti, kalıp takımlarının kuvveti olarak değerlendirilebilir. Fizibilite çalışmalarını belirleyen tüm etkenler bu adımda değerlendirilir.

ÜÇÜNCÜ ADIM: SAC MALZEMENİN PRES ALTINDA SOĞUMAYA BIRAKILMASI



Üçüncü ve son adım ise form vermenin tamamlanıp, nihai parçanın presten çıkıp konveyör üzerine bırakılması adımlarını içermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Sıcak Şekillendirme kalıplarında proses tasarımı ve analiz aşaması sürecin başlangıcını ve aynı zamanda önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Form verme prosesi sıcaklık ve dolayısıyla faz dönüşümüne bağlı olarak değişkenlik göstereceği için fizibilite aşamasında örülen yüzeyler katı model için girdi olarak kabul edilir ve simülasyon bilgilerine göre katı kalıp tasarımı tamamlanır. Akabinde soğutma kanalı sayısı ve yerleri modellenir.

Katı model soğutma kanallarının parça fizibilitesi ile uygunluğu su kanallarının simüle edilmesi ile doğrulanır ve çıkan sonuç uygun içyapı ve çevrim süresi elde edilinceye kadar iterasyon yapılır.

Tasarım ve analiz çalışmalarında kullanılan programlar ve modüller sırasıyla;

- Kalıp yüzeyleri; Catia V5 R19 / Generative Shape Design
- Katı kalıp tasarımı; Catia V5 R19 / Part Design - Assembly Design
- Açınım kontur çalışmaları; FormingSuite
- Fizibilite analizleri; PAM-STAMP Professional 64-Bit 2015.0
- Soğutma kanalı analizleri; PAM-STAMP Professional 64-Bit 2015.0
- Soğutma suyu ve akış analizleri; ANSYS 14.5
- Soğutma kanallarına etki eden basınç analizleri; ABAQUS
- Finish işleme ve büyük parçaların imalatında Catia V5 R19 / Surface Machining
- Form çeliklerinin ve küçük parçaların imalatında Tebis R8

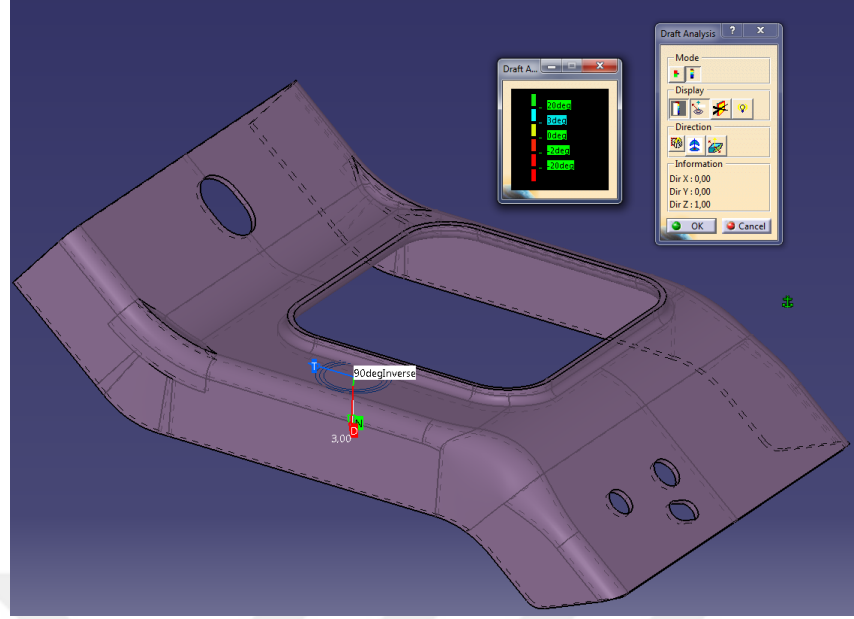
şeklindedir.

3.1. Proses Çalışması

Sıcak şekillendirme prosesinde de formlanabilirlik açısından şekil verme mantığı soğuk şekillendirme ile benzerlik gösterir. Minimum form verme deriliği ve orjinal model üzerinde şekil alacak yerlerin ters açıda olmaması kuralına göre matematik model pozisyonlanır.

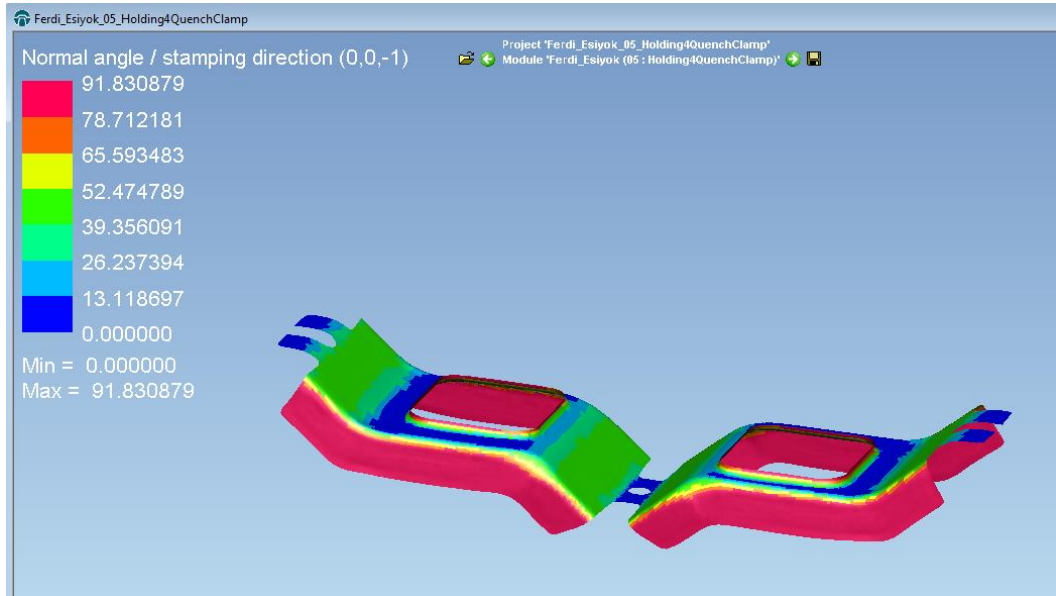
İşlem için Catia'da **Draft Analysis** komutu kullanılabilir. Seçilen bir kumpas yönüne göre yüzeyler üzerinde kullanılarak en uygun pozisyon belirlenebilir (Şekil 3.1.1).

Custimize view parameters ikonunda *materials* seçeneğinin aktif olması gerekir. Parça üzerinde kumpas gezdirilerek geometriye en uygun global kalıplama eksenini (pres çalışma yönüne göre) belirlenir.



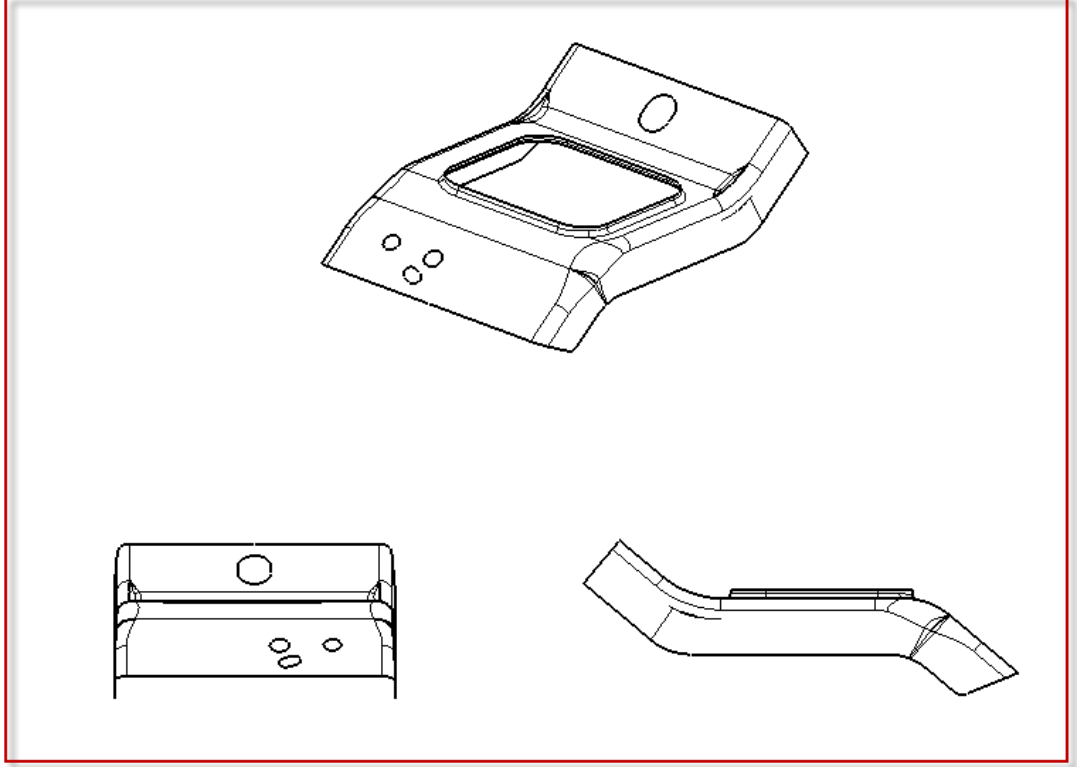
Şekil 3.1.1. Catia V5R19 Part Design Draft Analysis ters açı kontrolü

Alternatif yöntemle PAM-STAMP ile import edilen model *Display-Normal Angle/Stamping Direction-Undercut-Angle with normal* ile Global Axis System'e göre pozisyonun uygunluğu kontrol edilebilir (Şekil 3.1.2).



Şekil 3.1.2. Catia PAM-STAMP-Display-Normal Angle/Stamping Direction-Undercut-Angle with normal ile parça pozisyonlama

Matematik model müşteri beklentileri ve takip eden prosesler de dikkate alınarak çalışma pozisyonu belirlenmiştir (Şekil 3.1.3).



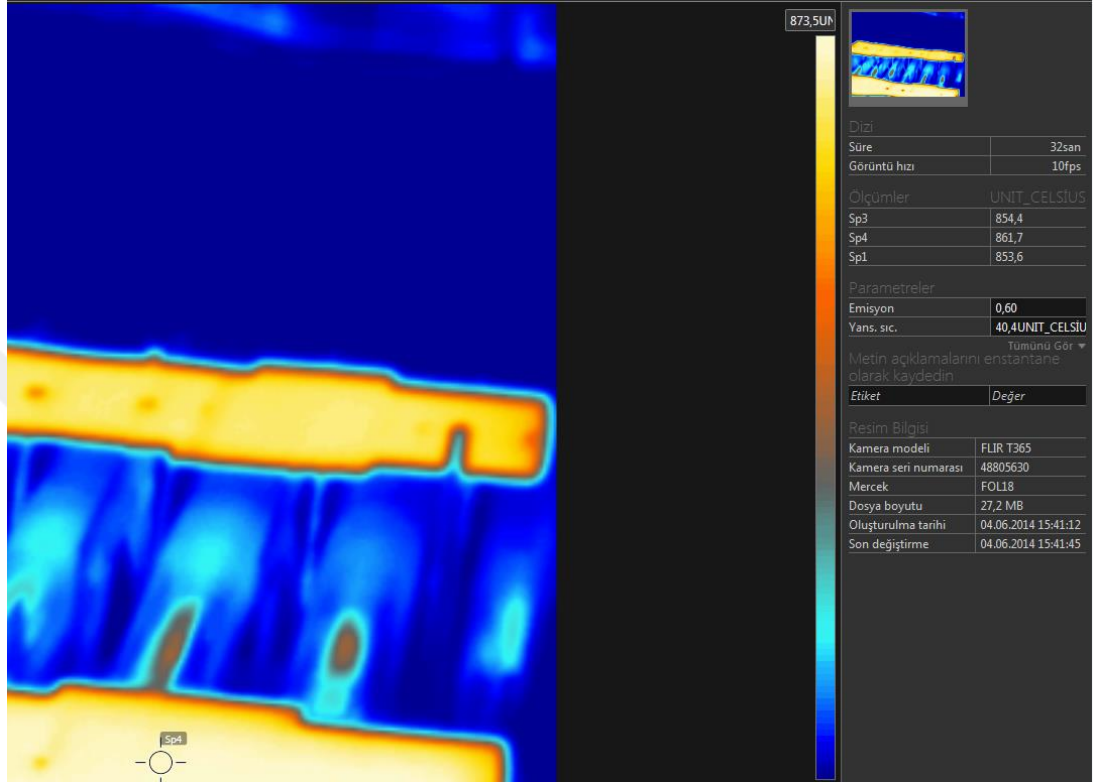
Şekil 3.1.3. Pres çalışma yönüne göre parça form verme pozisyonu

Parça pozisyonu belirlendikten sonra *Catina-Generative Shape Design* modülünde kalıp addendum yüzeyleri geliştirilmiştir. genel olarak prensip müşteri özel istekleri yoksa min. kalıp maliyeti ve en basit proses üzerinden gitmektir. Denemelere crashforming üzerinden başlanır ve çıkan sonuç yorumlanarak, ihtiyaca göre hareketli kalıp komponentleri ilave edilerek kalite beklentileri karşılanıncaya ve sonuç alınıncaya kadar çalışmalar devam eder.

Parçada maliyet düşürme çalışmaları için kalıplama sonrası lazer kesim hattını en aza indirmek için kalıp içerisinde baskı,tutucu gibi ilave toollar kullanılabilir. Bu durumda sacdan ve lazer kesimden kazanç sağlanabilir. Fakat bu durum kalıbı daha kompleks yapacak ve kalıp maliyetini artıracaktır. 2 opsiyon arasındaki maliyet için optimizasyon yapılmalıdır.

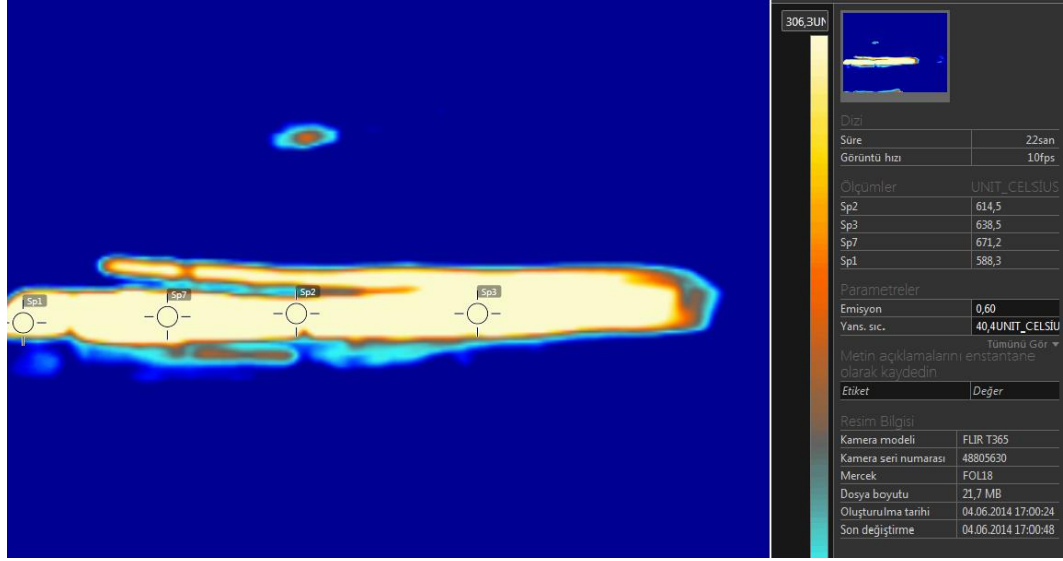
Proses maliyetini düşürmek için yerleşim **2 parça / strok** olacak şekilde yapılmıştır. böylece parça üzerine gelen pres proses maliyeti birim parçada yarı yarıya azaltılmış olacaktır.

PAM-STAMP ile simülasyonlara başlamadan önce seri şartlardan alınacak gerçek proses parametrelerine ihtiyaç vardır. Bu değerler analiz programında input olarak girilecek ve doğruluğu sonucu son derece etkileyecektir.



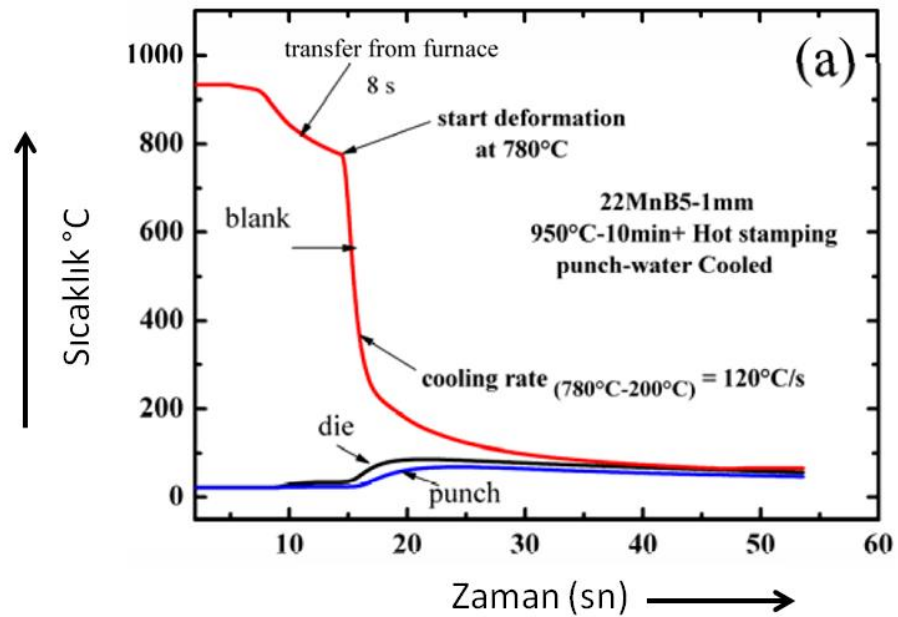
Şekil 3.1.4. Fırın çıkış sıcaklığı (Beyçelik-Gestamp Medium Line-1)

Sıcak şekillendirmede oda sıcaklığında ferritik-perlitik yapıdaki malzeme fırın içerisinde yaklaşık 950°C sıcaklıkta sac kalınlığına bağlı olarak 3-5 dakika fırın içerisinde östenit sıcaklığına çıkana kadar bekletilir. Parça homojen olarak östenit sıcaklığı ulaştıktan sonra fırınlama işlemi biter ve parça devam eden prosesler için rollerler üzerinde merkezleme ünitesine gelir. Şekil 3.1.4'de fırından merkezleme ünitesine, kalıba taşınmak için gelen sacın termal kamera ile ölçülen sıcaklık değerleri vardır. Malzeme ortalama sıcaklığı 850°C civarındadır ve tamamen östenit yapıdadır. Sac parça fırından çıkışta, kalıba transfer edilirken ve form verilmeden önce kalıp üzerinde ışınım ve iletimle ısı transferi nedeniyle ısı kaybeder. Proses içerisinde daha fazla ısı kaybını engellemek için proses adımları arasında geçiş çok hızlı yapılmalıdır ve mümkün olduğu kadar ısı kaybı engellenmelidir. Fırın çıkışı sonrasında atmosferle olan etkileşim nedeniyle sıcaklık kaybı yaşanmaktadır. Korunmuş atmosfer şartları ısı kaybını önleyecektir.



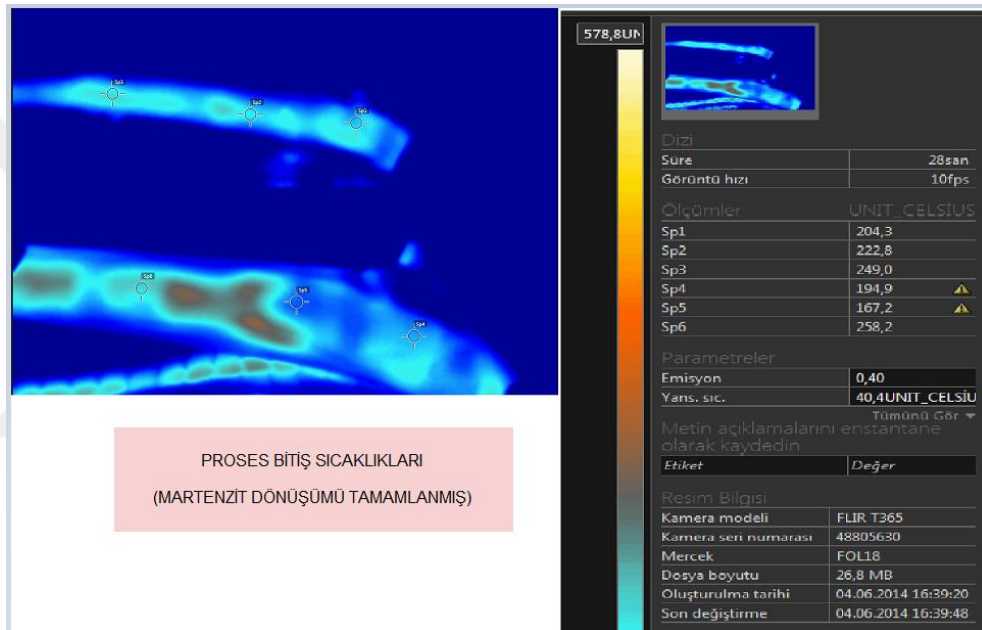
Şekil 3.1.5. Proses başlangıç sıcaklığı (Beyçelik-Gestamp Medium Line-2)

Sacın merkezleme ünitesinden kalıp içerisine transferi esnasında da atmosferle olan etkileşimden dolayı ışınlı ısı transferi gerçekleşmektedir ve bu süre zaman bağlı olarak ne kadar artarsa ısı kaybı da o kadar fazla olacaktır (Şekil 3.1.6). Sıcaklığın 780°C'nin altına düşmesi durumunda yapı tamamen martenzite dönüşmeyecek, mikroyapıda bir miktar beyrit ve ferrit oluşacaktır. Bu da şekil verme sonrasında istenen mukavemet değerinin elde edilememesine sebep olacaktır.



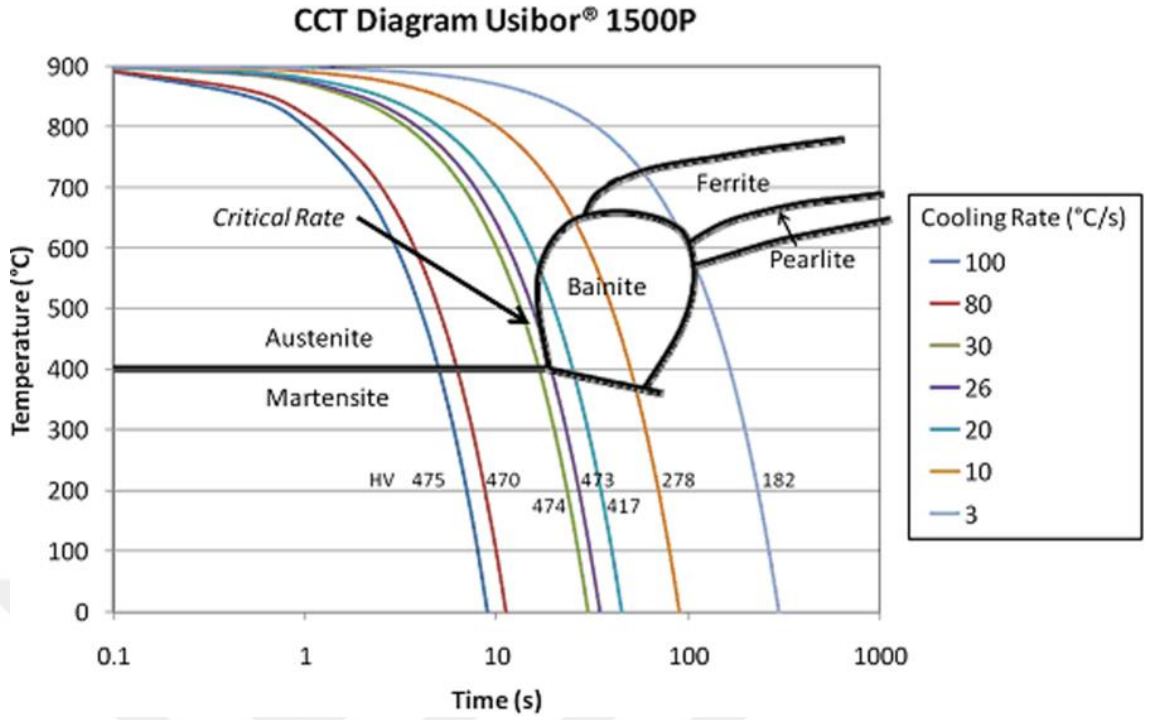
Şekil 3.1.6. Proses sıcaklık değişimi (Naderi 2007)

Şekil 3.1.5.'de ölçüm sonucu ortalama 650-700°C görülmektedir. Form verme için kritik sıcaklık değeridir. Proses sonunda birtakım kalıntı beyrit ve ferrit oluşumu beklenmektedir. Sıcaklığın 550°C'nin de altına inmesi form vermeden yapısal dönüşümün başlama riskinden dolayı aynı zamanda formlama esnasında da problemler oluşturacaktır. Faz dönüşüm esnasında form verilmeye çalışılacak ve malzeme sünek davranış göstermeyecektir. Bu durumda da form esnasında yırtılma ve çatlak oluşumu görülebilecektir. Dolayısıyla simülasyon programının doğru sonuç verebilmesi için doğru verilerin girilmesi gerekmektedir.

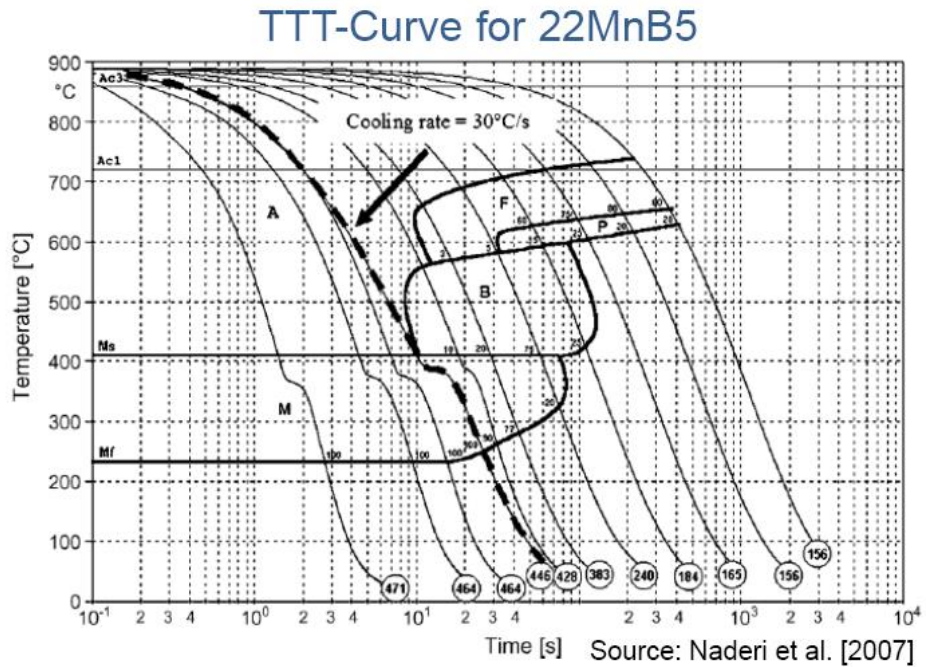


Şekil 3.1.7. Proses bitiş sıcaklığı (Beyçelik-Gestamp Medium Line-2)

Şekil 3.1.7'de ölçülen değerlere göre parça tamamen Mf dönüşüm sıcaklığının altına düşmüş ve gerekli olan sıcaklık dönüşümü tamamlanmıştır. Fakat mikroyapıda martenzit dönüşümü için sadece çıkış sıcaklığının Mf'in altında olması yetmez. Aynı zamanda proseste kullanılan Usibor-1500 için Sürekli Soğuma Dönüşüm (CCT-Continuous cooling transformation) eğrisine göre kalıp içerisinde hızlı soğuma gereklidir. Martenzit dönüşümü için kritik soğuma oranı min. 30K/sn'dir (Şekil 3.1.8-Şekil 3.1.9). Bu oranın üzerinde soğuma hızlarında kalıptan çıkış sıcaklığı 200°C'nin altında bile olsa içyapı da istenmeyen karbitlerin oluşumu muhtemeldir. Dolayısıyla hızlı soğuma için kalıp içerisindeki soğutma kanalı tasarımı oldukça önemlidir.



Şekil 3.1.8. Usibor-1500 Sürekli Soğuma Dönüşüm (CCT-Continuous cooling transformation) Diyagramı (Fan ve ark. 2009)

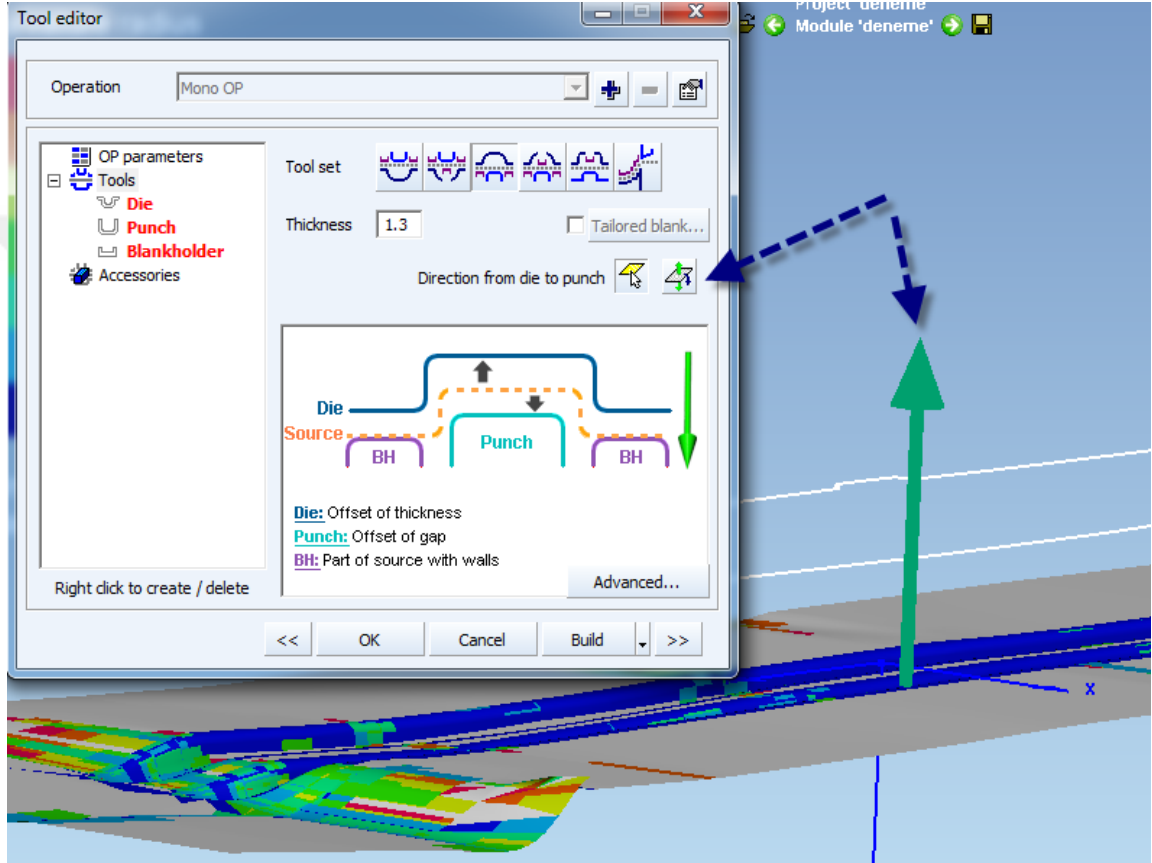


$A_{C1} = 720^{\circ}\text{C}$	$M_s = 410^{\circ}\text{C}$
$A_{C3} = 845^{\circ}\text{C}$	$M_f = 230^{\circ}\text{C}$

Şekil 3.1.9. Faz dönüşüm diyagramı (Naderi 2007)

3.2. Fizibilite Analizleri

Proses değerleri sonrasında PAM-STAMP içerisine yüzeyler hazırlanarak Catia'da geliştirilen addendum yüzeyleri program içerisine import edilir. *Tool editor*'den prosesin tanımı, sac kalınlığı ve ofset yönü belirlenir. (şekil 3.2.1)



şekil 3.2.1. Tool editor (PAM-STAMP)

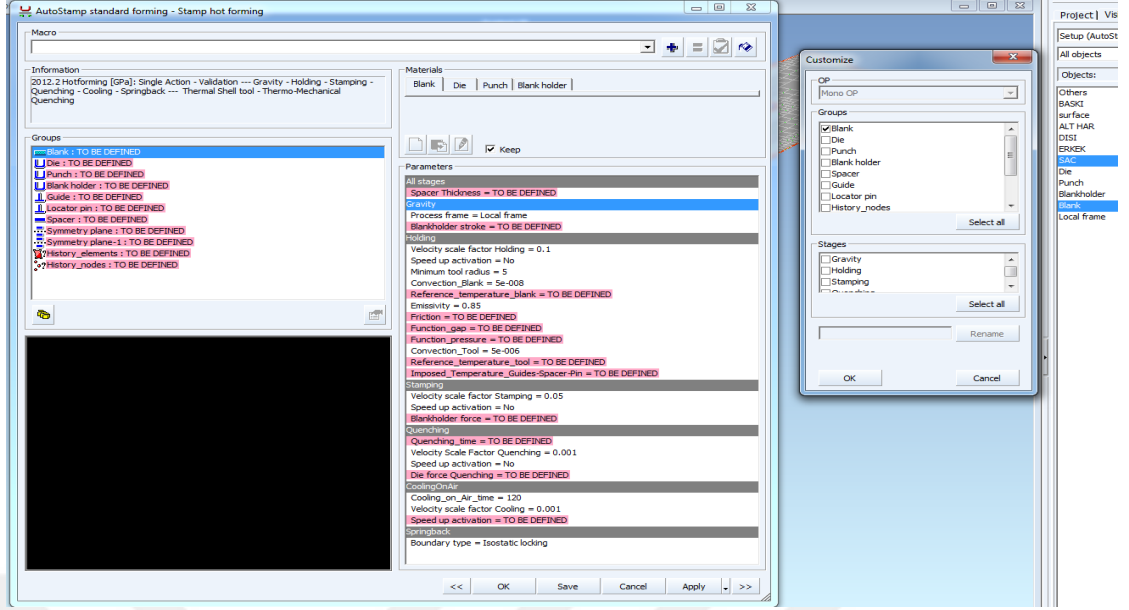
Yüzeyler ve tool'lar eşleştirildikten sonra *Blank editor*'den sacın tanımlaması Usibor için 22MnB5-Gpa olarak (mm.kg.ms.C birim sistemi) yapılır ve sac kalınlığı 2,2mm olarak girilir.

Malzeme : Usibor-1500 (22MnB5-Alsi-Gpa.... mm.kg.ms.C)

Kalınlık : 2,2mm.

Proses başlangıç sıcaklığı : 750°C

Proses başlangıç fazı : %100 stenit



Şekil 3.2.2. Proses penceresi (PAM-STAMP)

Malzeme tanımlandıktan sonra prosesle ilgili girişler yapılır (Şekil 3.2.2).

Blankholder stroke = Gravity pozisyonunda Blankholder'ın açık haldeki pozisyonunu belirtir. Hareket yönü (+Z) aşağı doğru kabul edecek olursak pot aşağıda operasyonlar için(-) yönde girilecektir.

Spacer Thickness= Pot ile üst kalıp arasında (ya da hareket grupları arasında) sac boşluktan açacak ise buraya tanımlanır. Aksi halde "0" yazılır.

Velocity scale factor Holding= Analizde belirtilen pres hızının gerçek hıza göre çarpanı. Örneğin Pres hızı 400mm/sn ise ve analizde hız 4m/sn olarak belirtilmişse 0,1 ile çarpılarak press hızına uygun analiz yapılır. Holding için bekleme süresinden kaynaklanan ısı kaybı, Stamping için deformasyon hızı etkilenir. Bu değere göre malzeme yapısal değerleri değişkenlik gösterir.

Reference temperature blank= Atmosfer sıcaklığını belirtir. Hava ile olan ışınlama ısı transferinin bulunabilmesini sağlar.

Function gap= H-press_Gpa seçilir.

Function pressure= H-press_Gpa

Reference temperature tool= Kalıp yüzeyindeki sıcaklığı belirtir.

Blankholder force= Pot kuvveti (Gpa olarak, 200Gpa=20ton)

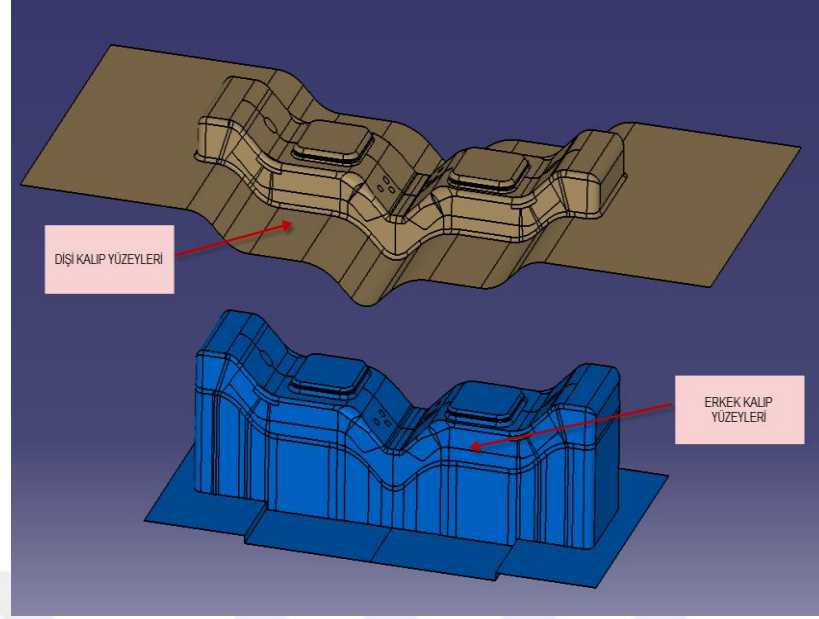
Quenching_time= Öngörü soğutma zamanını verir. Girilen süreye göre proses sonuçları incelenir ve iterasyon yapılarak sonuca gidilir.

Die force Quenching= Soğutma esnasında uygulanan press kuvvetidir. (300 ton) Pres kuvveti artırılarak basınca bağlı ısı transfer katsayısı artırılır ve soğutma zamanı düşürülebilir.

Gravity
Process frame = Local frame
Blankholder stroke = -20
Holding
Spacer Thickness = 0
Velocity scale factor Holding = 0.1
Speed up activation = Yes
Minimum tool radius = 5
Convection_Blank = 5e-008
Reference_temperature_blank = 25
Emissivity = 0.85
Friction = 0
Function_gap = H-gap_GPa
Function_pressure = H-press_GPa
Convection_Tool = 5e-006
Reference_temperature_tool = 50
Stamping
Velocity scale factor Stamping = 0.05
Speed up activation = Yes
Blankholder force = 200
Quenching
Quenching_time = 5
Velocity Scale Factor Quenching = 0.001
Speed up activation = No
Die force Quenching = 3000

Şekil 3.2.3. Proses değerleri

Şekil 3.3.3'te görülen proses verileri tanımlandıktan sonra fizibilite ile ilgili sonuçlar elde etmek için analiz çalıştırılmıştır.

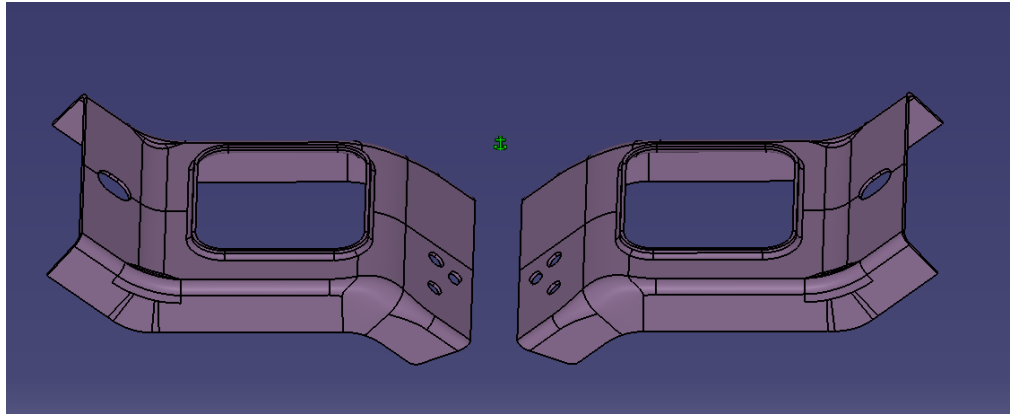


Şekil 3.2.4. Dişi-erkek kalıp yüzeyleri

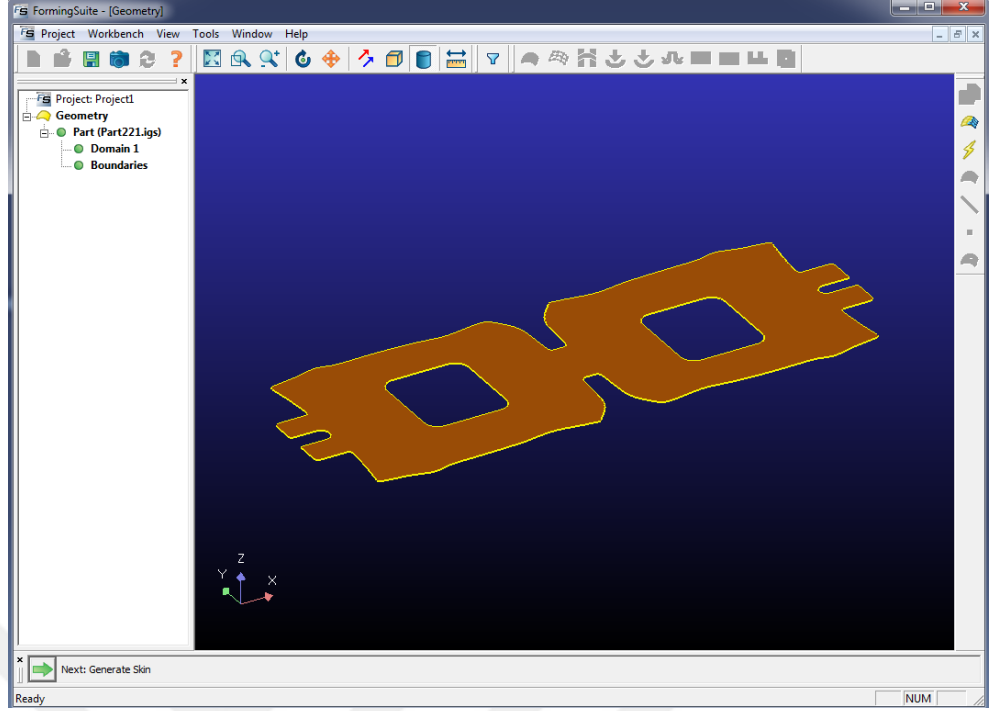
Şekil 3.2.4'te crashforming için tek adımlı yüzeyler geliştirilmiş ve koşturulan analiz başarısız olmuştur. Kalıp kapanma esnasında yüzeyde üst üste binmeler oluşmuş ve analiz tamamlanamamıştır.

Kalıpta kapanma problemini ortadan kaldırmak için proste ortaya baskı ilavesi yapılmıştır. Yapılan denemeler parçanın orta bölgesi için sonuç vermiş fakat yan duvarlarda kavisli bölgelerde aynı binmeler devam etmiş ve bu durum da yan duvarlar için pot ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Giren sacın 2 tarafına hurdada kalacak ve daha sonra lazerde kesilecek şekilde dayama pim yeri ilave edilmiş ve geometrinin açınım konturu **FormingSuite** programı ile bulunarak dayama yerleri Catia'da ilave edilmiştir. Şekil 3.2.5'te parçaların kalıp üzerindeki yerleşimi verilmiştir.

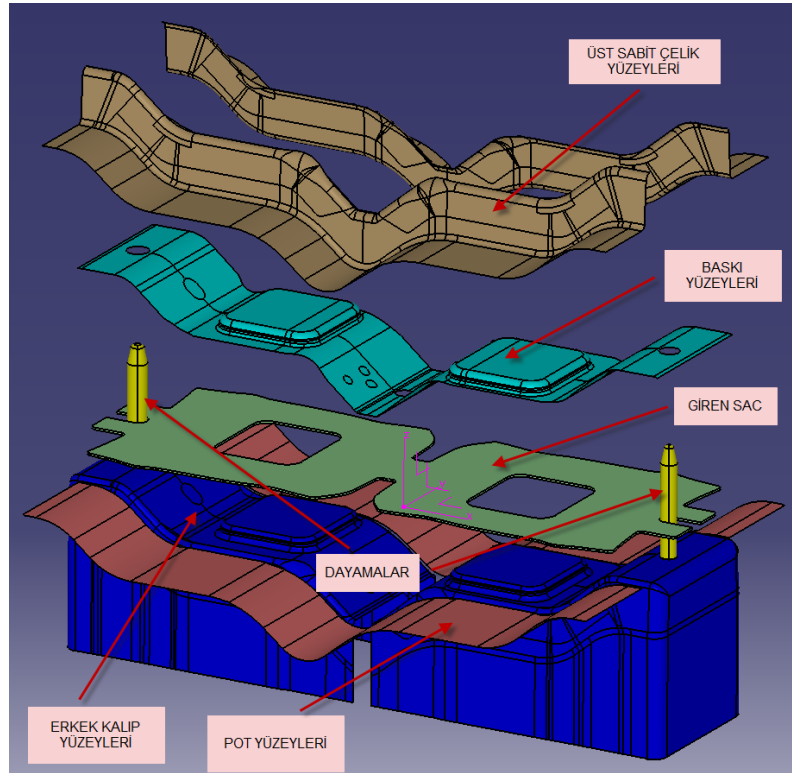


Şekil 3.2.5. Parçaların kalıp üzerinde yerleşimi



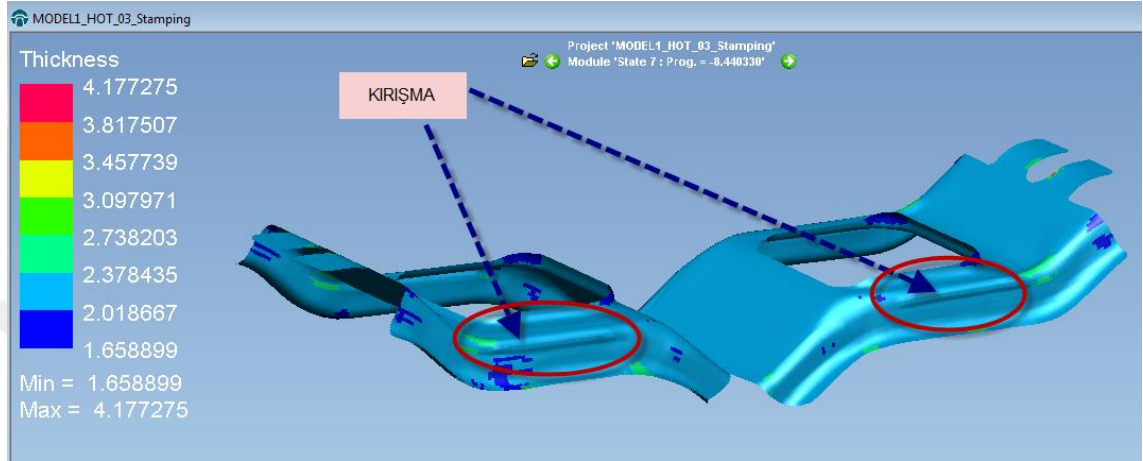
Şekil 3.2.6. FormingSuite parça açınım konturu

Dayama ve pot ilavesi ile oluşturulan kalıp elemanları PAM-STAMP programına import edilmiş ve yeni analiz koşuturulmuştur (Şekil 3.2.6-Şekil 3.2.7).



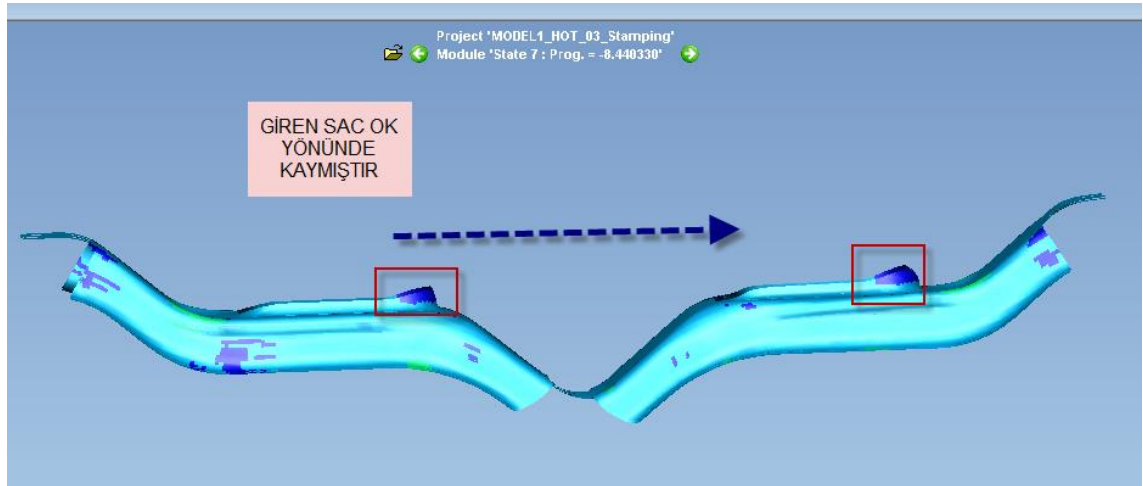
Şekil 3.2.7. Kalıp elemanları (pot ilaveli)

Burada kontrol edilmesi gereken en önemli parametre pot boşluğudur. Pot boşluksuz olarak koşturulan ilk simülasyon yarım kalmış ve parça hamur kıvamında analiz edildiği için soğuk şekillendirmedeki gibi davranış sergilememiş ve erkek radyüs bölgesinden ayrılmıştır(Şekil 3.2.8). Pot boşluğu 5mm'ye çıkarılmış ev araya dengeleyiciler konularak analiz tekrar edilmiştir.



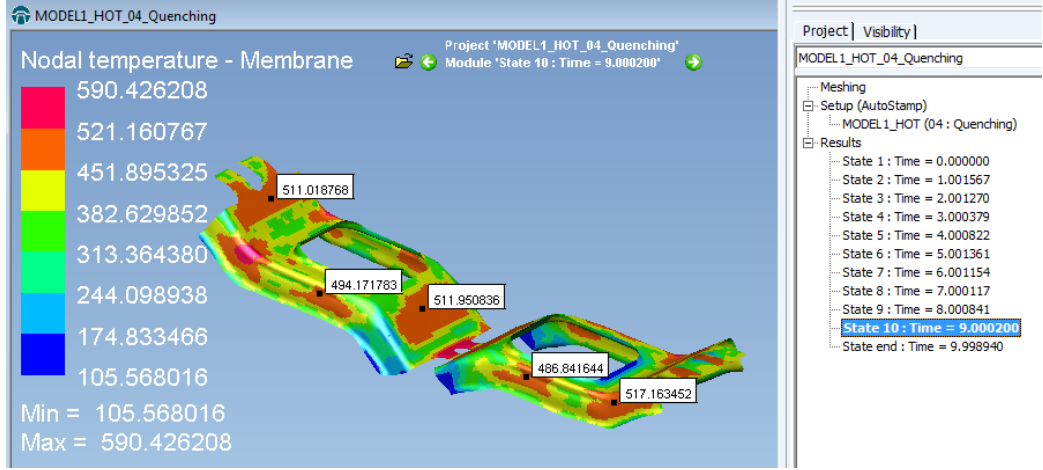
Şekil 3.2.8. Pot boşluğu yetersiz, kırışma

Eteklere birtakım kırışıklıklar görülmüş ve parçanın orta kısmının şekillendirme esnasında kontrol edilemediği tespit edilmiştir (Şekil 3.2.9).

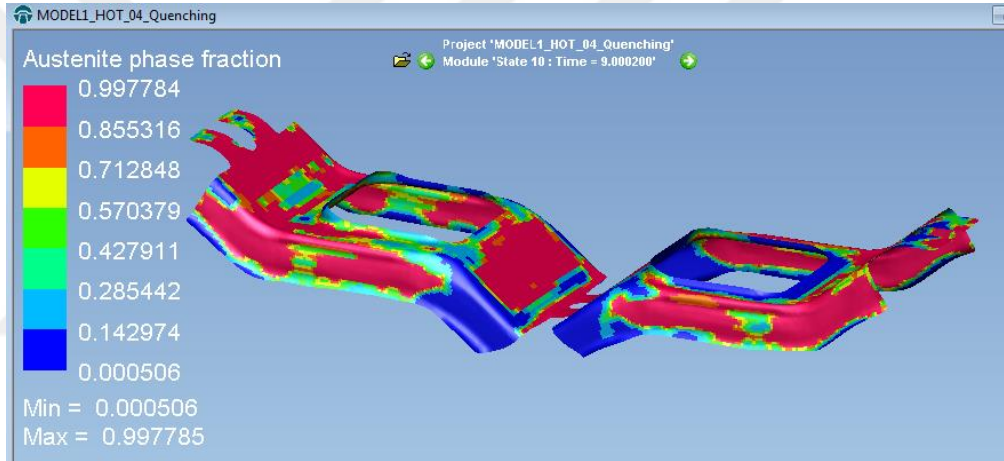


Şekil 3.2.9. Orta bölge kapanma esnasında kontrolsüz hareket ediyor

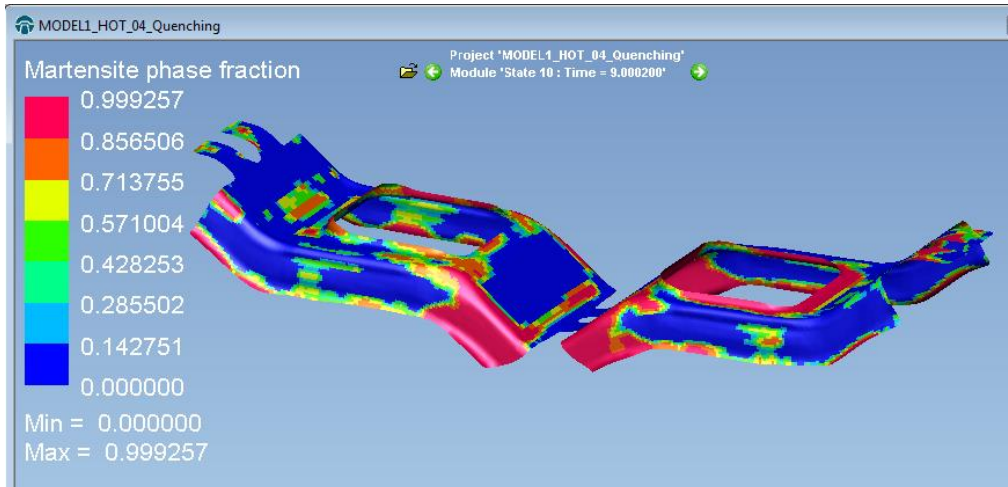
Sacın hareket etmesi alt ölü noktada baskı ve duvarların kırışma nedeniyle kapanmasını etkilemiş ve soğutma zamanı literatüre göre yüksek çıkmıştır. PAM-STAMP *Display-Thermic-Nodal temperature* ile yapılan kontrollerde 10sn soğutma zamanında henüz martenzit dönüşümünün tamamlanmadığı ve parça ortalama sıcaklık değerinin 500°C'nin üzerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.2.10. 10 saniye sonunda parça sıcaklık dağılımı

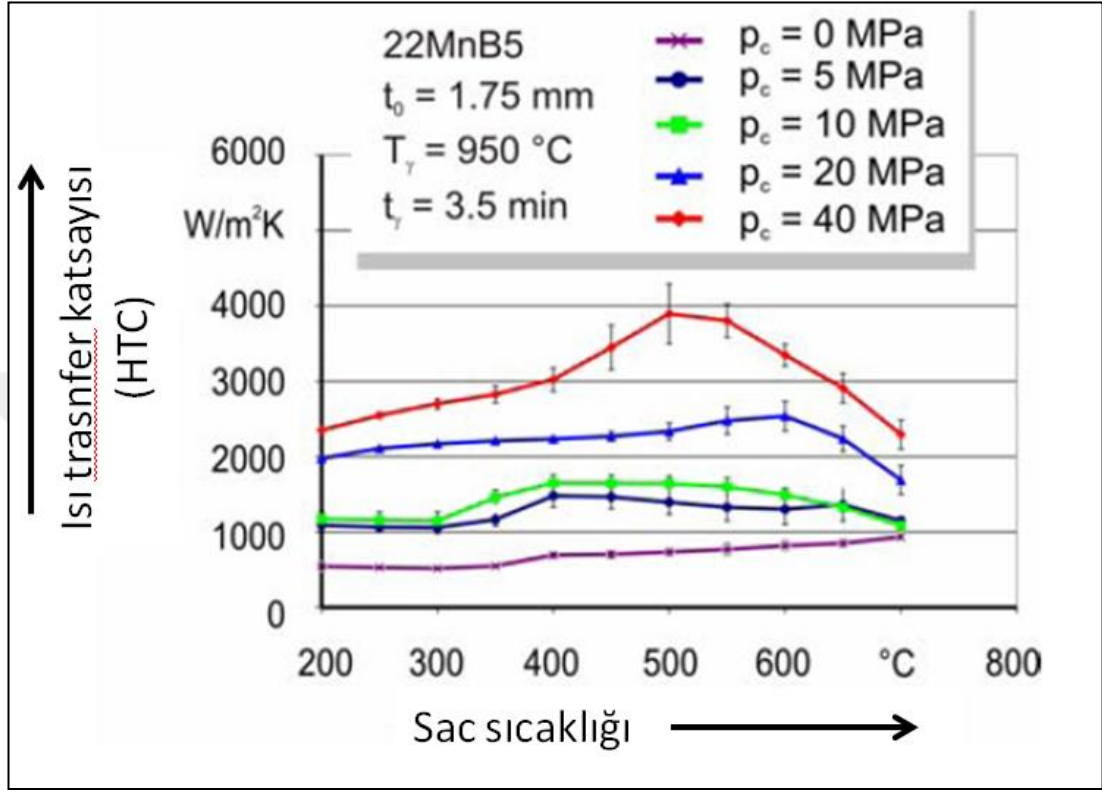


Şekil 3.2.11. Östenit faz fraksiyonu

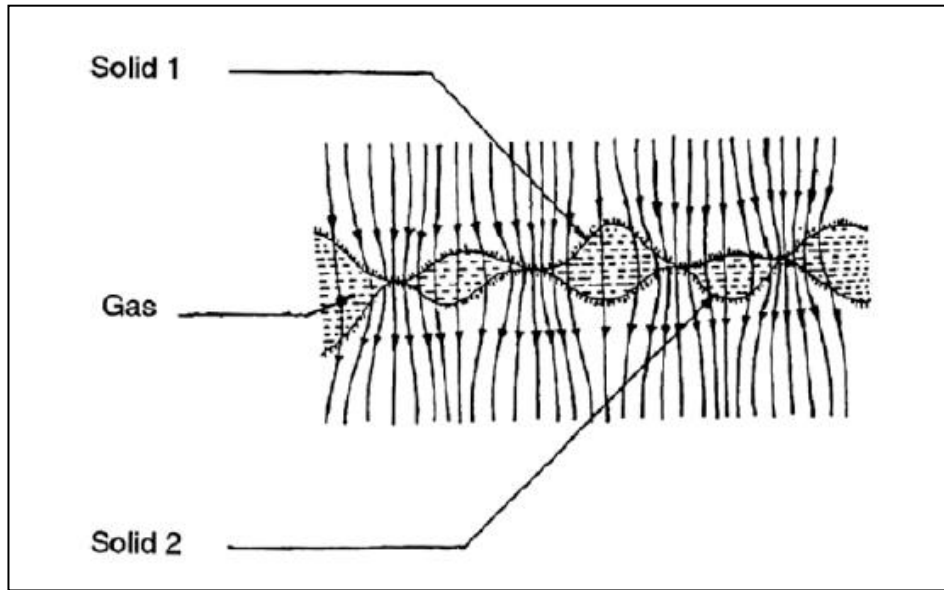


Şekil 3.2.12. Martenzit faz fraksiyonu

Şekil 3.2.10, Şekil 3.2.11 ve Şekil 3.2.12'den görüleceği gibi kalıp alt ölü noktada 10sn geçirmiş olmasına rağmen parça sıcaklığı 500 °C'nin üzerinde ve östenit oranı %80'ler seviyesindedir. Parçanın sadece %10-15'i martenzit dönüşümünü tamamlamıştır.



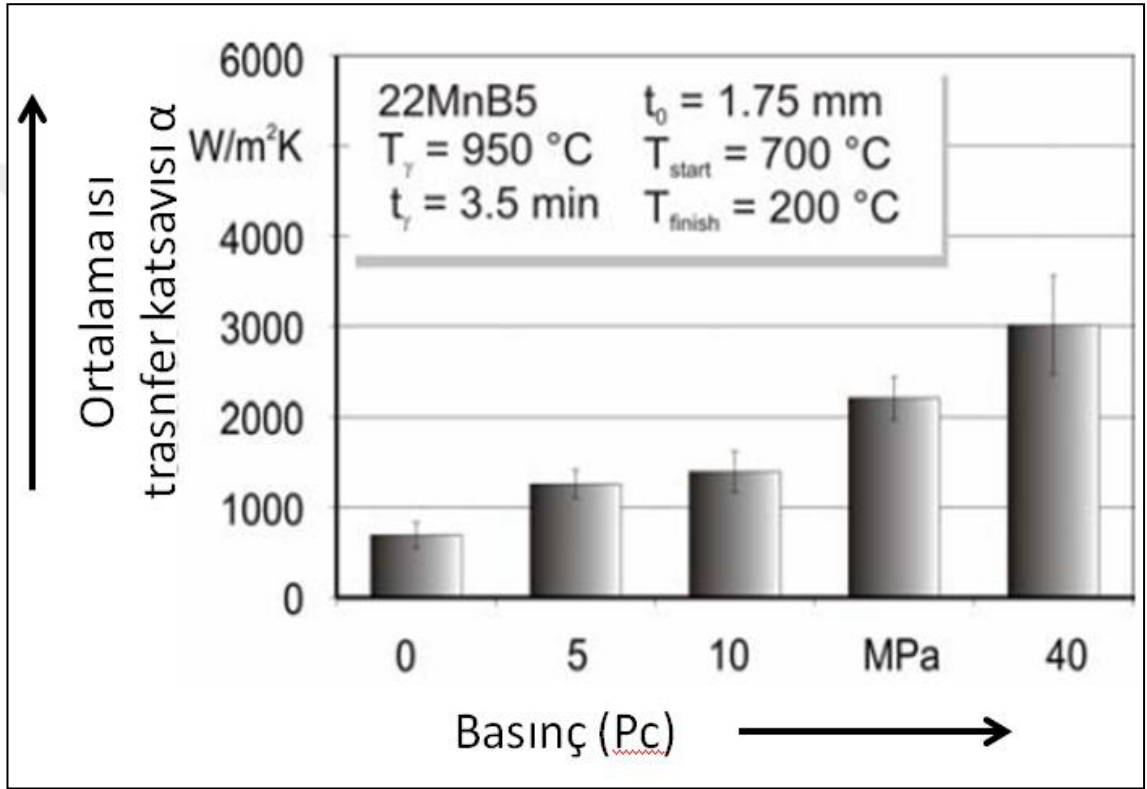
Şekil 3.2.13. Sıcaklığa bağlı ısı transfer katsayısı değişimi (Merklein ve Lechler 2006)



Şekil 3.2.14. Kalıp- iş parçası arası mikro ölçekte ısı transferi gösterimi (Madhusudana 2014)

Şekil 3.2.13 ve Şekil 3.2.15'den görüleceği gibi basıncın ısı transferi üzerinde ciddi bir etkisi vardır. basınca bağlı olarak ısı transfer katsayısı artmakta ve dolayısıyla parçadan kalıba olan ısı transferi artış göstermektedir. Bunun sonucunda da soğutma zamanı ve çevrim zamanı düşmektedir.

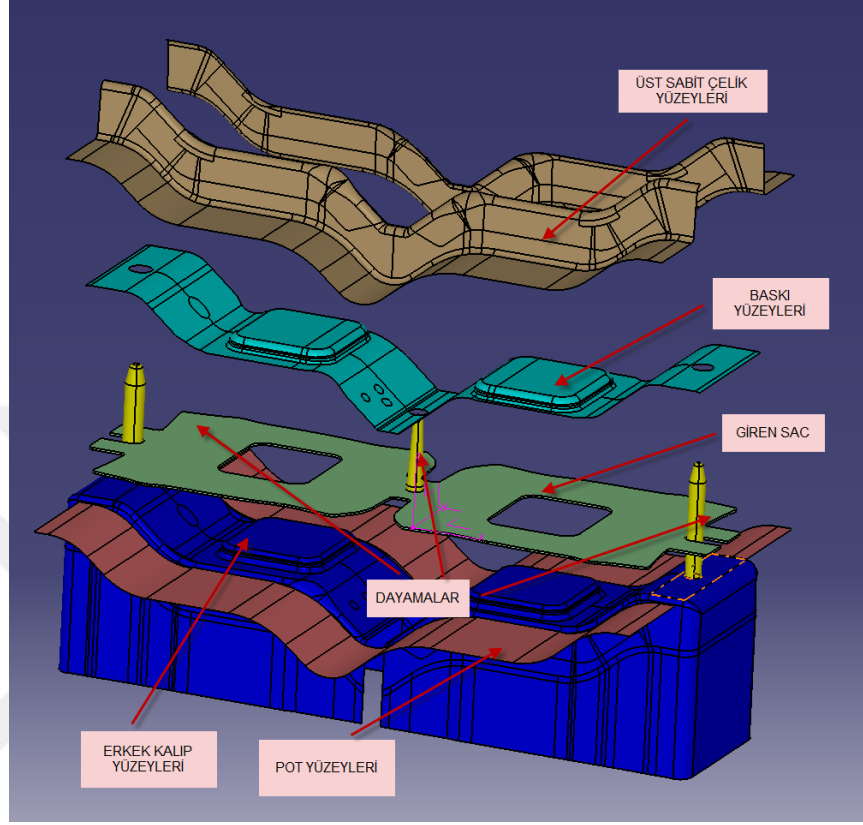
Sıcak şekillendirme kalıplarında yüzey kopyası da oldukça önemlidir. Yüksek basınç ve iyi alıştırılmış bir yüzeyde ısı transferi iletimle olmakta, düşük basınç ve kopyası düzgün olmayan bir kalıpta ise Şekil 3.2.14'da da görüleceği gibi ısı transferi ışınlama sağlanmaktadır. Bu da soğutma zamanını ve çevrim süresini artırmaktadır.



Şekil 3.2.15. Basınca ve sıcaklığa bağlı ısı transfer katsayısı değişimi (Merklein ve Lechler 2006)

Isı transferinin basınca bağlı değişimi özellikle U şekilli parçalarda dikkat edilmesi gereken bir parametredir. Yan ve dik duvarlarda uzaklaştırılan ısı miktarı değişkenlik göstereceği için parçanın nihai mikroyapısı da birbirine göre değişkenlik gösterebilir. Oluşacak farklılığı yönetmek için kuvvet gereken yerleri gazlıyay yerine pres tij milleri ile yönetmek, parça çıkarma denemelerinde önemli bir avantajdır. Kuvvet değiştirilerek parça geometrisi ve metalürjik yapı ayarlanabilir. Aynı zamanda dik ve yatay su kanalları optimizasyonu ile de tasarım esnasında gerekli müdahale yapılabilir. Soğutma kanallarının yüzeye olan mesafeleri kontrol edilerek yapılan su akış analizleri büyük önem kazanmaktadır.

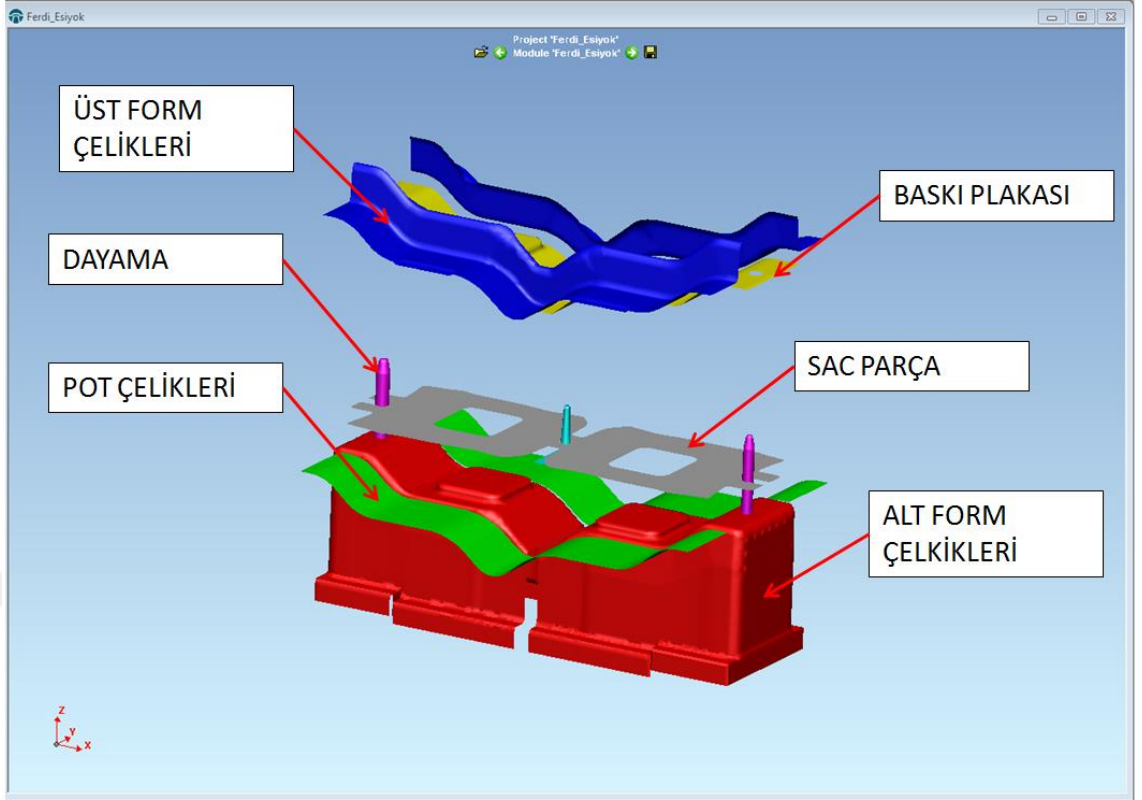
Giren sacın kapanma anında kontrolünü sağlamak için ortaya ilk temasta sacı tutacak hareketli dayama ilavesi yapılmıştır (Şekil 3.2.16-Şekil 3.2.17).



Şekil 3.2.16. Kalıp elemanları (orta dayama ilave edilmiş)

Yeni dayamalarla analiz tekrar edilmiş ve pot boşluğu ile birkaç iterasyon yapılarak optimum değerler elde edilerek analiz sonuçlandırılmıştır. Orta hareketli dayama ilavesiyle giren sacın kapanma esnasında sağa-sola kayması engellenmiş, yan dayamalarla da dönmesi engellenmiştir. Pot için en uygun sac boşluğu analizlerde 3mm olarak tespit edilmiştir. Pot boşluğu soğuk şekillendirmede kullanılan süzme çubuğu (gerdirme çubuğu) mantığına benzemektedir. Sac östenit sıcaklığında hamur kıvamında sakız gibi form alabilme özelliğine sahiptir. Soğuk şekillendirmede olduğu gibi boşluksuz pot ile saca şekil vermeye çalışıldığında inceliyor yırtılmaktadır. Bunun yerine pot üzerine yerleştirilen dengeleyicilerle sacın pot üzerinde akacağı boşluk ayarlanarak incelme ve kırışmalar kontrol edilmektedir. Daha büyük sac boşluğu sacın daha rahat akmasına müsaade etmektedir. Fakat sac boşluğu ihtiyaçtan fazla artınca lokal kırışmalar ve sacın katlanarak üst üste binmesine neden olmaktadır.

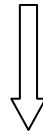
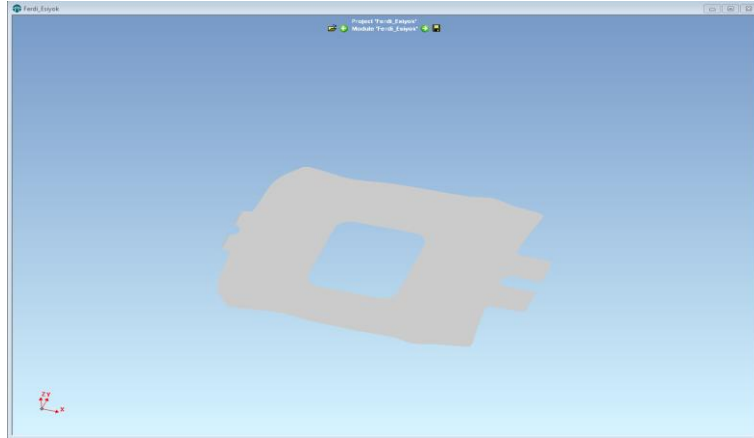
Sac boşluğunun azaltılması da bir nevi süzme çubuğu görevi görmekte ve kırışmalara müsaade etmeden sacı gerdirmektedir. Sac boşluğu arttıkça proses kırışmaya ve sac kalınlığında artışlara, azaldıkça da incelme ve yırtılmaya doğru eğilim göstermektedir. Analizler sonrası en uygun sac boşluğu, gelen sacın toleransına göre seri şartlarda pres altında try-out sırasında belirlenmelidir.



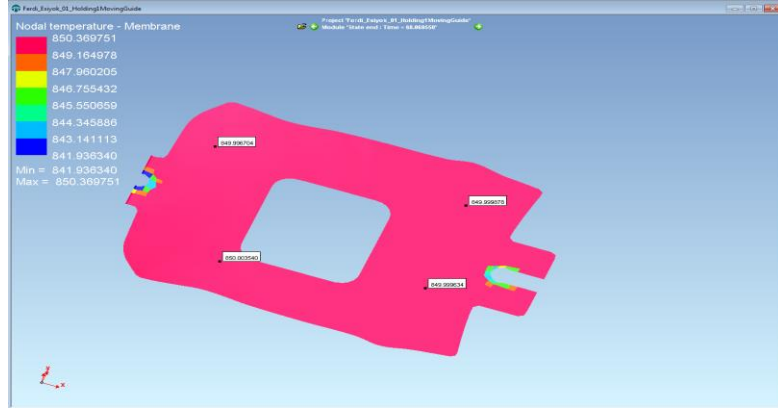
Şekil 3.2.17. Kalıp elemanları şematik gösterim

Proses Adımları :

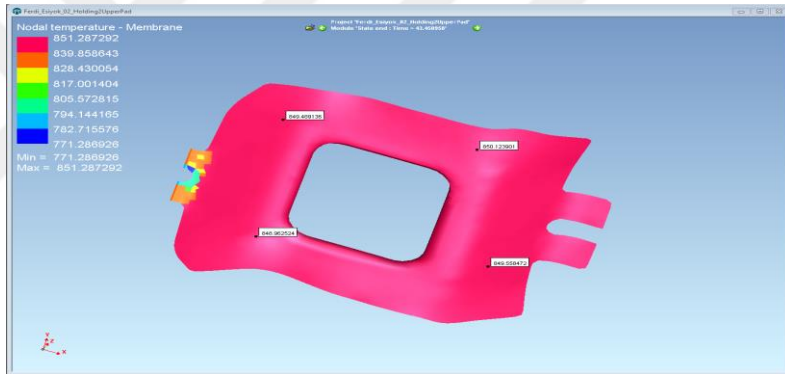
Bekleme (Holding)



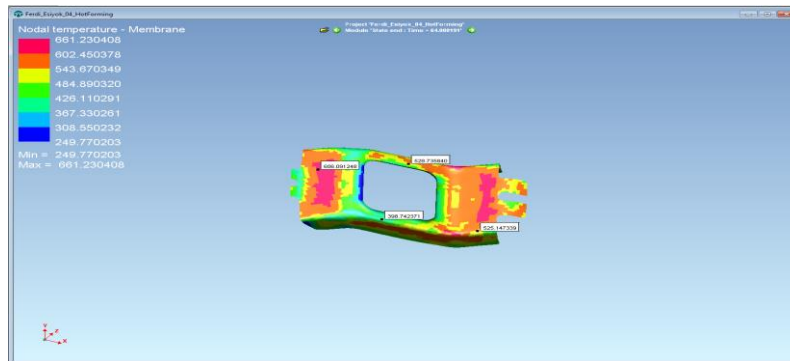
Östenit sıcaklığında fırınlama (Austenization)



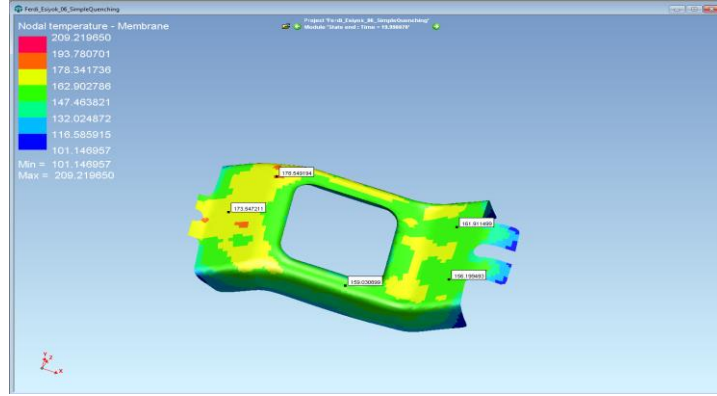
Kapanma (Closing)



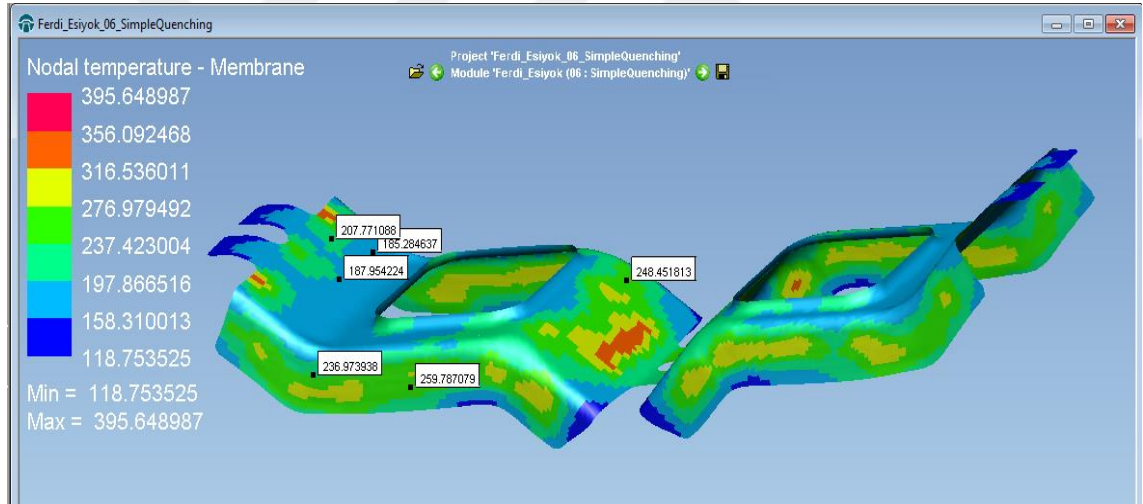
Form verme (Forming)



Su verme (Quenching)- Martenzit dönüşümü

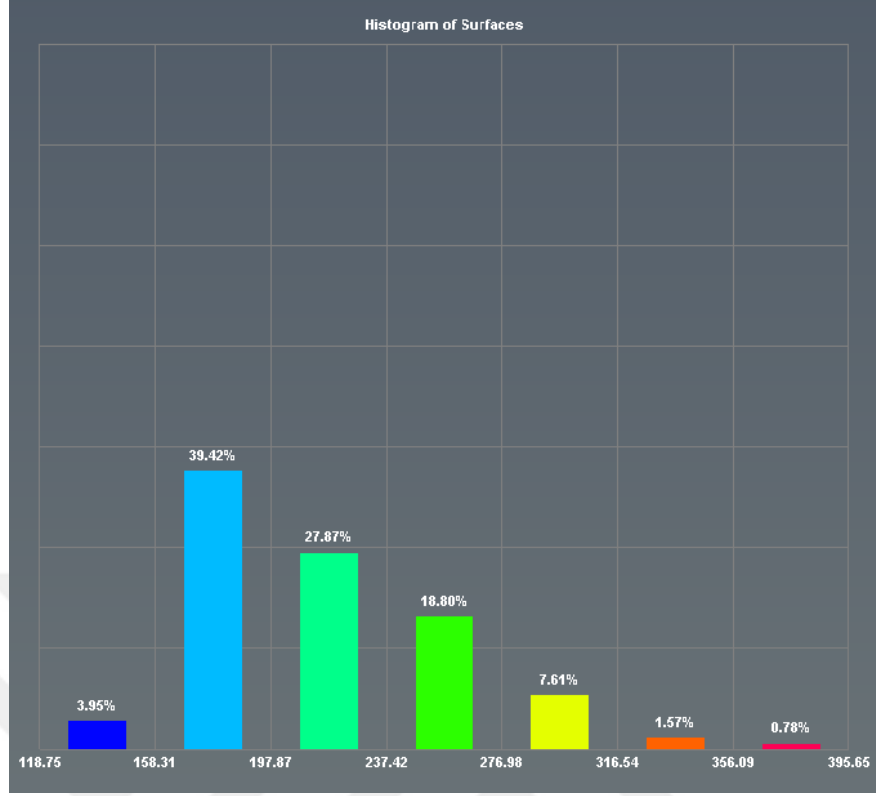


Analiz soğutma zamanı 20sn sürecek şekilde tamamlanmıştır. Project-state adımları kontrol edildiğinde 8. saniye sonunda martenzit dönüşüm oranının istenilen seviyede olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.2.18).



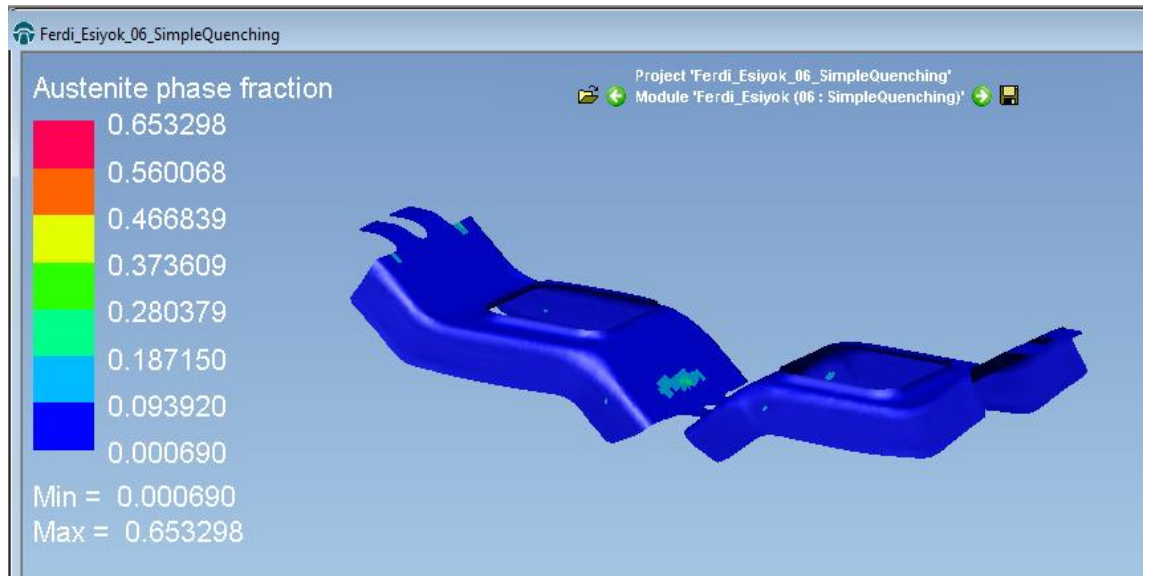
Şekil 3.2.18. Proses sonu sıcaklık dağılımı

Sıcaklık histogramı Şekil 3.2.19'dan kontrol edildiğinde martenzit dönüşümü için yeterli kabul edilen 273°C 'nin üzerinde sadece %7'lik bir bölgenin kaldığı gözlemlenmiştir. 300°C 'nin üzerinde ise %3'ün altındadır. 8. saniyeden sonra devam eden soğutma zamanı proseste gereksiz maliyet oluşturacaktır ve parçanın istenenden daha sert bir yapıya dönüşmesine, dolaylı olarak da kesme uzamasının düşmesine neden olacaktır. Bu durumun getireceği bir diğer problem de genleşme faktörüne etkisi nedeniyle parça konturundaki değişim olacaktır.



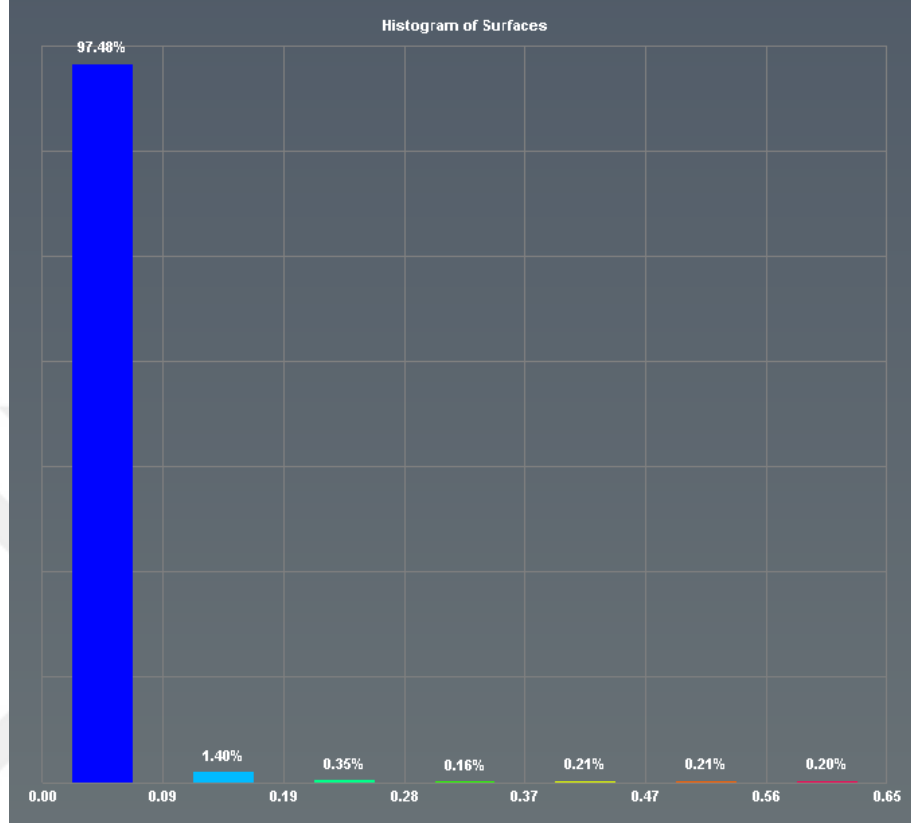
Şekil 3.2.19. Sıcaklık histogramı

Yeterli soğutma zamanının üzerinde soğutma yapılırsa devam eden prosesler (post operations) kontrol altında tutulmalıdır. Lazer ve varsa açınım konturu gözden geçirilmelidir.

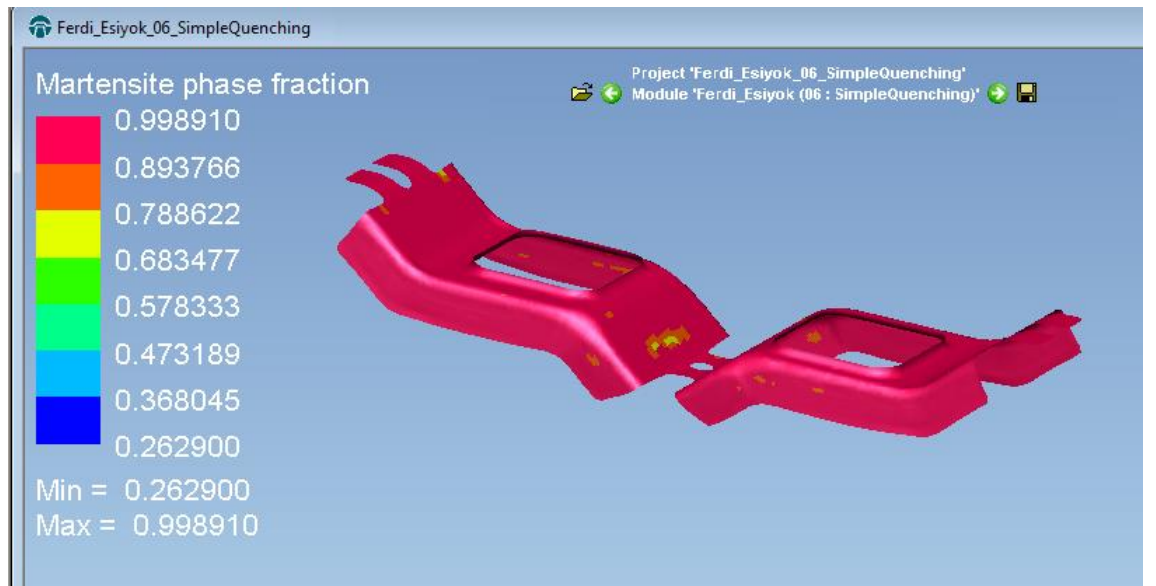


Şekil 3.2.20. Proses sonu östenit faz fraksiyonu

Şekil 3.2.21'de östenit faz histogramı gözlemlendiğinde proses sonrası östenit dönüşümünün %98'e yakın bir bölümü tamamlanmış durumdadır.

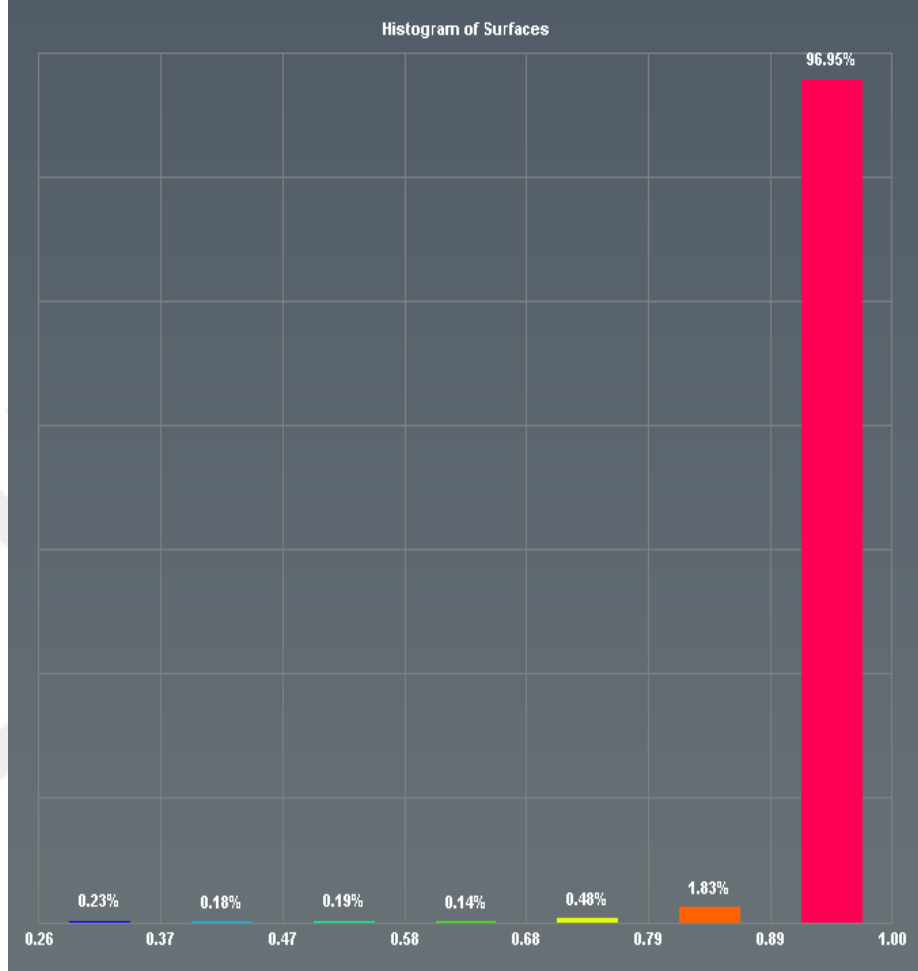


Şekil 3.2.21. Östenit faz histogramı



Şekil 3.2.22. Proses sonu martenzit faz fraksiyonu

Şekil 3.2.23 incelendiğinde proses sonu martenzit dönüşüm oranının %97 seviyesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2.23. Martenzit faz histogramı

Analiz sonuçlarına göre aşağıda girilen kalıp elemanları hareket ve kuvvetlerine göre katı model tasarımına başlanması uygun görülmektedir. Şekil 3.2.20 ve Şekil 3.2.22’de görüleceği üzere proses sonu martenzit ve östenit faz fraksiyonları uygundur. Bu girdilerle katı kalıp tasarımı yapıp, soğutma kanallarının uygunluğu için tekrar PAM-STAMP analizleri yapılacaktır.

Birim sistemi mm.kg.ms.C (malzeme seçimi Gpa)

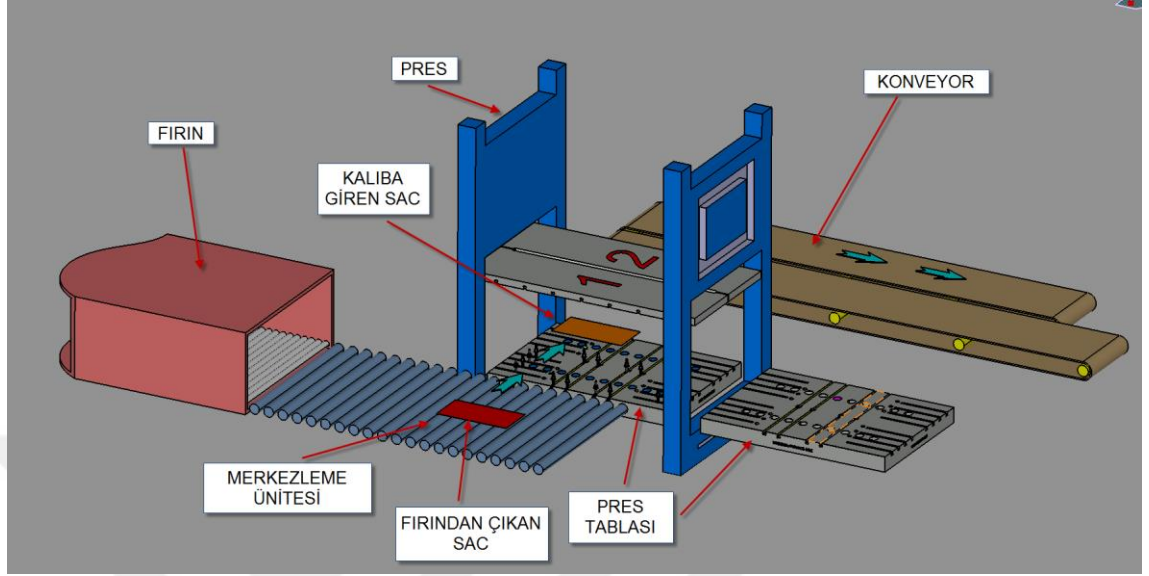
Pres kuvveti: 4000KN

Baskı kuvveti: 168KN (4 adet 4,2 ton)

Baskı strok 65mm

Pot strok 50mm

3.3. Pres Bilgilerinin Modellenmesi



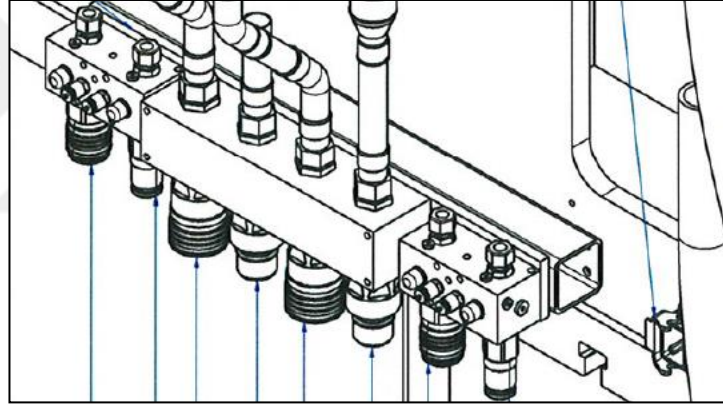
Şekil 3.3.1. Pres hattı modeli (CatiaV5R19)

Katı kalıp tasarımına başlamadan önce tasarım için ihtiyaç olacak, aynı zamanda tasarım kısıtlarını da belirleyecek pres ve hat bilgilerinin modellenmesi ve tasarım girdisi olarak belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Pres ve fırın üreticilerinden alınan teknik detay resimler incelenmiş, hat üzerinden ölçüler alınarak modelleme tamamlanmıştır (Şekil 3.3.1). Tasarım girdisi olarak aşağıdaki kısıtlar belirlenmiştir;

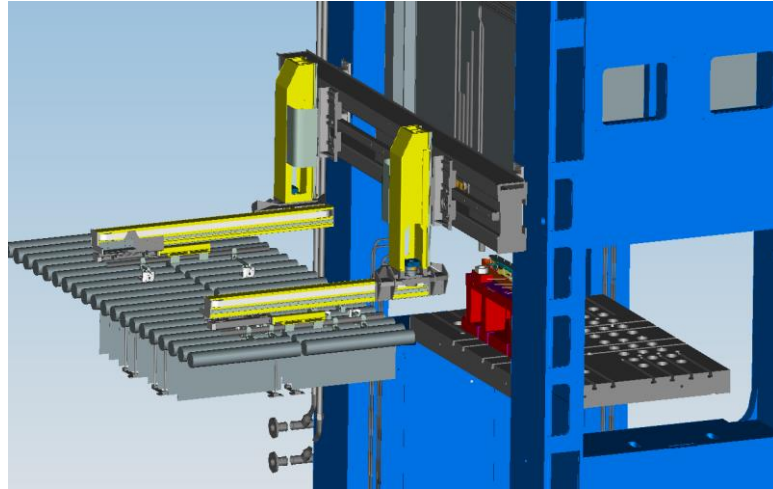
- Merkezleme ünitesi min. ve max. yükseklikleri
- Min-Max sac uzunluğu (600mm-2200mm)
- Min-Max sac genişliği (175mm-1000mm)
- Sac yükleme şekli (yatay/dikey/açılı)
- Maksimum yükleme ağırlığı (15kg)
- Toplam fırın uzunluğu (42.000mm)
- Toplam fırın kullanılabilir mesafe (38.000mm)
- Roller yüksekliği
- Fırın genişliği (3600mm)
- Fırın yüksekliği (2350mm)
- Tij mili haritası
- Su ve hidrolik giriş-çıkış bölgeleri
- Pres bağlantı kanalları

- Pres merkezleme pimleri
- Merkezleme ünitesi yükseklikleri (+1200mm)
- Sac besleme yüksekliği (z'de 450-950mm)
- Pres tablası ölçüleri
- Pres tablası zeminden yüksekliği (705mm)
- Max-min kalıp yükseklikleri
- Transfer barları max. açılma (2800mm)
- Transfer barları min. kapanma (700mm)
- Gripper x-y-z hareket kısıtları
- Çıkış konveyör yüksekliği (+1180mm)

Bu bilgiler tasarımı yapılacak kalıp ve hatta çalışacak parça için gerekli detayları içermektedir. Katı model, proses bilgileri içerisine ilave edilerek kalıp için ihtiyaç olan max-min kalıp ebatları, sac besleme yüksekliği, formlanmış parça alma yüksekliği, pres açılma mesafesi, gripper açılma-kapanma kısıtları, pres bağlantı kanalları ve merkezleme pimleri, max açınım ölçüleri gibi kısıtları belirlemiştir. Ayrıca hidrolik kaplinlerin yerleri de modellenmiştir (Şekil 3.3.2-Şekil 3.3.3).



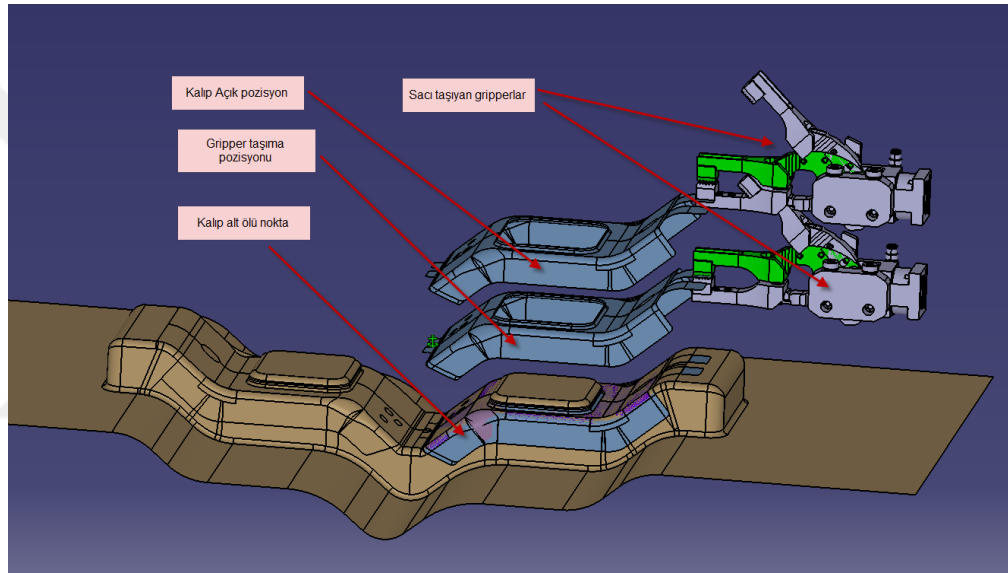
Şekil 3.3.2. Hidrolik ve su ünitesi



Şekil 3.3.3. Beyçelik-Gestamp Medium Line

3.4. Katı Kalıp Tasarımı

Fizibilite analizleri sonuçlandıktan sonra katı kalıp tasarımı için CatiaV5 kullanılmıştır. Generative Shape Design modülünde baskı, erkek, pot, ve üst sabit çelikler için addendum yüzeyleri geliştirilmiş, parça için analiz sonuçları ve pres spekleri de dikkate alınarak çalışma pozisyonları belirlenmiştir (Şekil 3.4.1). Part Design modülünde prosese uygun girperler modellenmiş ve transfer barlarının hareket kabiliyetine göre açılma-kapanma kısıtları öngörü olarak belirlenmiştir. Nihai kalıp tasarımı tamamlanınca barların proses için min. çalışma değerleri tekrar düzenlenecektir.



Şekil 3.4.1. Parça taşıma pozisyonları

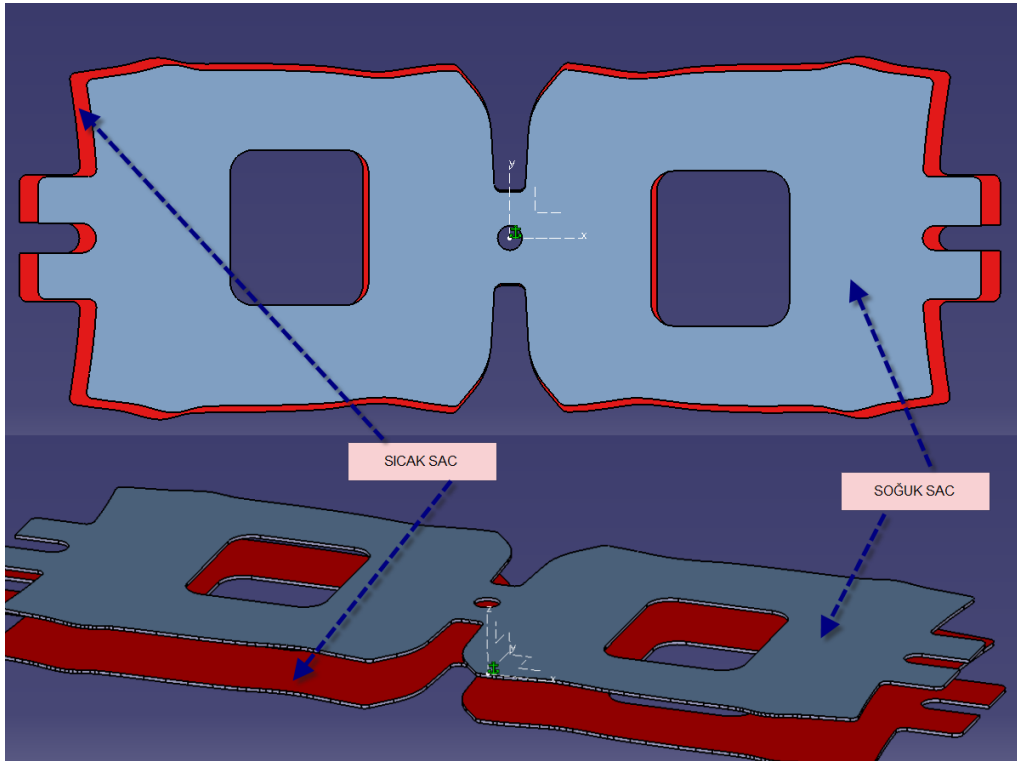
Sıcak şekillendirme kalıplarında malzeme kalıplama öncesinde östenit sıcaklığındadır ve genişmiş durumdadır. Kalıba olan transfer sırasında radyasyonla olan ışınlama ısı transferi nedeniyle bir miktar ısı kaybeder ve fırından çıkmış olduğu duruma göre bir miktar küçülürler (Şekil 3.4.2). Bu durum hesaplanırken ışınlama olan ısı transfer katsayısı, ortam sıcaklığı, transfer zamanı, giren sacın metalürjik özellikleri konturu belirleyen etkenlerin başında gelir.

Aynı şekilde formlanmış ve martenzit dönüşümü tamamlanmış ürün kalıptan belli bir sıcaklıkta çıkarılır. Atmosferle olan iletişimiyle oda sıcaklığına kadar soğur ve bu esnada bir miktar büzülme (katılaşıırken küçülme) meydana gelir.

Teknik resim ölçülerinde sonuca ulaşmak için sacın girişi ve kalıptan çıkışı ile ilgili hesaplamaların çok sağlıklı yapılması, yapılan hesaba imalat esnasında uyulması son derece önemlidir. Aksi halde imalat sonunda yapılan müdahale ve değişiklikler proses zamanından ciddi kayıplara neden olmaktadır.

Çıkan geometrinin çekme payı birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir.

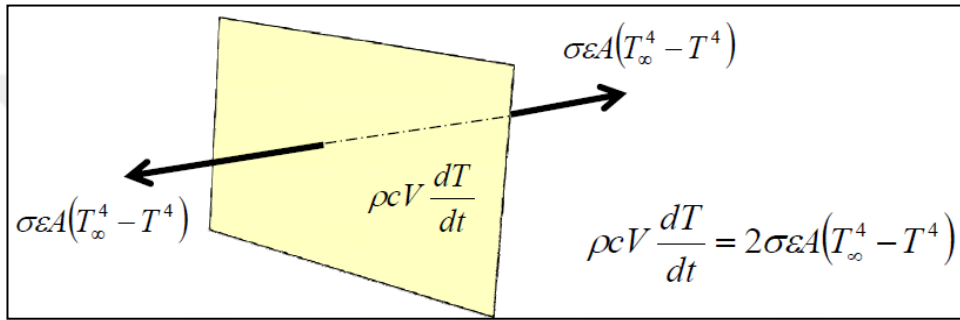
- Ortam sıcaklığı,
- Sac malzemenin ısı iletim katsayısı,
- Işınım katsayısı,
- Kalıp malzemesinin ısı iletim katsayısı,
- Soğutma zamanı,
- Pres basıncı;
- Neşretme katsayısı,
- Sac parça kalınlığı,
- Kalıp yüzey pürüzlülüğü,
- Sac kaplaması ve film kalınlığı,
- Kalıptan çıkış sıcaklığı,



Şekil 3.4.2. Saca çekme payının verilmesi

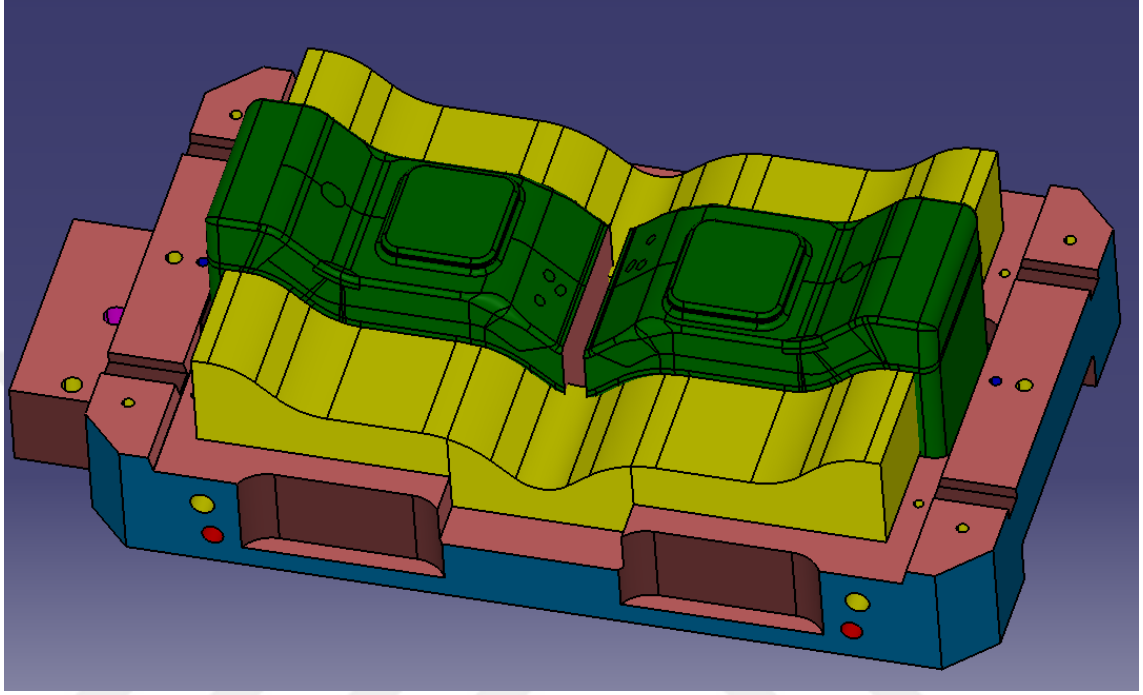
Yapılan hesaplamalar ile Scaling komutu ile kalıp ve geometri yüzeylerine x-y-z koordinatlarında gerekli çekme payları verilmiş ve yine transfer barları ve gripperların sacı bırakacağı mesafeler belirlenmiştir. Gripper ve barların modellenmesi katı kalıpta gerekli boşaltmaların yapılması ve çarpma riskinin ortadan kaldırılması için gereklidir.

$$t = \frac{\rho c V}{2A\sigma\epsilon} \left[\frac{1}{4T_\infty^3} \ln \left(\frac{T_f + T_\infty}{T_i + T_\infty} \right) \frac{(T_f - T_\infty)}{(T_i - T_\infty)} + \frac{1}{2T_\infty^3} \left(\tan^{-1} \frac{T_f}{T_\infty} - \tan^{-1} \frac{T_i}{T_\infty} \right) \right]$$



Sac parça malzeme özellikleri ve Pres basıncı (Usibor 1500P)	
Isı iletim katsayısı (k:W/mK)	32
Özgül ısı (cp: J/kg/K)	650
Yoğunluk (r: kg/m3)	7870
Neşretme katsayısı e	1
Sac parça kalınlığı (t:m)	1,95E-03
Temas yüzey alanı (A:m2)	0,25
Pres basıncı (P:Mpa)	30
Parça hacmi (V:m3)	4,88E-04
Sac parça yüzey pürüzlülüğü	6,18E-05
Rupture stress	1765
Sonuçlar	
Taşıma sonrası parça yüzey sıcaklığı (°C)	812,38
Toplam tahmini soğutma süresi (s)	11
Soğutma kanalı için ısı taşınım katsayısı (a c)	3266,34

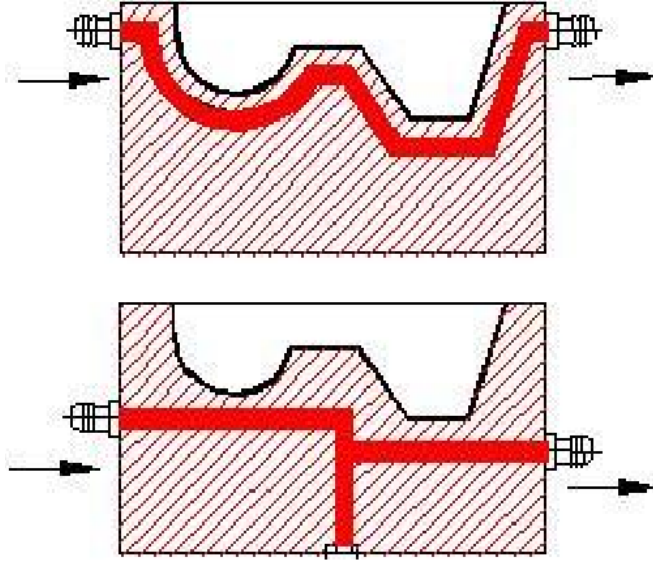
Geliştirilen yüzeylerle Part Design modülünde, geometri dosyası içerisinde erkek, dişi, baskı ve pot çeliklerinin tasarımı Pad-Pocket-Split komutlarının aktif bir şekilde kullanılması ile tasarlanmıştır (Şekil 3.4.3).



Şekil 3.4.3. Çelik ve matris grubu

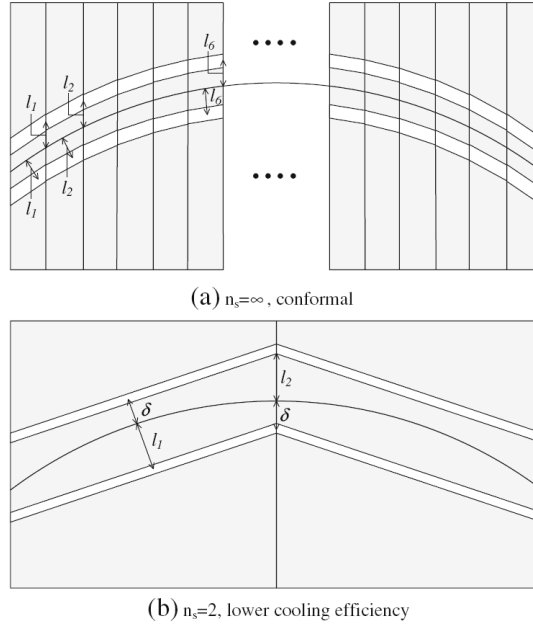
Şablon çeliklerin tarımında çelik kesitlerinin belirlenmesi sıcak şekillendirme kalıbı tasarımında oldukça önemlidir. Çelik kesitleri belirlenirken çelik yüzeylerinden su kanallarının da geçeceği düşünülmelidir. Yüzey şekil değişimi 3 boyutta ele alınıp kesitler yüzeyde değişkenlik gösteren konveks-konkav bölgelerin min-max değerleri dikkate alınarak belirlenmelidir.

Mükemmel ve homojen bir soğuma için su kanallarının yüzey takip eden bir formda (conformal cooling) olması gerekir. Günümüz teknolojisi ile bu ancak 3D Printer teknolojisi ile yapılabilmektedir. Fakat endüstriyel şartlar henüz uygun değildir. Geleneksel imalat yöntemi baz alındığında çelikleri blok halde işlemek, su kanallarını içten soğutmalı yüksek basınçlı matkaplarla delmek ve ısıtım sonrası gönyeleyip taşıyarak montaj yapmak gerekmektedir. Dolayısıyla yapılan tasarımda da imalat yöntemlerini bilmek önem arz etmektedir.



Şekil 3.4.4. Teorik ve gerçek soğutma kanalları gösterimi

Soğutma kanallarının yüzeye olan mesafesinin homojen soğutmayı etkilediği ve dolaylı olarak parça kalitesini değiştirdiği gerçeği göz önünde bulundurularak parça geometrisine bağlı mümkün olan optimum su kanallarını tasarlamak gerekmektedir. Çelik kesitlerine bağlı soğutma kanallarının tasarımı daha sonra soğutma analizine sokulmalı ve ideal parça kalitesi elde edilinceye kadar iterasyon yapılmalıdır (Şekil 3.4.4-Şekil 3.4.5).

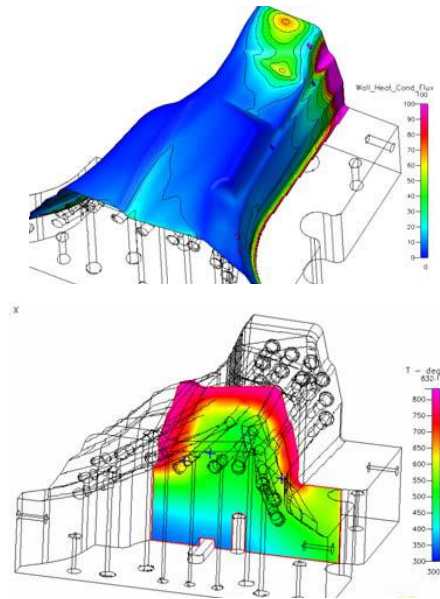


Şekil 3.4.5. Çelik birleşme yerlerinin şematik gösterimi (Woo ve ark. 2013)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Soğutma Kanalı Simülasyonları

Sıcak şekil verme prosesi metalürjik, termal ve mekanik etkilerin birlikte ele alınması gereken bir süreçtir, bu nedenle oldukça karmaşık bir süreçtir ve simülasyonu diğer metal şekil verme işlemlerine göre çok daha fazla hesapsal ve matematiksel süreç modeli tanımlamaları açısından zorluklar içermektedir. Bunun nedeni sıcak şekil verme prosesinde malzemenin lineer olmayan, elasto plastik ve termal-mekanik davranışının getirdiği matematiksel model tanımlama ve proses parametrelerini belirleme konularında yetersizliklerdir. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemi prosesin model tanımlamalarında ve analizlerinde kullanılmakta ve yetersizliklerin giderilmesine yönelik kodlar geliştirilmektedir. Bu alanda sıkça kullanılan yazılımlardan bazıları LS-Dyna, PAMSTAMP, AUTOFORM, ABAQUS ve ANSYS Fluent' dir. CFD simülasyonları termal etkinin parça ve kalıp üzerindeki etkisinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Parça ve kalıp üzerindeki sıcaklık dağılımının çalışıldığı bir CFD uygulaması Şekil 4.1.1' de verilmiştir.



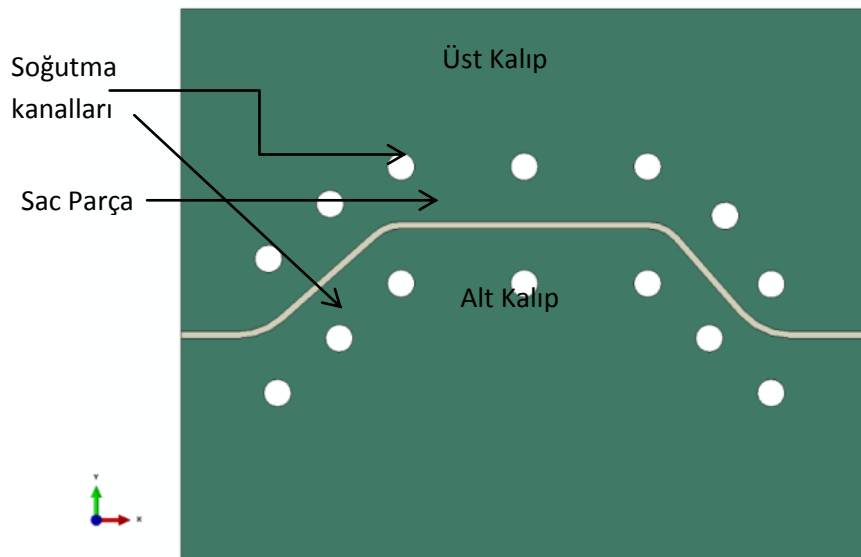
Şekil 4.1.1. CFD simülasyon çalışmaları

Sıcak şekillendirme prosesinin sonlu elemanlar modelinin kurulması için öncelikle iki boyutlu ve temas içermeyen model kurulması ve geçici rejimde ısı transferi analizi ile soğuma süreci modellenmiştir.

Böylece modeldeki soğutma süreci parametrelerin değişimi gerçekleştirilerek sonuçların hızlı bir şekilde elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonraki çalışmalarda ise üç boyutlu model üzerinde soğutma kanallarındaki akış parametreleri, temas tanımı, basıncın ısı transferine etkisi vb. modellenerek deneysel çalışmalar ile modelin doğrulanması ve son olarak çevrim süresini düşürmek ve iç yapının martenzitik olması için optimizasyon modeli kurularak soğutma sistemi kanal sayısı, kanal çapları ve kalıp yüzeyine olan mesafelerinin optimum değerleri bulunmuştur. İki örnek çalışma yapılmıştır, birinci örnekte soğuma süreci incelenmiş ve ikinci çalışmada soğuma kanalları optimizasyon çalışması yapılmıştır, yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir. Bu çalışmalar sadece bir sonraki çalışmalara geçiş öncesi yapılan süreç ve öngörülen yaklaşımların değerlendirmeleri içindir. Bir sonraki aşamada yapılacak kalıp çalışması için veri sağlamamaktadır.

Soğuma süreci incelenmesi:

Model: Abaqus yazılımında iki boyutlu örnek bir model üzerinde kalıplar ve sac parça modellenmiş ve Şekil 4.1.2' de gösterilmiştir.

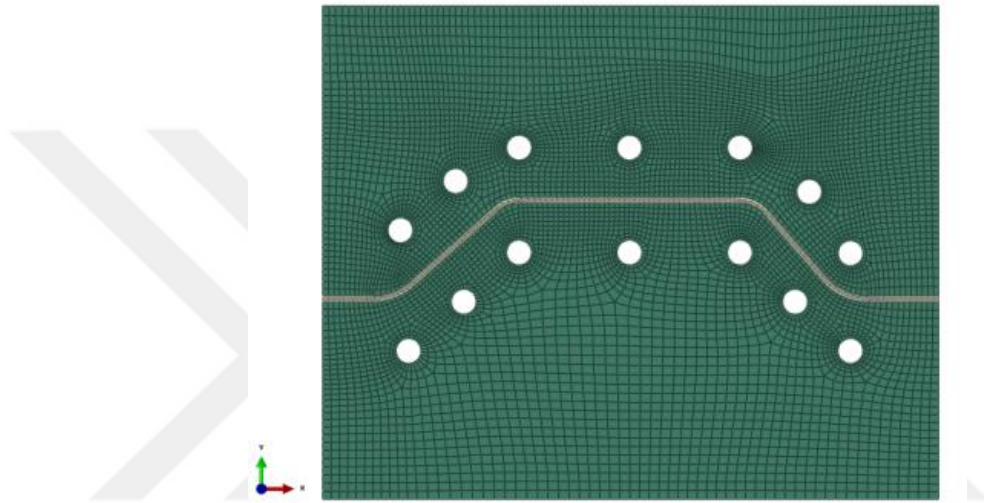


Şekil 4.1.2. İki boyutlu model

Kalıp boyutları: $L_x=500$ mm x $L_y=400$ mm, soğutma kanal çapı: 20 mm ve sac kalınlığı=5 mm olarak jenerik bir model oluşturulmuştur.

Sonlu Elemanlar Modeli

İki boyutlu model sonlu elemanlara ayrılarak toplam düğüm noktası: 8171, toplam eleman sayısı: 7832 doğrusal quad eleman (DC2D4) kullanılmıştır. Eleman dağılımı Şekil 4.1.3' de verilmiştir.



Şekil 4.1.3. Sonlu elemanlar modeli ve eleman dağılımı

Malzeme tanımları

Kalıp ve sac parça malzeme için parametre değerleri girilerek malzeme tanımları yapılmıştır.

Kalıplar:

Isıl iletim katsayısı: 33 W/m °C

Yoğunluk: 7800 kg/m³

Özgül ısı: 460 J/kg °C

Sac parça:

Isıl iletim katsayısı: 32 W/m °C

Yoğunluk: 7800 kg/m³

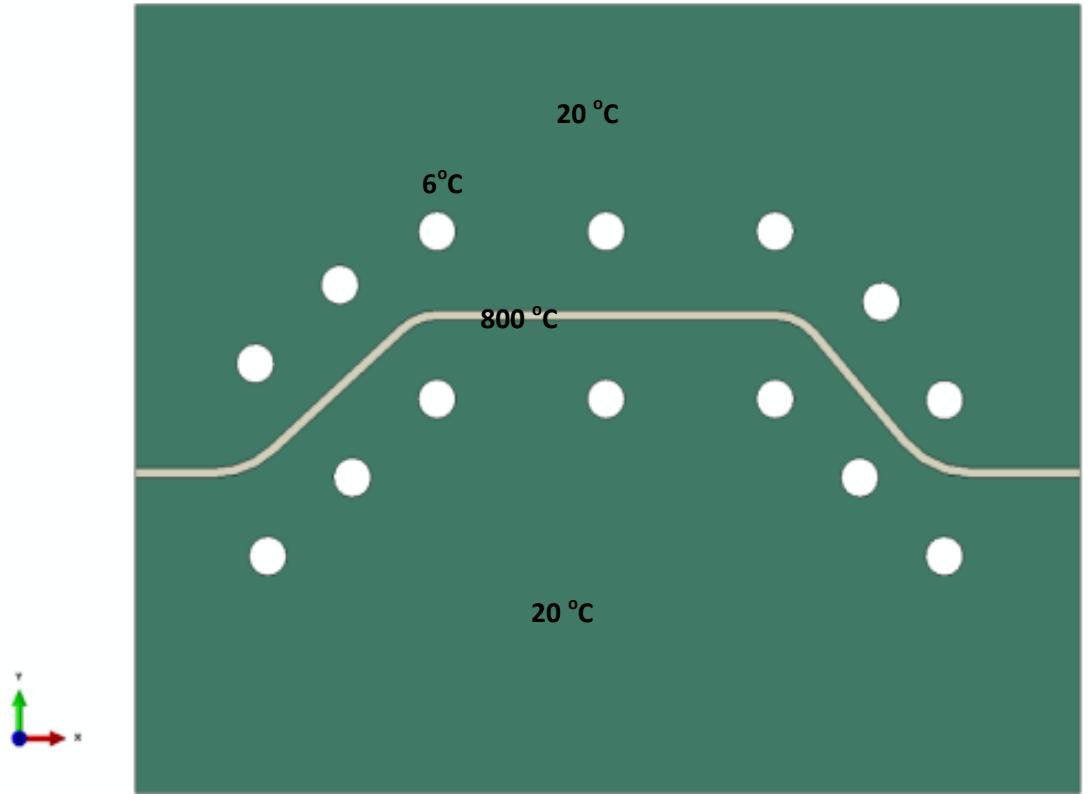
Özgül ısı: 650 J/kg °C

Sınır şartları

Model üzerinde, geçici rejimde ısı transferi (transient heat transfer) analizi yapılarak zamana bağlı sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Analiz sürecinde, soğutma kanallarındaki sıcaklığın değişmediği kabul edilerek uygun sınır şartı tanımlanmış ve analizde sadece iletimle olan ısı transferi dikkate alınmıştır (Şekil 4.1.4).

Başlangıç şartları:

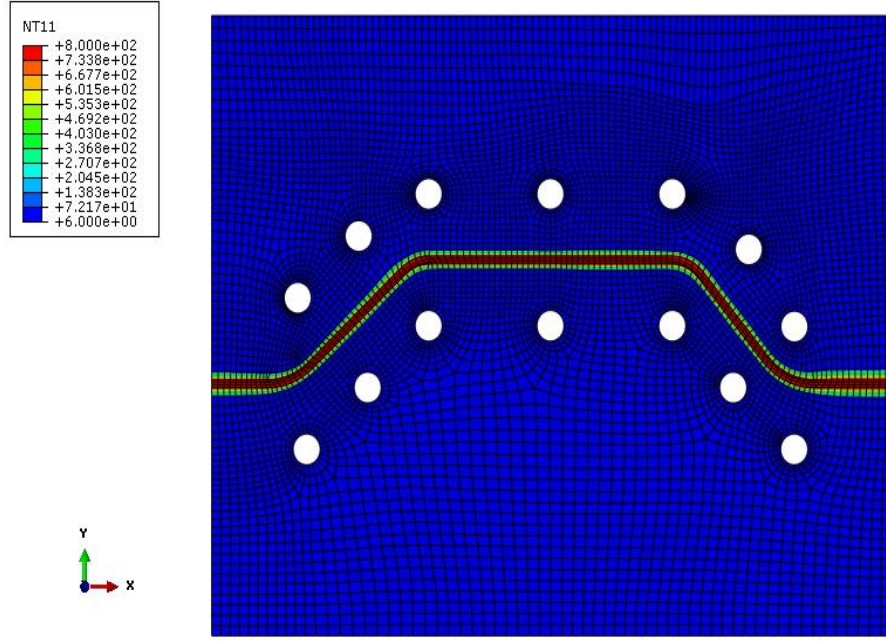
Sac parça sıcaklığı=800 °C, kalıp sıcaklığı=20 °C, soğutma kanalları sıcaklığı=6 °C



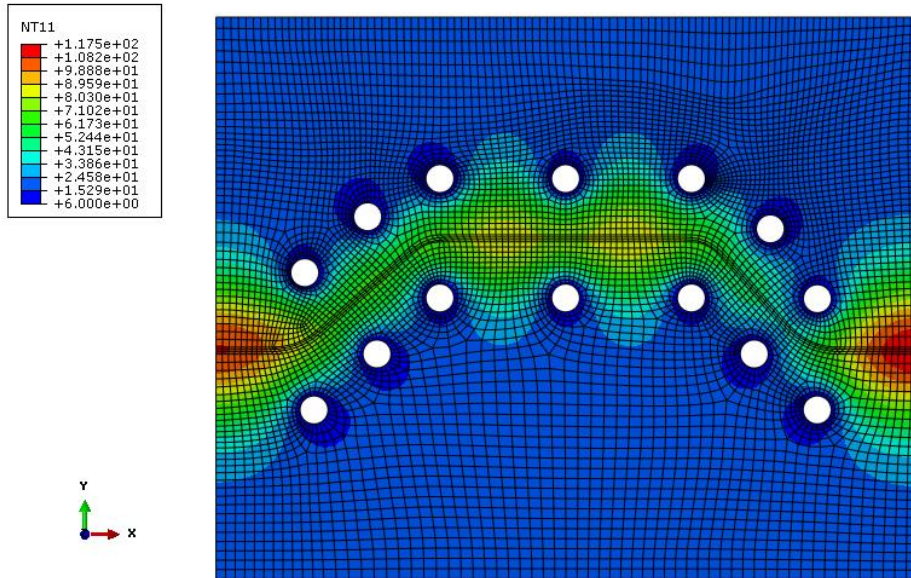
Şekil 4.1.4. Sonlu elemanlar modeli sınır şartları

Çözüm: Sonlu elemanlar modeli “transient heat transfer” çözüm yöntemi kullanılarak 90 saniye için çözülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.1.5-Şekil 4.1.6).

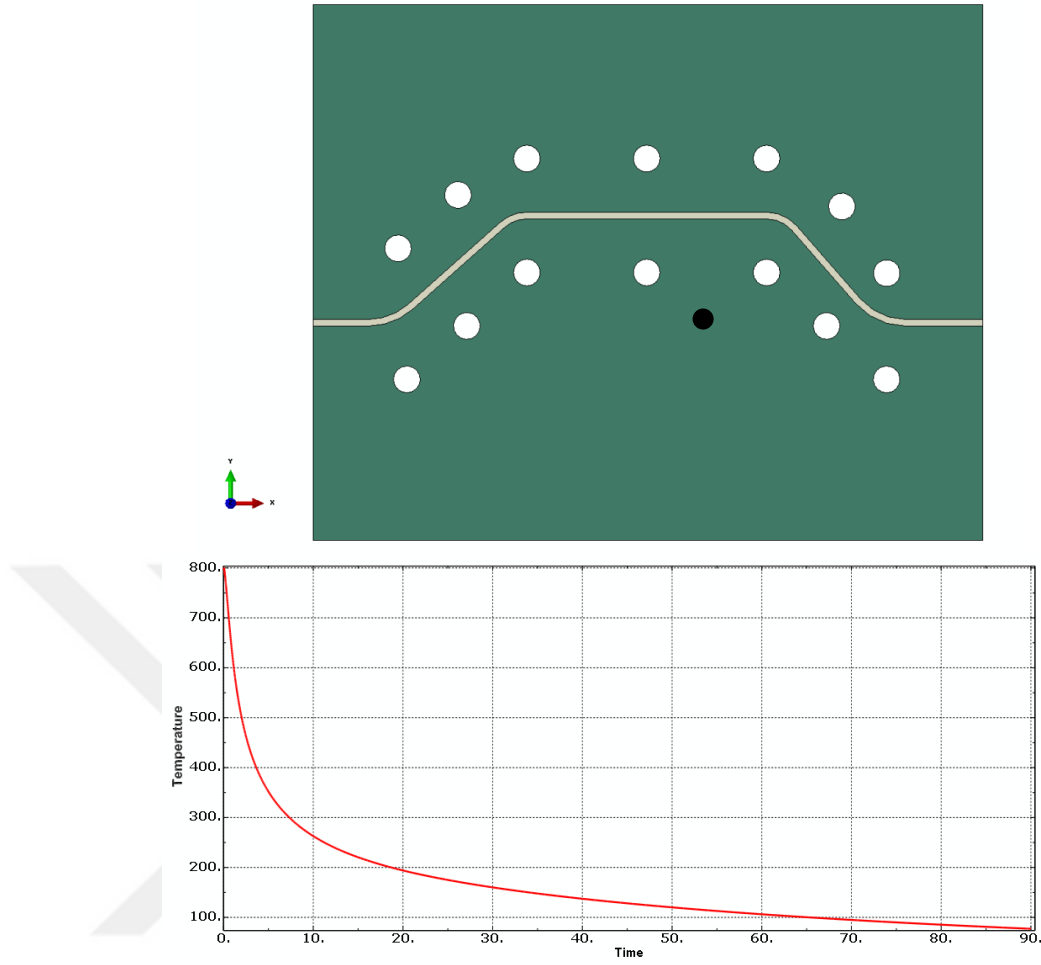
Sonuçlar: Analiz sonucu model üzerinde 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90. saniyelerdeki sıcaklık dağılımları elde edilmiş ve sac parçasının orta noktasındaki sıcaklık değişim grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1.5. Başlangıçtaki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.1.6. $t=90$ s'deki sıcaklık dağılımı

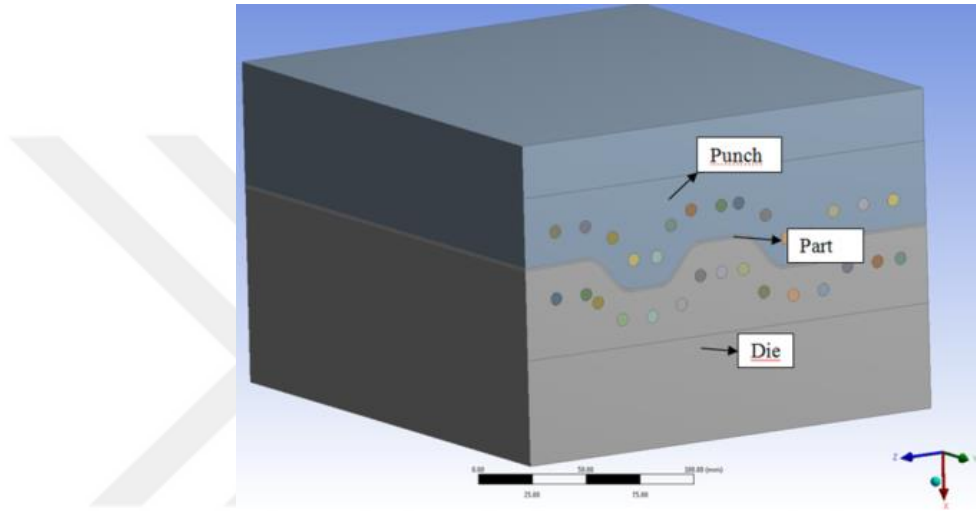


Şekil 4.1.7. Sac parça orta noktasındaki sıcaklığın zaman göre değişim grafiği

Sac parçanın orta noktası için 800 °C'den 200 °C'ye sıcaklık düşüşü analiz edilmiştir (Şekil 4.1.7). Ancak modelde sac parçanın kalıplara mükemmel temas ettiği kabul edilmiş ve basınca bağlı ısı iletkenlik değişimi kullanılmamıştır. Analiz süresinde soğutma kanal sıcaklığı da sabit alınmıştır. Üç boyutlu modelde soğutma kanallarındaki akış da modellenerek daha doğru bir model oluşturulup optimizasyon işlemi doğrulanmış model üzerinde gerçekleştirilecektir.

Sıcak şekillendirme sürecinin son aşaması olan su verme işlemi için Hesaplamalı Akışkan Dinamiği metodu kullanılarak sayısal benzetimler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle üretimi devam eden bir parçanın kesiti alınarak elde edilen model üzerinde soğutma benzetimi yapılarak, süreç sonunda sac parça üzerinde farklı bölgelerde oluşan soğuma hızları ve neticesinde meydana gelen martenzitik yapı oluşumu değerlendirilmiştir (Şekil 4.1.8).

Isıtma süreci fırında gerçekleştirilmekte ve yaklaşık 900°C ve üzerindeki sıcaklıklara sac parçanın ısıtılması sonucunda malzeme içyapısında ostenit oluşumu sağlanmaktadır. Sac parça malzemesi olarak, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Usibor 1500p olarak adlandırılan 22MnB5 malzemesi kullanılmıştır. Fırında ısıtılan parça yaklaşık, 6-7 sn gibi kısa bir zaman diliminde prese taşınmakta ve bu süreçte sıcaklığı yaklaşık 800°C'ye düşmektedir. Bu süreçte etkili olan ısı transfer mekanizmaları taşınım ve ışıınım mekanizmalarıdır.



Şekil 4.1.8. Kalıp sac parça ve modeli

Şekil verme sürecinde sac parça koç ile ilk teması sağlandığı andan itibaren etkili olan temas parametreleri ısı transferini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu süreçte taşınım ve ışıınım mekanizmalarının etkisi iletimle olan ısı transfer mekanizmasının etkisi yanında ihmal edilebilir. Dolayısıyla bu süreçte etkili olan parametreler aşağıda belirtilmiştir.

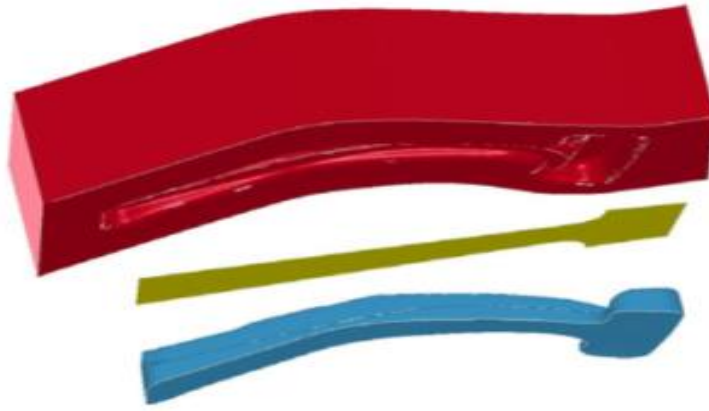
- Temas yüzeyinde toplam iletim ile olan ısı transfer katsayısı
- Şekillendirme kuvveti ve basıncı
- Isıl temas direnci

Form verme süreci yaklaşık 1s gibi kısa bir zaman diliminde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla sıcak şekillendirme süreçlerini kısaltmak ve soğuma verimini arttırmak için süreçler içinde en çok zaman alan ve son süreç olan soğutma sürecinde iyileştirmeler yapmak daha elverişlidir.

Soğutma sürecinde benzetimler yaparak süreci iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilen sayısal hesaplamaların sonuçlarının doğruluğu sürecin değerlendirilmesi açısından son derece önemlidir. Bu süreçte kullanılan sonlu elemanlar ve sonlu hacimler tabanlı paket yazılımlarda genel olarak iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlarda kullanılan modeller “Kabuk model” ve “Katı model” olarak ifade edilebilir. Bu modeller aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.1.9 ve Şekil 4.1.10).

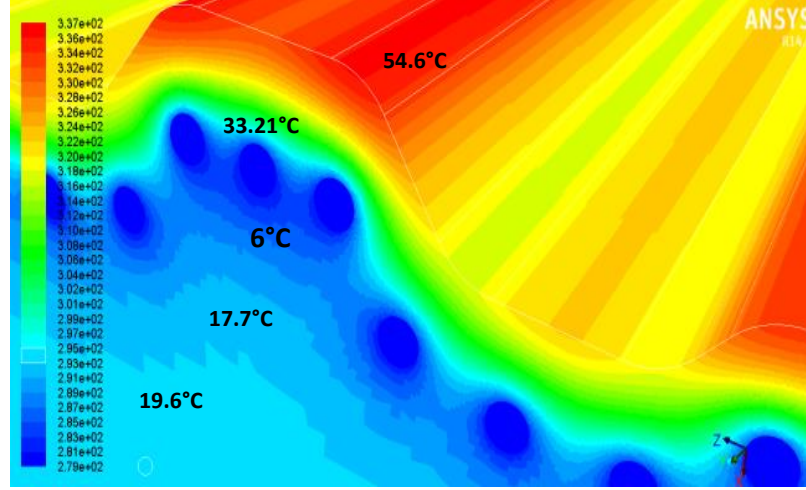


Şekil 4.1.9. Kabuk Model



Şekil 4.1.10. Katı model

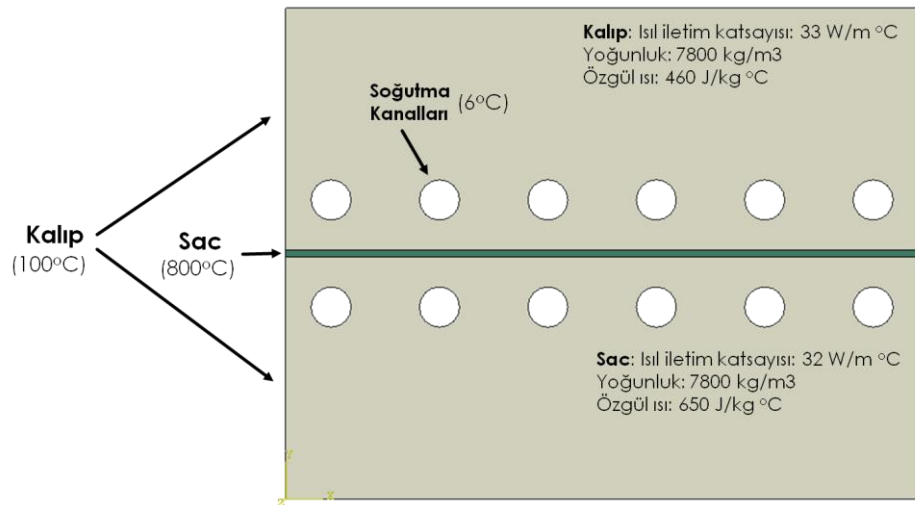
Kabuk model yaklaşımı tabanlı Deform2d, Autoform, Pam-Stamp gibi yazılımlar ile birlikte katı model yaklaşımlarının modellenebildiği Ansys Fluent, CFX, Ls-Dyna gibi yazılımların benzetim sürecinde birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Soğutma sürecinde başlangıçta kalıp yüzeyinde alınacak ortalama sıcaklık değeri analiz sonuçlarını etkileyen önemli bir parametredir. Kalıp temas yüzeyi başlangıç sıcaklığı ilk parça ile devam eden parça imalatı süresince artacak ve belirli bir değerden sonra rejim sıcaklığına ulaşacaktır (Şekil 4.1.11).



Şekil 4.1.11. $t=5.2s$ için kalıp temas ara yüzeyi ve diğer yüzeylerin sıcaklık dağılımı

Simulasyon süreci karmaşık model yapısı, termal ve mekanik etkilerin bir arada alınması gereği ve çok amaçlı oluşu nedeniyle optimizasyon için deneysel tasarım yaklaşımı kullanılacaktır.

Kanal sayısının ısı transferine olan etkisini daha detaylı incelemek için düz sac modeli üzerinde aynı toplam soğutma kanal yüzeyi sabit tutularak farklı çap ve sayıdaki kanalların parçanın ortalama soğuma hızına etkisi incelenmiştir (Şekil 4.1.12). Sabit yüzey alanı ile kanal sayısı değişkenliğinin ısı transferine etkisi gözlemlenmiştir.

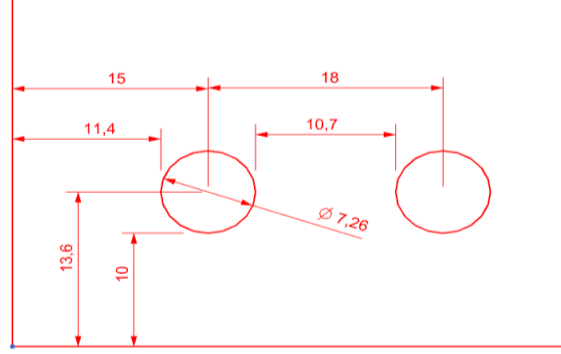


Şekil 4.1.12. 2B ısı transferi modeli ve sınır şartları

Parametreler:

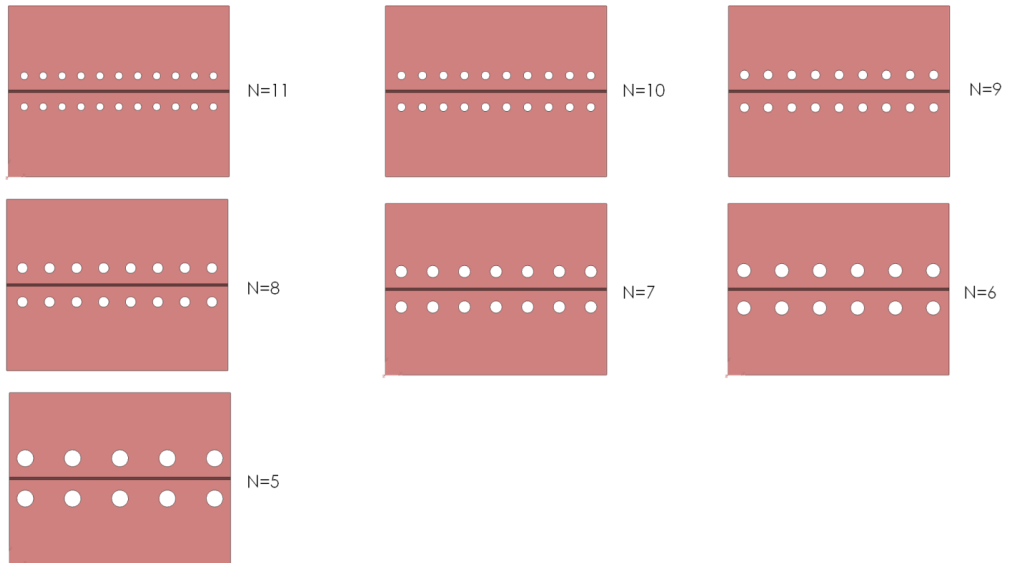
Parametre 1 (kanal sayıları): **5, 6, 7, 8, 9, 10, 11**

Parametre 2 (kanal çapları): **7.26, 8.00, 8.9, 10.00, 11.44, 13.34, 16.00 mm**

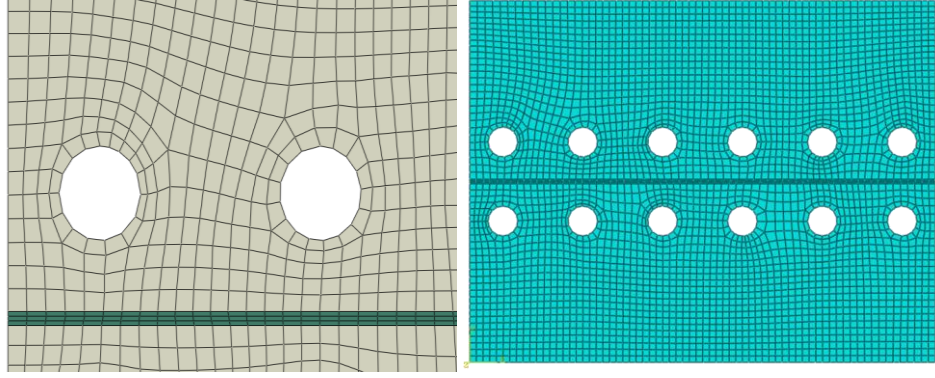


Şekil 4.1.13. Parametreler

- Toplam **7** model oluşturuldu.
- Tüm modellerde kanalların sac parçaya olan mesafeleri sabit (**10 mm**) alındı.
- Tüm modellerde toplam soğutma kanal çevre uzunluğu sabit (**251 mm**) alındı.
- Kanalların merkezlerinin kenarlara olan mesafeleri simetrik (**15 mm**) alındı.
- Her modelde kanallar arası mesafeler eşit dağıtıldı.

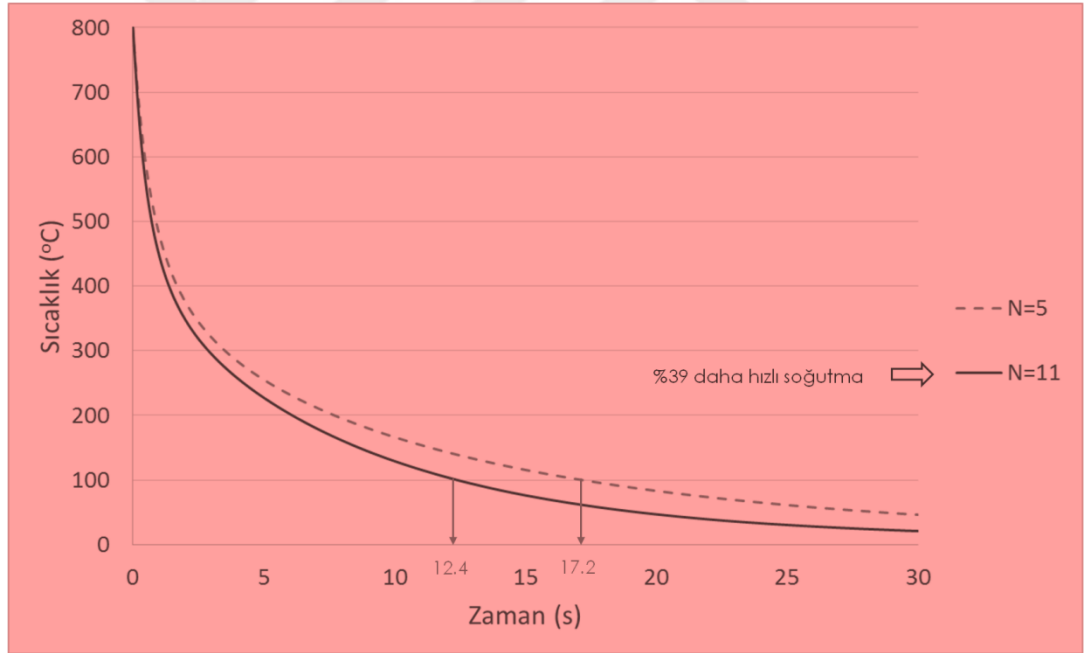


Şekil 4.1.14. Modeller



Şekil 4.1.15. Sonlu Elemanlar Analizi: Geçici Rejimde Isı Transferi

Oluşturulan 7 ayrı model için geçici rejimde ısı transferi sonlu elemanlar analizi yapılmıştır (Şekil 4.1.13-Şekil 4.1.14-Şekil 4.1.15). 30. saniye sıcaklık dağılımı her bir model için incelenmiştir (Şekil 4.1.16). Bu sayede eşit aralıklarla ve eşdeğer çevre uzunluğu ile sabit kesitli düzlemsel bir parçanın ısı transferi gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1.16. Sac yüzeyi ortalama soğuma eğrileri

N=5, R=8 mm için 100 °C'ye soğuma için geçen süre 17.2 saniye (ort hız=40.7 °C/s)

N=11, R=3.6 mm için 100 °C'ye soğuma için geçen süre 12.4 saniye (ort hız=56.5 °C/s)

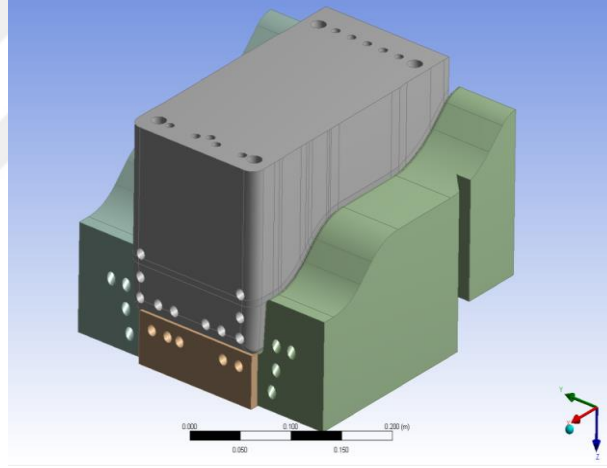
Soğutma Kanalları ve Optimizasyon çalışmaları: Kanal Boyutlarının ve Konumunun Belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen 2D Simülasyonlar:

Düz levha üzerinde uygulanan yaklaşım kalıp elemanları üzerinde farklı kanal sayıları ve mesafeler için de gerçekleştirilmiştir. Kanal yarıçapları Beyçelik-Gestamp'da bulunan imalat amaçlı kullanılan matkap ölçüleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

2D analizler sonucunda elde edilen kanal boyutları ve kanal konumları kullanılarak üç boyutlu analizler gerçekleştirilmiştir. 2D analizleri sonucunda optimum kanal sayısı belirlenmiştir.

Soğutma Süreci için gerçekleştirilen 3D analizler:

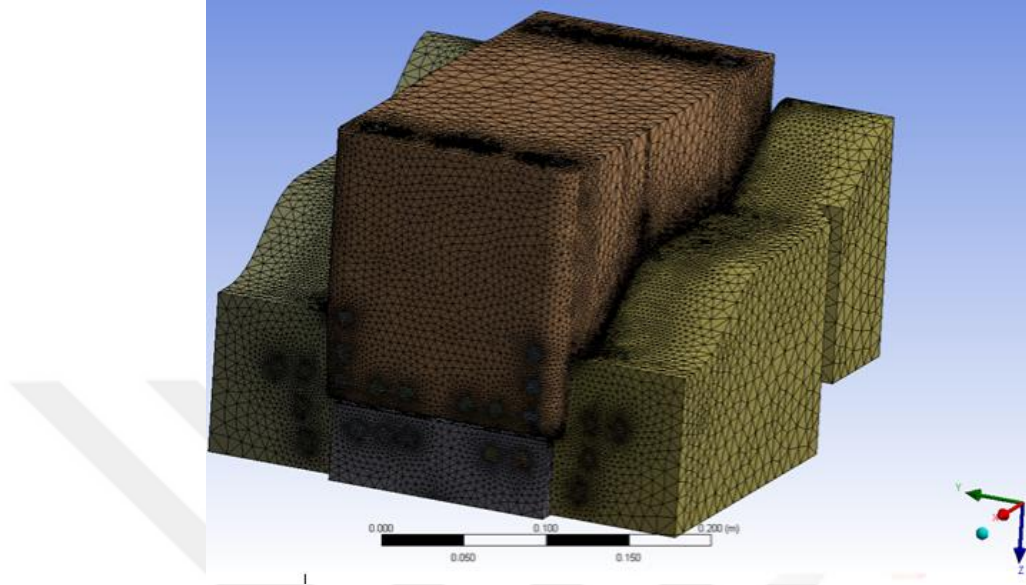
Soğutma kanalları ve kalıp elemanlarından oluşan montaj Şekil 4.1.17'de yer almaktadır.



Şekil 4.1.17. Kalıp Elemanları Genel Görünüm

Kalıp elemanları CAD modeli kullanılarak soğutma kanalları ve su akış hacmi oluşturuldu. Su kanalları oluşturulurken parça geometrisine paralel olacak şekilde ve mümkün mertebe kalıp içinde homojen dağılım gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Su akış hacmi ve kalıp elemanlar dikkate alınarak montajı oluşturan tüm elemanlar “Ansys Design Modeler” programında isimlendirilerek sınır şartlarının doğru girilebilmesi sağlanmıştır. Ansys Mesh programında “tetrahedron” elemanlar kullanılarak yaklaşık 106 adet toplam elemandan oluşan çözüm ağı yapısı oluşturularak tüm yüzeyler ve temas ara yüzeyleri oluşturularak ayrı isimlendirildi.

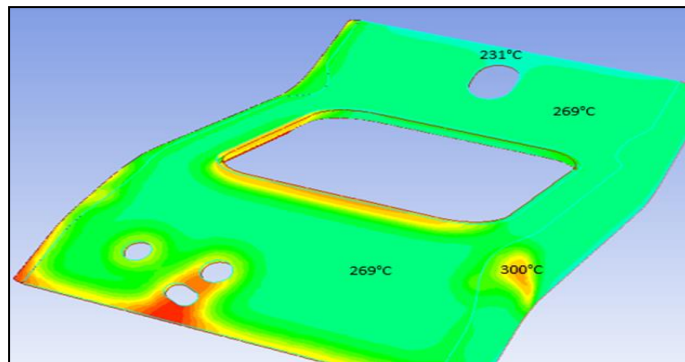
Analizler için Ansys Mesh yazılımında oluşturulan çözüm ağı ve tüm özellikler “Ansys Fluent” programına aktarıldı (Şekil 4.1.18). Çözüm sürecini kısaltmak ve çözüm hassasiyetini artırabilmek için “polyhedron” elemanlar kullanıldı.



Şekil 4.1.18. Çözüm ağı yapısı ve yüzeylerin oluşturulması

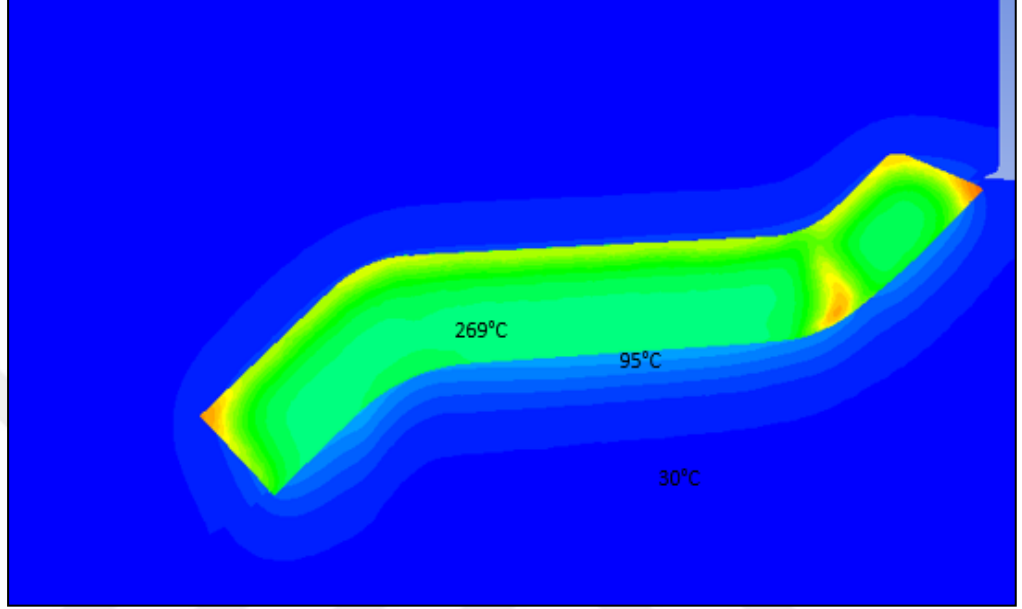
Toplam eleman sayısı yaklaşık 2.5×10^6 ya düşürülerek toplam hesaplama zamanı azaltıldı ancak çözüm hassasiyeti “polyhedron” elemanlar kullanılarak artırıldı. Bu sayede toplam hesaplama zamanı 1 güne indirildi.

Bu analizde sac parça başlangıç sıcaklığı 800°C , Kalıbın ortam havası ile temas eden yüzeylerinde taşınım ve ışınlım sınır şartları birlikte ele alınmıştır. Kalıp sac parça temas yüzeyinde ise iletimle ısı transferi, ısıl temas direnci ve şekillendirme basıncı dikkate alınarak belirlenmiştir.

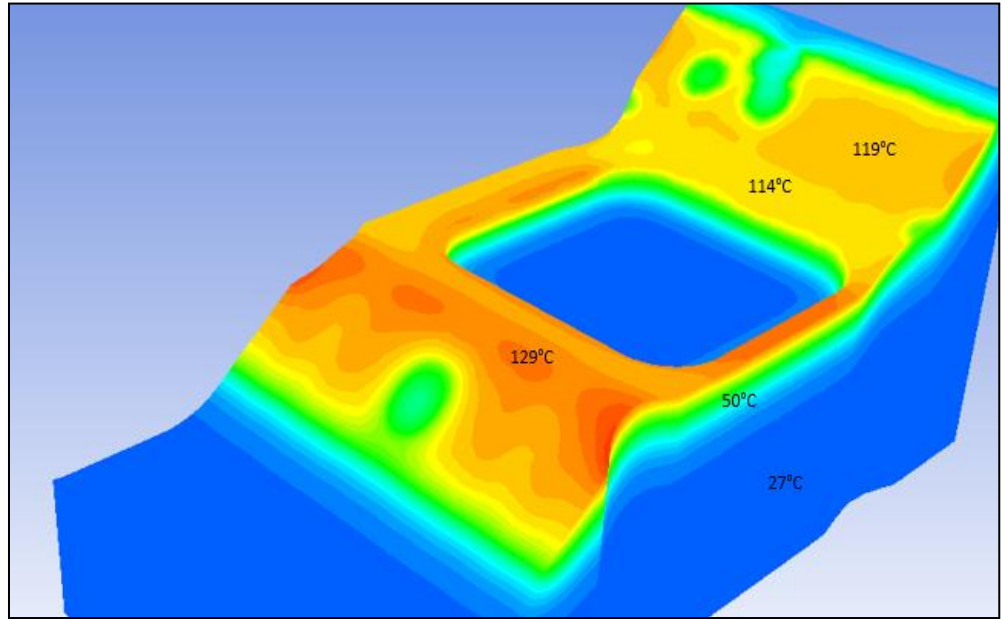


Şekil 4.1.19. $t=7\text{s}$ için Sac Parça Yüzey Sıcaklık Dağılımı

Şekil 4.1.19 ve Şekil 4.1.20’de gösterilen sac parça sıcaklık dağılımı 7 saniye soğutma süreci sonunda elde edilmiştir. Şekil 4.1.21’de gösterilen kalıp ara yüzey sıcaklığı dağılımı değerlendirildiğinde ise kalıp ortalama yüzey sıcaklığı 120°C olarak hesaplanmıştır.



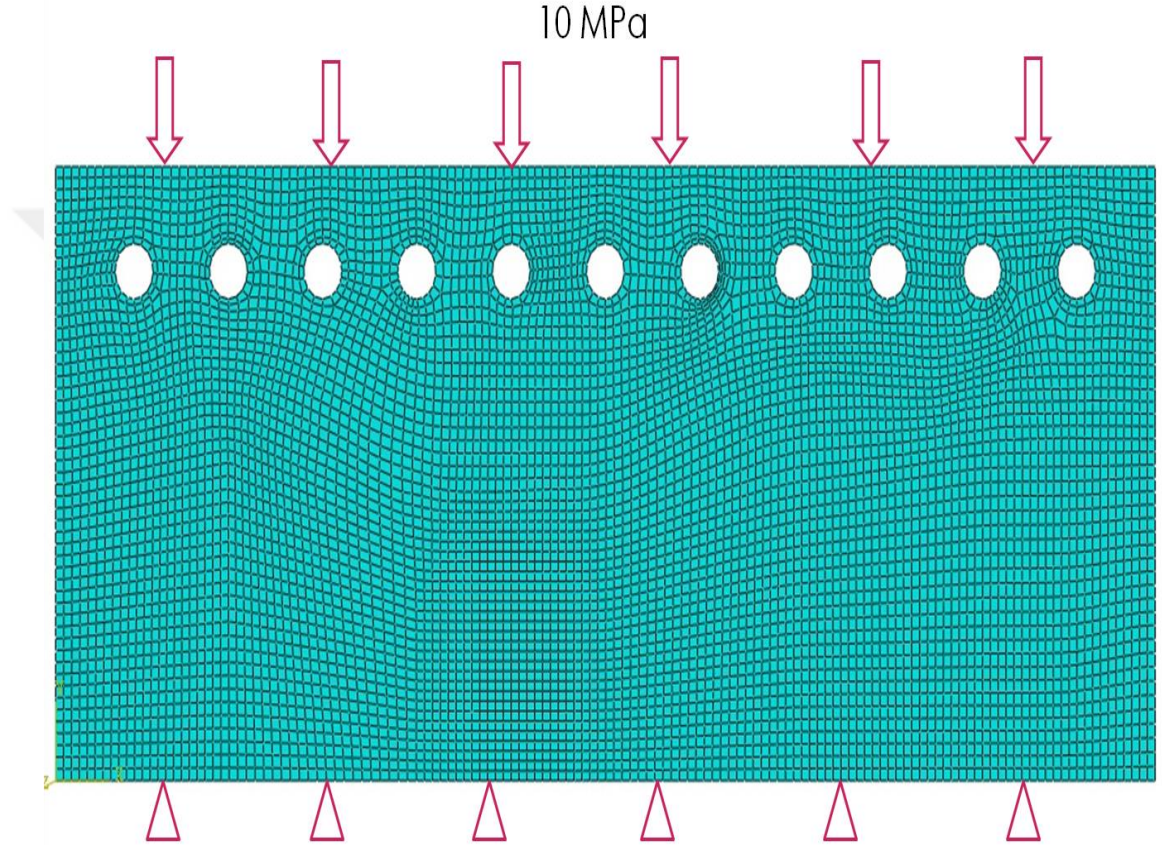
Şekil 4.1.20. t=7s için Sac Parça ve Kalıp elemanları Yüzey Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4.1.21. t=7s için Alt Kalıp Ara Yüzey Sıcaklığı Dağılımı

Kalıp Gerilme Analizler:

Kanal sayısının, yüzeye ve birbirine olan mesafenin, eşit çevre uzunluğunda çap değişiminin yüzey gerilimine etkisini ve emniyetli mesafenin belirlenmesi amacıyla seçilen 7 model için gerilme analizi yapılmıştır (Şekil 4.1.22).



Şekil 4.1.22. Gerilme analizi sınır şartları

- $E=210000$ MPa
- $\nu=0.3$
- 2D Plane strain eleman tipi
- Statik analiz

4.2. Soğutma Kanallarının Tasarıma Aktarılması ve Katı Tasarımın Tamamlanması

Sıcak şekillendirmede fırın içerisinden çıkan sac yüksek miktarda enerji taşır (Şekil 4.2.1). Soğutma kanalı tasarımında amaç bu ısı enerjisini parçadan ve kalıptan mümkün olduğu kadar hızlı uzaklaştırmaktır.

$$Q=m.c.\Delta T$$

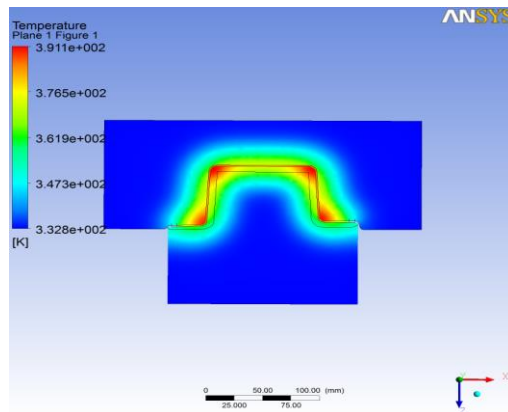
Q : Birim hacimde geçen ısı miktarı (Kj/s)

m : Kütleli debi (Kg/s)

C: Sabit basınçta ortalama özgül ısı (KJ/KgK)

ΔT : Sıcaklık farkı (K)

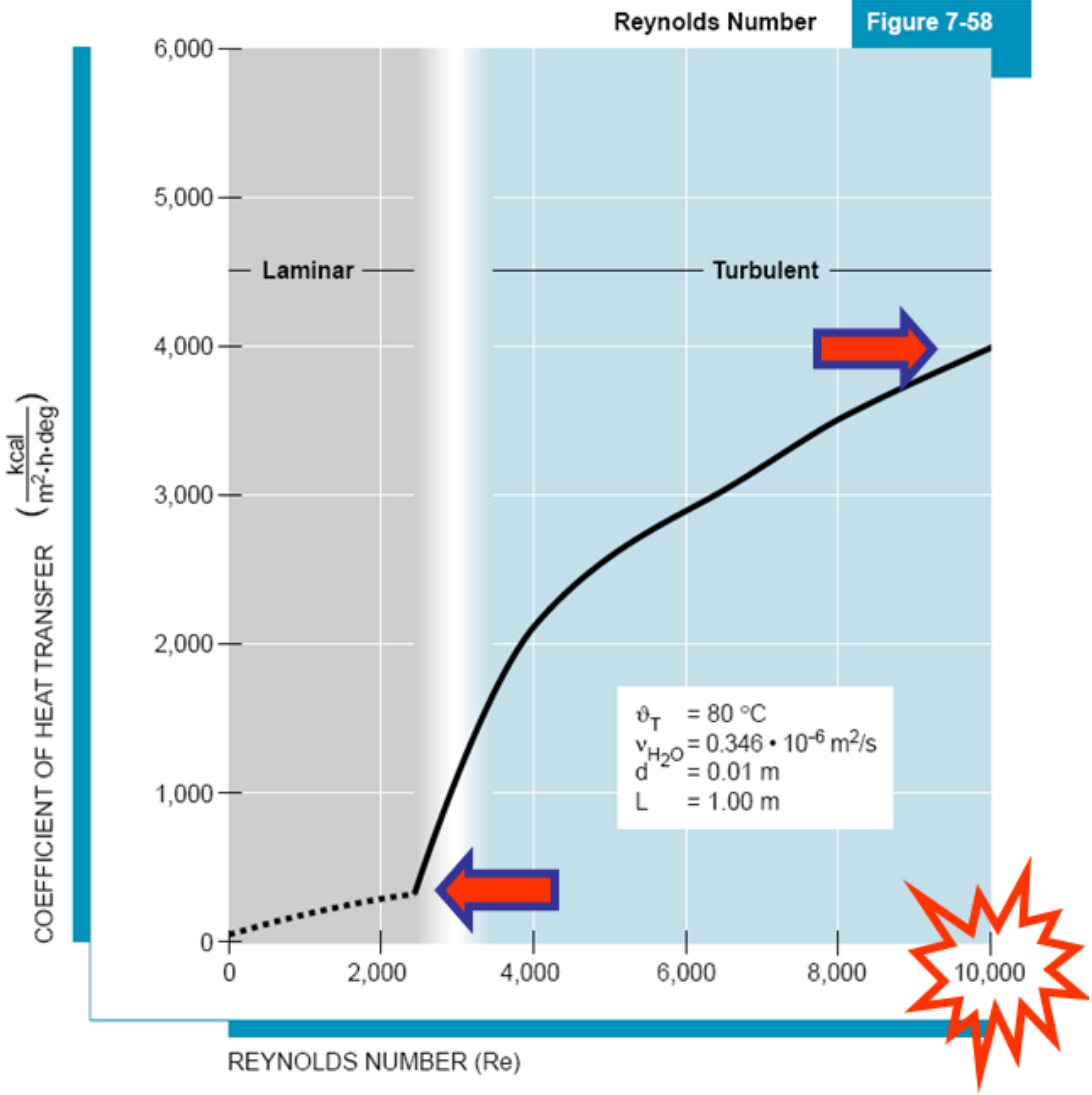
Fakat kalıptan ısıyı uzaklaştırırken diğer dikkat edilmesi gereken konu da parçadan ısıyı homojen bir şekilde transfer etmektir. Dengesiz ısı transferi parça içerisindeki metalurjik faz dönüşümünün orantısız olmasına ve dolayısıyla parçanın burulma-çarpılma gibi kalite problemlerine sebep olacaktır. Dengesiz ısı transferi aynı zamanda bitmiş parça içerisinde martenzitik yapının yanında istenmeyen beynit-perlit gibi yapılar oluşturacak ve geometrinin yanında parça mukavemeti, sertlik, çarpışma performansı, kaynak kabiliyeti, boya kabiliyeti gibi problemlere neden olacaktır. Bu nedenle homojen soğuma ve homojen faz dönüşümü için soğutma kanallarının tasarımı oldukça önemlidir.



Şekil 4.2.1. Parçadan çeliklere olan ısı akışı (Ansys-Şematik gösterim)

Özellikle soğutma kanallarının, üretim zamanı üzerinde dolayısı ile de parça başına maliyette etkisi yüksektir. Daha önce bahsedildiği gibi bazı yaklaşımlar ve hesaplamalar kullanılsa da, günümüzde doğruya en yakın sonuçları, doğru yapılmış analizler belirtmektedir. Analiz yapan programların matematiksel altyapısını algılayıp, parametrelerin seçilmesinde gösterilen özen, doğru bir analiz olmasının tek şartıdır.

Soğutma sistemini etkileyen diğer faktörler de analiz esnasında dikkate alınmalıdır. Akışkan tipi, akışkan sıcaklığı, çelik malzemesi seçimi, çevrim tipi gibi parametreler belli bir yaklaşımın dışında kalıba özgü değişkenlerdir. Doğru sonuçların alınabilmesi için simülasyona doğru verilerin girilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.2.2. Reynolds sayısına bağlı ısı transfer katsayısı (Yazıcı 2007)

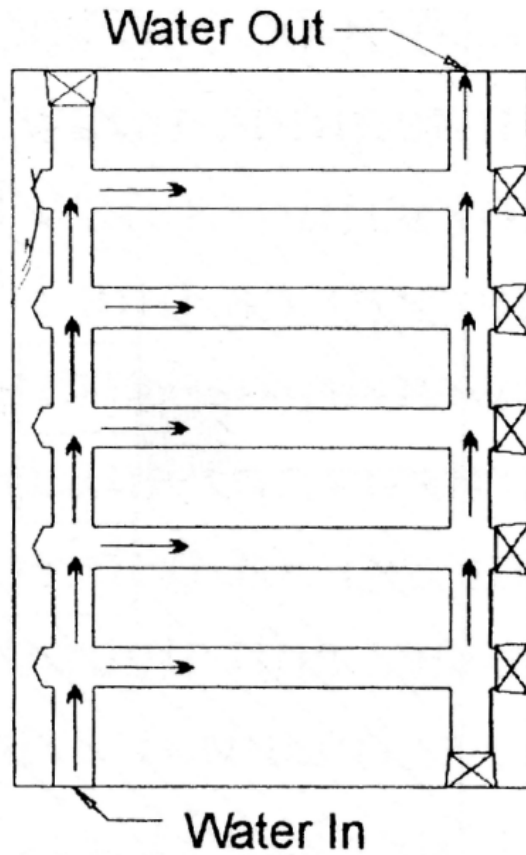
Akış önemli bir parametredir. Genel olarak laminer bir akış tercih edilmez. Bunu laminer akışın sadece bir kısmının, türbülans akışta ise birçok partikülün soğutma kanalı duvarlarına etki etmesi olarak açıklayabiliriz. Akışı etkileyen en önemli faktör Reynolds (Re) sayısıdır. $Re > 4000$ durumu türbülans akışı gösterir.

Analiz esnasında, programları genelde Reynolds sayısını 10000 alırlar (Şekil 4.2.2). Reynolds sayısı duvarların yüzey kalitesi ile ters orantıdadır. Kaba işlenmiş yüzeyler akışı bozacak ve soğutma için daha iyi şartı sağlayacaktır, fakat bu durum da pürüzlü yüzeyin kolay paslanması anlamına gelir.

Türbülanslı akış ısı transferini önemli oranda artırır.

Re \geq 10.000 olduğunda Laminer akışın ≥ 10 katı ısı transfer hızına ulaşılmış olur.

Çevrim tipinin de etkisi ve imalat ve sonuçları açısından da avantaj ve dezavantajları vardır.



Şekil 4.2.3. Paralel çevrim

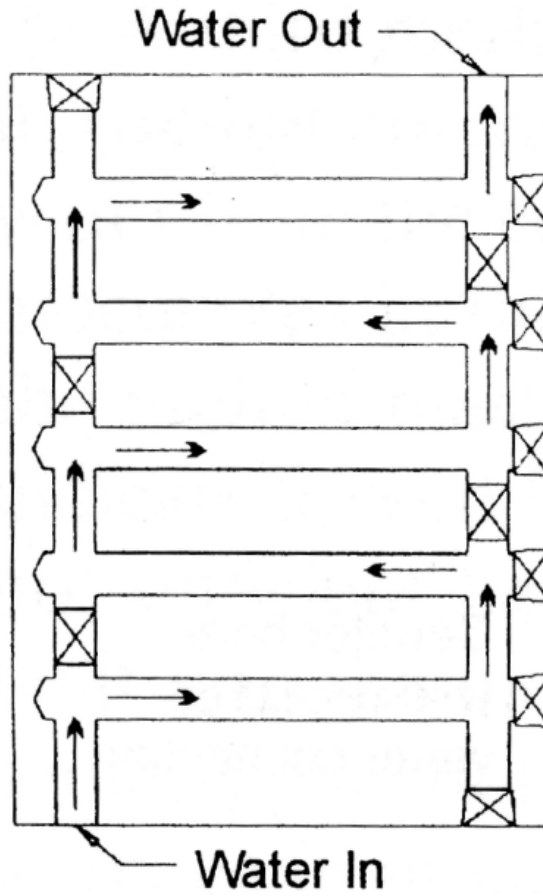
Paralel çevrimde, su tek bir girişten birden fazla kanala beslenerek tek bir çıkıştan çıkar. İdeal durumda suyun tüm paralel kanallara aynı sıcaklık ve debide ulaşması istenir (Şekil 4.2.3).

Avantajlar :

- Su akış uzunlukları kısa => Daha az basınç düşüğü, daha düşük pompa kapasitesi gereksinimi
- Su sıcaklığı seri çevrime göre daha sabit.

Dezavantajlar :

- İkincil kanallarda debi ana kanaldan daha düşük => Turbulans akışı sağlamak daha zor
- Karmaşık tasarımlarda eşit debiyi sağlamak zor.



Şekil 4.2.4. Seri çevrim

Seri çevrimde ise su kanalları arasında dallanma yoktur. Tek giriş ve tek çıkış ile çevrim tamamlanır (Şekil 4.2.4).

Avantajlar :

- Tek kanalda debi yüksek => Türbulanslı akış
- Kalıp setup'ı daha kolay ve hızlı.
- Debi tüm kanal boyunca sabit
- Su kanalındaki bir tıkanma hemen farkedilir.

Dezavantajlar :

- Tek kanal uzunluğu boyunca basınç düşüşü daha fazla => Aynı debi için daha yüksek pompa kapasitesi
- Kanal giriş ve çıkış sıcaklık farkı daha yüksek :
- Soğutma homojenliğinin bozulması :
- Tek gözlü kalıpta parçada çarpılma
- Çok gözlü kalıpta gözler arasında farklılık.

Takım çeliği olarak sıcak şekillendirme için dünyada yaygın olarak kullanılan QRO-90 seçilmiştir (Şekil 4.2.5). Çelikten sağlanabilen özellikler aşağıdaki gibidir.

Özellikleri

- Yüksek sıcak sertlik,
- Yüksek sıcak mukavemet,
- Yüksek meneviş direnci,
- Yüksek ısı yorulma ve ısı şok direnci,
- Temiz ve homojen mikroyapı,
- İyi işlenebilirlik ve mükemmel parlatılabilirlik,
- Yüksek sertleşebilirlik,
- Isıl işlemde mükemmel boyutsal kararlılık,
- Yüzey işlemlerine uygunluk

Uddeholm Qro 90 Supreme

ISO/DIN Patent	AISI Patent	Teslim Sertliği 185 HB	C 0,38	Si 0,30	Mn 0,75	Cr 2,60	Mo 2,30	V 0,90
--------------------------	-----------------------	----------------------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	------------------

Mekanik Özellikler

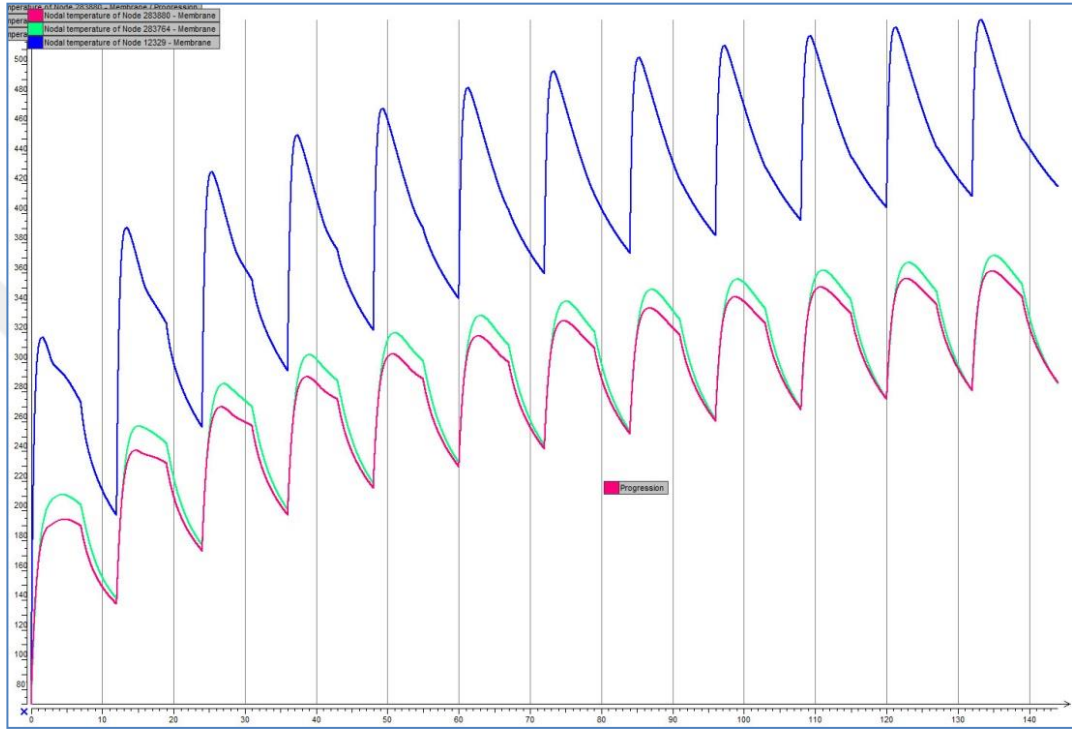
Sertlik (HRc)	Çekme Dayanımı (MPa, N/mm ²)	Akma Dayanımı (MPa, N/mm ²)
48	1620	1400
45	1470	1270
40	1250	1100

Fiziksel Özellikler

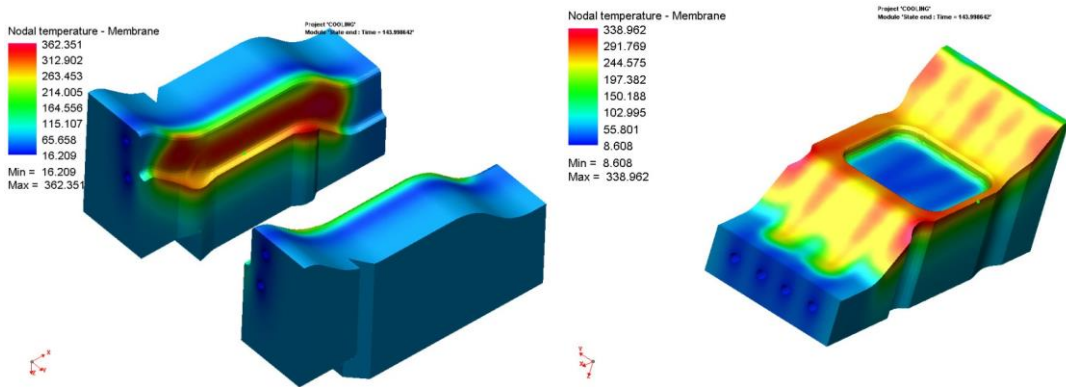
Sıcaklık °C	20	400	600
Yoğunluk (g/cm³)	7,80	7,75	7,6
Isıl Genleşme Katsayısı	-	12,6*10 ⁻⁶	13,2*10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/m°C)	-	33	33
Elestiklik Modülü (MPa)	210000	180000	140000
Özgül Isı (J/kg °C)	460	-	-

Şekil 4.2.5. QRO-90 Supreme-Uddeholm (Hongsheng ve ark. 2011)

Farklı kanal sayıları ve yerleşimle ilgili 2 boyut analizleri doğrulanmış ve uygun olmayan modellerde 15-20 strok sonrası kalıp yüzeylerinde ısınmanın devam ettiği, buna bağlı olarak da devam eden üretimde çıkan parçaların martenzit dönüşümü tamamlamadığı ve istenen özelliklere ulaşmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.2.6-Şekil 4.2.7).



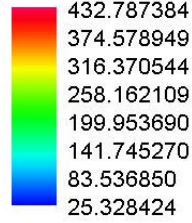
Şekil 4.2.6. 20 strok sonrası kalıp sıcaklığı (PAM-STAMP-uygun olmayan soğutma)



Şekil 4.2.7. PAM-STAMP soğutma analizi kalıp yüzeyleri (proses sonrası yüzey sıcaklıkları uygun değil)

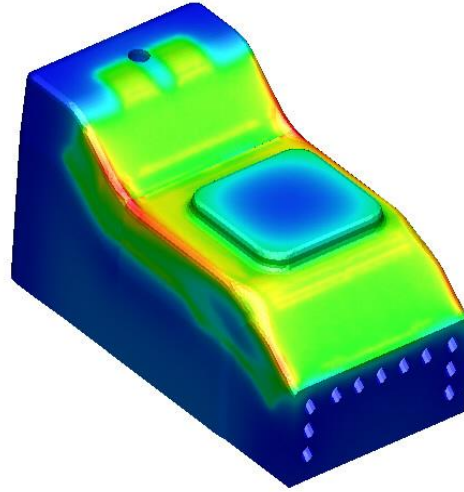
Yapılan analizlerden elde edilen veriler eşliğinde soğutma kanalı için parça geometrisine göre farklı modeller hazırlanmış ve uygun modele göre soğutma analizleri tamamlanmıştır (Şekil 4.2.8-Şekil 4.2.9).

Nodal temperature - Membrane

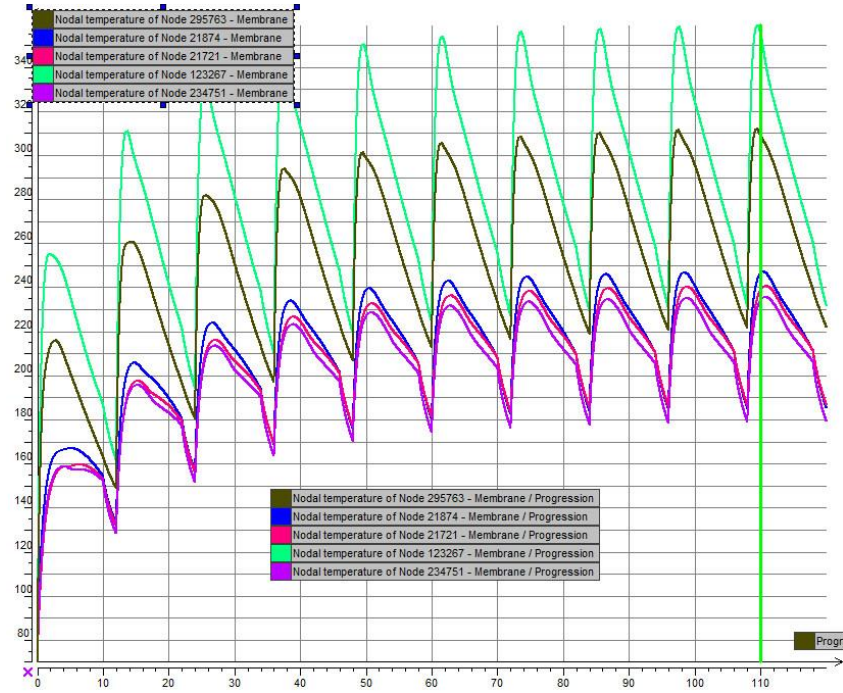


Min = 25.328424
Max = 432.787384

Project 'COOLING2'
Module 'State 56 : Time = 110.001003'



Şekil 4.2.8. PAM-STAMP soğutma analizi kalıp yüzeyleri (proses sonrası uygun sıcaklık)

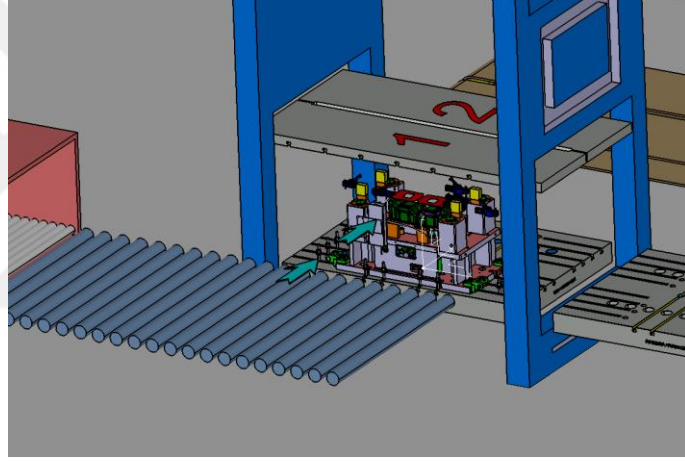


Şekil 4.2.9. 20 strok sonrası kalıp sıcaklığı (PAM-STAMP-uygun soğutma)

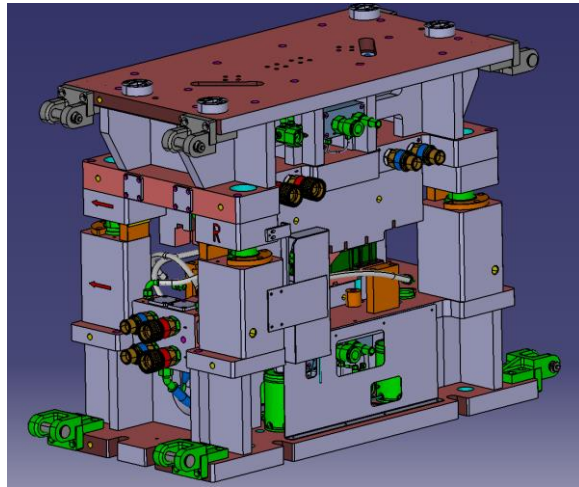
PAM-STAMP soğutma analizi tamamlandıktan sonra hesaplanan soğutma kanalları ile çeliklerin katı model tasarımı tamamlanmıştır. Parça geometrisine ve imalat yeteneklerine göre çelik birleşme yerleri belirlenmiş, tedarikçi stok bilgileri doğrultusunda kesim ölçüleri dikkate alınarak çelik tasarımları tamamlanmıştır.

Tasarım için ihtiyaç olan imalat parçaları Catia'da modellenerek Catalog Editor ile malzeme kütüphanesi oluşturulmuştur. Assembly Desin modülünde Catalog Browser ile tasarıma getirilerek Constrains komutlarıyla final montaj tamamlanmıştır (Şekil 4.2.10-Şekil 4.2.11).

Tasarımın tamamlanmasından sonra malzeme listesi oluşturulmuş ve standart malzemelerin ve hammaddelerin siparişi geçilerek kalıp imalat aşamasına geçilmiştir.



Şekil 4.2.10. Alt kalıp pres üzerinde



Şekil 4.2.11. Kalıp izometrik görünüş

Kalıp tasarımı tamamlandıktan sonra check-listlerle tasarım kontrol edilmiş ve malzeme listeleri çıkarılmıştır. Malzeme listesini kabaca standart malzemeler ve imalat malzemeleri şeklinde 2 bölüme ayırabiliriz. Bunları da kalıp imalat sırasına göre ön montaj ve final montaj şeklinde planlayarak kalıp detay planı çıkarılmıştır.

Standart malzemelerle ilgili firmaların verdiği teslimat sürelerine bağlı olarak detaylı imalat planı oluşturulmuştur.

Kalıp ölçümü tamamlandıktan sonra alıştırma işlemine geçilmiş ve kalıptan parça çıkarma işlemi tamamlanmıştır. Üretilen parçalar fikstür üzerinde Atos cihazı ile ölçüseliği kontrol edilmiştir.



5. SONUÇ

Sıcak şekillendirme teknolojisi 1974 yılından beri çeşitli sektörlerde seri imalat için kullanılan bir üretim metodudur. 1984 yılı itibariyle otomotiv sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır.

Beyçelik-Gestamp, 2010 yılında yapmış olduğu 2 medium line yatırımıyla teknolojiyi ülkemize getirmiştir. Seri üretimde kalıp konusunda dışarıya olan bağımlılık nedeniyle sıcak şekillendirme kalıplarının tasarımı ve üretimi için gerekli olan Ar-Ge ve “know-how” bilgi birikimi sağlanarak ilk seri hat kalıp prototipini simülasyon ve optimizasyon destekli tasarlamak ve imal etmek, bu konuda yetkinlik kazanılması hedefi ile gerçekleştirilen *"Türk Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarımı Yeteneğinin Geliştirilmesi Projesi "* bu anlamda oldukça başarılı olmuştur.

Projenin kazanımlarını maddeler halinde özetleyecek olursak;

- Projede sıcak şekillendirme kalıp tasarımı, tasarım doğrulaması ve imalat süreci ile ilgili firmanın gereksinim duyduğu dışa bağımlılığı önleyecek tasarım ve imalat konularında edinilen bilgiler ve deneyim konusunda yetkinlik geliştirilmiştir.
- Kodları yazılan makro program ile yeni bir parça üzerinde sac malzemesi, kalıp malzemesi, ortam şartları..vb. bağlı olarak simülasyon ortamına geçmeden parçanın soğutma zamanı, çevrim zamanı gibi veriler öngörü olarak hesaplanabilmektedir. Teklif aşamasında süreci hızlı yönetmek adına çok önemli bir çalışmadır. Yeni ürün için yapılan ön çalışmalarda rekabet edebilme açısından teklif hazırlamada hızlı ve etkin hareket edebilme yetkinliği kazanmıştır.
- Sıcak şekillendirme kalıp tasarımında soğutma kanallarının özellikleri, yerleşimi ve optimizasyonu ile ilgili soğutma kanalı tasarımı için yetkinlik geliştirilmiştir. Kanal çapları, birbirlerine göre yerleşimi, yüzeye olan konumları..vs bilgileri gelecek çalışmalar için tasarım standartları olarak firmanın kalıp üretim süreci prosedürlerine entegre edilmektedir.

- Soğutma kanalı ve kalıp yüzeyi arasındaki emniyetli mesafe hakkında yorum kabiliyeti geliştirilmiştir. Emniyetli çalışma şartları tasarım standartlarına eklenmiştir.
- İmalat yöntemleri ile ilgili kısıtlar ve geliştirme yöntemleri ile ilgili tecrübe kazanılmış, bu konudaki detaylar tasarım kısıtları adı altında standartlaştırılmıştır.
- Sıcak şekillendirme kalıplarının nihai (finish) işlemesi ile ilgili form ve talimatlar geliştirilmiş, sonraki çalışmalar için bilgi bankasına eklenmiştir
- Kalıbın simülasyonunda ve tasarımında dikkat edilecek parametreler, parametrelerin değişim aralıkları, değişkenlerin etkileri hakkında çok önemli bilgiler elde edilmiş ve sonraki çalışmalar için standartlar kütüphanesine eklenmiştir.
- Ar-Ge projelerinde araştırma ve geliştirme sürecinde yapılan çalışmaların yönetimi ve problem çözme yaklaşımlarının uygulanması konularında yetkinlik geliştirilmiştir. Firmada Ar-Ge kültürünün gelişimi sağlanmıştır.
- Üniversite Sanayi işbirliğinin nasıl daha etkin olabileceği konusunda mevcut olan tecrübenin gelişimi sağlanmıştır. Deneyim kazanılmıştır.

Ülkemizde de sıcak şekillendirmenin öncüsü olan ve misyonu gelişen teknolojileri sahiplenerek sektöründe liderlik olan Beyçelik-Gestamp, temellerini atmış olduğu bu projenin devamını getirerek güncelliğini korumak, gelişen teknolojileri takip etmek ve 2023 hedeflerinde diğer alanlarda olduğu gibi sıcak şekillendirme teknolojisinde de uluslararası arenada yön veren firmalar arasına girmek hedefindedir.

1. KAYNAKLAR

Anonim, 1984.

en.wikipedia.org/wiki/Crumple_zone#/media/File:Cross_section_of_Saab_9000.jpg

(Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim, 2003.

http://www.google.com.tr/imgres?imgurl=http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/images/nrd-01/esv/JK_SAE2k3/Slide14.jpg&imgrefurl=http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/esv/18th/discussions/JK_ESVAdv.htm&h=540&w=720&tbnid=_dUgkaaHSjYw9M:&docid=qpPbYFOExVLmJM&ei=evwYVrD6CcKssgHtt5rwCA&tbnid=isch&ved=0CDsQMygaMBpqFQoTCLCf_JPst8gCFUKWLAod7ZsGjg

(Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_a, 2011.

<http://stratejinedir.blogspot.com.tr/2011/09/obama-yonetimi-2025-yakt-ekonomisi-cafe.html> (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_b, 2011.

SICAK ŞEKİLLENDİRME SÜREÇ OPTİMİZASYONU PROJESİ - TEYDEB 3100137 - **BEYÇELİK-GESTAMP**

Anonim, 2012.

http://www.google.com.tr/imgres?imgurl=http://usa.streetsblog.org/wp-content/uploads/sites/5/2013/11/fatalities.png&imgrefurl=http://usa.streetsblog.org/2013/11/14/its-official-33561-people-killed-in-traffic-on-american-streets-last-year/&h=650&w=902&tbnid=jivwYDXahUvP2M:&docid=6zAWGSJICKDWwM&ei=7_sYVrjUDYuxsQGvy6vgBw&tbnid=isch&ved=0CDsQMygXMBdqFQoTCPiH3NHrt8gCFYtYLAodr-UKfA (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_a, 2013.

Warmumformung im Automobilbau ThyssenKrupp Steel EuropaAG

Anonim_b, 2013.

<http://www.ruukki.com/~media/Images/News-and-events/Feature-stories/2013/Ruukki-EN-Figure-4-automotive-article.ashx> (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_a, 2014.

Raillife/September-2014/Issue-72 (www.tcdd.gov.tr)

Anonim_b, 2014.

http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_EU-95gram_jan2014.pdf (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_c, 2014.

http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/oerlikon_AP_T-presentation-Schopfheim-handout.pdf?download=1 (Press hardening form a global perspektive_APT) (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_d, 2014.

<http://www.thefabricator.com/article/blankingdrawingdeepdrawing/10-hot-stamping-hss-faqs> (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_e, 2014.

http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/E_EN.pdf

(Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_f, 2014. <http://www.alsekometal.com/uddeholm-sicak-is-takim-celikleri.php>
(Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_a, 2015. <http://www.euroncap.com/tr/derecelendirmeler-ve-oeduelller/en-son-guevenlik-derecelendirmeleri/#?selectedMake=0&selectedMakeName=Bir Marka Seçin&selectedModel=0&includeFullSafetyPackage=false&selectedModelName=Tüm ü&selectedProtocols=1472,5910&selectedClasses=1201,1198,1197,1196,1204,1199,1203,1179,1180,1205,1202&allClasses=true&allProtocols=false&allDriverAssistanceTechnologies=false&selectedDriverAssistanceTechnologies=> (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_b, 2015. <http://www.iihs.org/iihs/ratings/vehicle/v/audi/a6-4-door-sedan/2016>
(Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Anonim_c, 2015. <http://www.dynamore.de/en/downloads/infodays/dokumente/kalt-und-warmumformprozesse2012/hot-stamping-process/view> (Hot Stamping Process Simulation with LS-DYNA - Capabilities and Benefits) (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Bardelcik, A., Salisbury, C.P., Winkler, S., Wells, M.A., Worswick, M.J. 2010. Effect of cooling rate on the high strain rate properties of boron steel, *International Journal of Impact Engineering* 37 (2010) 694–702.

Bariani, P.F., Bruschi, S., Ghiotti, A., Turetta, A. 2008. Testing formability in the hot stamping of HSS (High Strength Steels), *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57 (2008) 265–268.

Bayrak, S.E. 2013. *Material Trends Of Automotive Bodies – Machines and Die/Mold-Ford Otosan - 2013*

Behrens, B-A., Schrodter, J., Moritz, J., Gaebel, C.M. 2015 "Hot Forming and Subsequent Cooling Outside the Press for Adjusted Tailored Properties of 22MnB5 Steel Sheets" *Leibniz Universitat Hannover, Institute of Materials Science - CHS2-2015*

Billur, E. 2014. Producing Ultra High Strength Automotive Components: Hot Stamping of Boron Alloyed Steels vs. Cold Stamping of New Generation Steels, *2nd International Metal Forming Conference 2014, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi, 2014.*

Billur, E., Altan, T. 2012. Exploring the 3rd International Conference on Hot Stamping Technology, Part I <http://nsmwww.eng.ohio-state.edu/642-7.pdf>, Erişim Tarihi; 15.03.2012.

Caron, J.F.R.E., Daun, K.J., and Wells, M. A. 2014. ‘Experimental heat transfer coefficient measurements during hot forming die quenching of boron steel at high temperatures’, *International journal of heat and mass transfer*, vol.71, pp.396-404.

Craig, P. 2012.

http://www.cargroup.org/assets/speakers/presentations/22/parsons_craig.pdf
(Innovation and Globalization as Factors of Success for Automotive Light-Weighting)
(Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Dongwei, F. 2012. Literature Review of Hot Press Forming (Materials Design Laboratory Graduate Institute of Ferrous Technology Pohang University of Science and Technology South Korea)

Eşiyok, F. 2015. SICAK ŞEKİLLENDİRME KALIP İMALAT YÖNTEMLERİ-2015

Eşiyok, F., Karen, İ., Önal, A.S., Sevilgen, G., Kaya, N., Öztürk, F. 2014. Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirme Uygulamaları: Kalıp Tasarımı Ve Optimizasyon, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, OTEKON 2014, 26 – 27 Mayıs 2014, Bursa, Türkiye.

Eşiyok, F., Karen, İ., Sevilgen, G., Kaya, N., Öztürk, F. 2015. Hot-Stamping Applications in the Automotive Industry: Coupled Numerical Simulation and FE Based Die Design, SCI-International Journal of Vehicle Design- IJVD-104163, 08 Ekim 2015

Eşiyok, F., Kazan, H. 2011. SICAK ŞEKİLLENDİRME KALIBI PERİYODİK BAKIM STANDARTLARI EL KİTABI - 2011

Eşiyok, F., Önal, A.S., Karen, İ., Kaya, N., Öztürk, F. 2012. Türk Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarımı Yeteneğinin Geliştirilmesi Projesi, Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Haftası Uludağ Teknoloji Geliştirme Bölgesi – ULUTEK Poster Sunumları, 17 Mart 2012, Bursa, Türkiye.

Fan, D.W., Kim, H.S., De Cooman, B.C. 2009. “A Review of the Physical Metallurgy related to the Hot Press Forming of Advanced High Strength Steel,” Steel Research International, vol. 80, no. 3, pp. 241-248, 2009.

Federici, C., Maggi, S., Rigoni, S. 2005. The use of advanced high strength steel sheets in the automotive industry, Fiat Auto Engineering & Design, Material Engineering, Turin, Italy.

Güçlü, H., Kandirmış, İ.K., Eşiyok, F., Karen, İ., Can, C., Yazıcı, M. 2015. Mechanical Characterization of Usibor®1500 Hot Stamping Steel (APMAS 2015-5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition)

Han, Q., B., W., Jin, X., Xu, W., Wang, L. 2015. "Low Temperature Hot Forming of Medium-Mn Steel" China science Lab, General Motors Global Research Development Balanger, P.- CHS2-2015

Hongsheng, L., Jun, B., Zhongwen, X., Dejin, Z., Baoyu, S., Chengxi, L. 2011. Modeling and FE Simulation of Quenchable High Strength Steels Sheet Metal Hot Forming Process, Journal of Materials Engineering and Performance, JMEPEG (2011) 20:894–902.

Hongsheng, L., Wei, L., Jun, B., Zhongwen, X., Baoyu, S., Chengxi, L. 2011. Numerical and Experimental Investigation into Hot Forming of Ultra High Strength Steel Sheet, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 20, Number 1, February 2011 , pp. 1-10(10)

- Ikeuchi, K., Yanagimoto, J. 2011.** Valuation method for effects of hot stamping process parameters on product properties using hot forming simülatör, Journal of Materials Processing Technology 211 (2011) 1441–1447.
- Ingarao, G., Lorenzo, D.R., Micari, F. 2011.** Sustainability issues in sheet metal forming processes: an overview, Journal of Cleaner Production 19 (2011) 337-347.
- Karbasian, H., Tekkaya, A.E. 2010.** A review on hot stamping, Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 2103–2118.
- Karen, İ., Eşiyok, F., Kaya, N., Öztürk, F. 2012.** Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarımı Projesi, Uludağ Üniversitesi II. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri Poster Sunumları, 13-15 Kasım 2012, Bursa, Türkiye.
- Lehmann, H. 2015.** Advanced developments in heat treatment and heating technologies for Press hardening (SCHWARTZ) - V_Press_Hardening_Technical_Forum - 07-10-2015
- Ljungqvist, H., Amundsson, K., Lindblad, O. 2014.** The All-New Volvo XC90 Car Body, EuroCarBody 2014 - 16th Global Car Body Benchmarking Conference, Automotive Circle International, 2014.
- Macek, B. 2012** Optimization Side Crash Performance Using a Hot-Stamped B-Pillar, <http://www.steel.org/~media/Files/Autosteel/Great%20Designs%20in%20Steel/GDIS%202006/15%20-%20Optimization%20Side%20Crash%20Performance%20Using%20a%20Hot-Stamped%20B-Pillar.pdf>, (Erişim Tarihi; 31.10.2015).
- Madhusudana, C.V. 2014.** Thermal contact conductance. Berlin: Springer
- Matsuoka, H., Fujihara, K. 2011.** Mazda CX-5, EuroCarBody 2011 - 13th Global Car Body Benchmarking Conference, Automotive Circle International, 2011.
- Merklein, M., Lechler, J. 2006.** Investigation of the thermo-mechanical properties of hot stamping steels. Journal of Materials Processing Technology 177, 452–455.
- Mori, K., Okuda, Y. 2010.** Tailor die quenching in hot stamping for producing ultra-high strength steel formed parts having strength distribution, CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 291–294.
- Naderi, M. 2007.** Hot stamping of ultra high strength steels. Doctoral Theses, RWTH Aachen.
- Odenbergera, E.L., Oldenburg, M., Thilderkvistä, P., Stoehrc, T., Lechlerc, J., Merklein, M. 2011.** Tool development based on modelling and simulation of hot sheet metal forming of Ti–6Al–4V titanium alloy, Journal of Materials Processing Technology 211 (2011) 1324–1335.
- Ozturk, F., Toros, S., Kilic, S. 2006.** Tensile and Spring-Back Behavior of DP600 Advanced High Strength Steel at Warm Temperatures, Shi-Hoon Choi, Kwang-Geun Chin, Prediction of spring-back behavior in high strength low carbon steel sheets, Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 385–392.

Önal, A.S., Eşiyok, F., Karen, İ. 2012. Sıcak Şekillendirme Prosesi İncelemesi, 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, OTEKON 2012, 04-05 Haziran 2012, Bursa, Türkiye.

Ravindran, D. 2011. “Finite Element Simulation of Hot Stamping” Master Thesis, The Ohio State Universty.

Schaefer, M., Harrer, T. 2015. Lazer Softening of Press-Hardened Steel in High-Volume Production Lines - Trumpf Lazer und Systemtechnik GmbH CHS2-2015

Sevilgen, G., Kaya, N., Eşiyok, F., Öztürk, F. 2014. Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirme Uygulamaları: Kalıp Tasarımı Ve Optimizasyon, Uludağ Üniversitesi IV. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri Poster Sunumları, 11-13 Kasım 2014, Bursa, Türkiye.

Shapiro, A. 2009. “Finite Element Modeling of Hot Stamping”, Steel research International, p. 658, Vol. 80, September 2009

Skrikerud, M., Megahed, M., Porzner, H. 2012. “Simulation of The Hotforming Process” http://www.esi-group.com/products/metal-forming/articles/NAFEMS_paper_hotforming.pdf (Erişim Tarihi; 31.10.2015).

Skrikerud, M., Koroschetz, C. 2015. "Investigations on Aluminum Hot Forming in Comparison of Other Aluminum Forming Technologies and the Press Hardening of Steel"- AP&T AB - CHS2-2015

Turetta, A., Bruschi,S., Ghiotti, A. 2006. Investigation of 22MnB5 formability in hot stamping operations, Journal of Materials Processing Technology 177 (2006) 396–400.

Watcharakamol, M. 2015. 3D Printing Applications in Plastic Injection Mould, R&D Case in TGI (Session 1: High Technology Solution for Mould Design and Manufacturing) Mould Die and Machine Tool Center Thai-German Institute

Woo, S.L., Hong, S.C., Seok, Y.A., Byung, M. 2013. Cooling channel design of hotstamping tools for uniform high-strength components in hotstamping process - Springer-Verlag London2013

Yazıcı, M. 2007. “Plastik Enjeksiyon Kalıplar-Soğutma Sistemi- Ders Notları”

Yu, H.Y., Bao, L., Deng, Y.Z., Cao, W. 2011. Forming response of ultra high strength steel sheet to stamping speed during hot forming, International Conference on Materials Science and Engineering Applications, China, Jan 15-16, 2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ferdi EŞİYOK

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa, 1978

İletişim (e-posta) : ferdiesiyok@beycelik.com.tr / fesiyok@hotmail.com

Eğitim Durumu:

- Lise : Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi,
- Lisans : Uludağ Üniversitesi-Makine Mühendisliği,
- Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi-Otomotiv Mühendisliği,

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

- Oskim Otomotiv - 2000-2003
- Beyçelik-Gestamp 2004- Devam

Yayınları;

Uluslararası Hakemli Dergilerde

- Eşiyok, F., Karen, İ., Sevilgen, G., Kaya, N., Öztürk, F., Hot-Stamping Applications in the Automotive Industry: Coupled Numerical Simulation and FE Based Die Design, International Journal of Vehicle Design- IJVD-104163, In Print

Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar

- Güçlü, H., Kandirmiş, İ.K., Eşiyok, F., Karen, İ., Can, C., Yazıcı, M. Mechanical Characterization of Usibor®1500 Hot Stamping Steel (APMAS 2015-5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition)

Ulusal Konferans ve Sempozyumlar

- Karen, İ., Eşiyok, F., Kaya, N., Öztürk, F., Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarımı Projesi, Uludağ Üniversitesi II. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri Poster Sunumları, 13-15 Kasım 2012, Bursa, Türkiye.
- Önal, A.S., Eşiyok, F., Karen, İ., Sıcak Şekillendirme Prosesi İncelemesi, 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, OTEKON 2012, 04-05 Haziran 2012, Bursa, Türkiye.
- Eşiyok, F., Önal, A.S., Karen, İ., Kaya, N., Öztürk, F., Türk Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirilebilirlik Kalıp Tasarımı Yeteneğinin Geliştirilmesi Projesi, Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Haftası Uludağ Teknoloji Geliştirme Bölgesi - ULUTEK Poster Sunumları, 17 Mart 2012, Bursa, Türkiye.
- Sevilgen, G., Kaya, N., Eşiyok, F., Öztürk, F., Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirme Uygulamaları: Kalıp Tasarımı Ve Optimizasyon, Uludağ Üniversitesi IV. Bilgilendirme ve AR-GE Günleri Poster Sunumları, 11-13 Kasım 2014, Bursa, Türkiye.
- Eşiyok, F., Karen, İ., Önal, A.S., Sevilgen, G., Kaya, N., Öztürk, F., Otomotiv Endüstrisinde Sıcak Şekillendirme Uygulamaları: Kalıp Tasarımı Ve Optimizasyon, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, OTEKON 2014, 26 - 27 Mayıs 2014, Bursa, Türkiye.

Firma İçi Yayınlar

- Eşiyok, F., Kazan, H. 2011. SICAK ŞEKİLLENDİRME KALIBI PERİYODİK BAKIM STANDARTLARI EL KİTABI - 2011
- Eşiyok, F. 2015. SICAK ŞEKİLLENDİRME KALIP İMALAT YÖNTEMLERİ-2015