T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

KALIPLAR İÇİN KESİCİ ZIMBA UCU GELİŞTİRİLMESİ

Bahtiyar TAŞKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALIPLAR İÇİN KESİCİ ZIMBA UCU GELİŞTİRİLMESİ

Bahtiyar TAŞKIN

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KALIPLAR İÇİN KESİCİ ZIMBA UCU GELİŞTİRİLMESİ

Bahtiyar TAŞKIN
0000-0001-6159-025X

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2020

TEZ ONAYI

Bahtiyar TAŞKIN tarafından hazırlanan "KALIPLAR İÇİN KESİCİ ZIMBA UCU GELİŞİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : **Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR**

Başkan: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR
0000-0001-9126-0315
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği ABD

İmza

Üye : Prof. Dr. Ali Durmuş
0000-0003-2487-7344
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği ABD

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üy. Celalettin YÜCE
0000-0003-1387-907X
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bil. Fak.
Mekatronik Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin AKSELEREN

Enstitü Müdürü

.../.../2020

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

- tez içindeki tüm 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 tahribat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

05/07/2020

İmza

Bahtiyar TAŞKIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KALIPLAR İÇİN KESİCİ ZIMBA UCU GELİŞTİRİLMESİ

Bahtiyar TAŞKIN

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerde üretilen ürünlerin parçaları büyük oranda sac metal parçalardan üretilmektedirler. Çoğunlukla kompleks formlardan oluşan bu tür parçaların seri üretimi, (yıllık yüzbinlerce adet) üzerinde delme, kesme, bükme, çekme ve sıvama gibi birden fazla operasyon sac metal kalıplarında yüksek tonajlı presler altında sağlanmaktadır. Bu kalıplarda üretilen parçanın delinmesini sağlamak üzere zımbalar kullanılmaktadır. Delme zımbaları isminden de anlaşılabileceği gibi parçalar üzerinde çeşitli profillerde delikler açmakta kullanılır. Kalıplarda çok kullanılan zımbalar seri imalat esnasında yüksek tonaja tekrarlı olarak maruz kalmaları nedeniyle sıkça aşınan, ayrıca değiştirilmesi mevcut tasarımlarda hayli zor olan kalıp tertibatlarıdır. Deforme olan zımbanın değiştirilmesi için dişi kalıp ve erkek kalıbın takılı bulunduğu presten ayrılması ve sonrasında zımbanın takılı olduğu kalıp parçasının sökülmesi gerekmektedir. Bu durumun oluşması seri üretimin aksamasına, işçinin boşa çıkmasına ve yüksek maliyetlere sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak üzere yeni bir zımba tertibatı tasarımı geliştirilerek sonlu elemanlar analizleri ve deneysel çalışmalarla tasarım doğrulaması yapılmaktadır. Bu çalışmanın bir amacı, değiştirilmesi kolaylaştırılmış bir zımba tertibatı ortaya koymaktır. Zımbanın yeni tasarımı başlık ve gövde olmak üzere başlıca iki parçadan oluşmaktadır. Zımba başlığı ve gövdenin birbirinden ayrılmasını kolaylaştırmak üzere kademeli bir diş açılmış delik ve cıvatalı bağlantı bulunmaktadır. Delik dişlisinin iç çapı gövde üzerindeki bağlantı deliği iç çapından daha geniştir. Bu sayede zımba başlığının gövdeden ayrılması istendiğinde; başlık dişlisine uygun boyutta bir cıvata geçirilerek başlık deliğinde ilerletilmekte ve gövde alın yüzeyine yaslanarak zımba başlığı gövdeden kolayca ayrılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: sac metal kalıbı, zımba, deformasyon, seri imalat, 3B tasarım, sonlu elemanlar analizi

2020, vii + 50 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF A CUTTING PUNCH TOOL FOR STAMPING DIES

Bahtiyar TAŞKIN

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Kadir ÇAVDAR

In automotive and white good industries, the most products are made of metallic materials. In production of components generally in complex forms, mass production (annually hundred thousand pieces) is carried out with multiple operations - piercing, cutting, trimming, bending, and stretching - in sheet metal stamping dies under high tonnage presses. In dies, punches are utilized to create holes with different profiles on a part. The punches in dies are worn during mass production because they are subjected to repetitive high loads. Moreover, they are tools highly difficult to remove from the dies due to their current designs. To replace the deformed punch, it is always necessary to priorly remove the punch carrying plate as well as the upper or lower die need to be removed from the press, which results in high costs due to the longer lead time.

To avoid the above-mentioned disadvantages, a novel punch as stamping die tool shall be developed and verified by FEA and experimental studies. The study aims at bringing out an easily replicable punch tool. The novel punch consists of two main components: head and body. To ease the punch head separation from the body, the punch has a tapped hole in two different diameters and a bolted connection. The threaded hole diameter through the head is larger than that of the body. Thus, when the punch head is required to separate from the body, a proper size bolt can be inserted to the head hole, screwed ahead until it pushes against the surface of the body then the head can be easily removed.

Key words: sheet metal stamping die, punch, deformation, mass production, 3D design, finite element analyses,

2020, vii + 50 page

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Sac metal malzemeden üretilen ürünlerin seri üretiminde tandem, transfer ve prograsif (çok adımlı) kalıpların kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle prograsif sac form verme kalıplarının son yıllarda kullanımı otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde büyük boyutlu ve tonajlı pres kullanımının yaygınlaşmasıyla daha da artmıştır. Prograsif kalıplar oldukça maliyetli olmaları sebebiyle üzerine takılan erkek ve dişi zımba gibi parçalarının seri imalatta aşınması, yorulma etkisiyle kırılması gibi kusurlar sonucu sıkça değiştirilmeleri söz konusu olmaktadır. Maliyeti oldukça arttıran bu kalıp zımbalarının değiştirilmesi işlemi uzun süren bir bakım süreci olmaktan çıkartılması bu çalışmada amaçlanmaktadır. Maliyetleri önemli ölçüde düşürecek olan yeni bir zımba tasarımı ile kısa sürede kalıpçılık sektöründe yaygın olarak kullanılması mümkün sac metal komponentlerde değişik profillerde delik açmakta kullanılacak olan bir pratik zımba ürünü ortaya konulması hedeflenmektedir.

Yüksek Lisans eğitimim esnasında desteklerinden dolayı ve bana Yüksek Lisans yaparak bu çalışmayı yapma fırsatını tanıyan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR'a müteşekkirim. Hem iş hem de eğitim hayatımdaki yoğun mesailerimde anlayışını ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bahtiyar TAŞKIN
05/07/2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ii
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
CİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 6
2.1. Kalıp ve Proses Tasarımı 6
2.2. Sonlu Elemanlar Analizleri Ve Optimizasyon 8
2.3. Kalıpta Kesme ve Delme İşlemi 10
3. MATERYAL VE YÖNTEM 16
3.1. Kesme ve Delme Zımbası Geliştirilmesi 16
3.2. Sonlu Elemanlar Analizi 20
3.2.1. Eksplisit Dinamik 20
3.2.2. Modelin hazırlanması 21
3.2.3. Malzemenin tanımlanması 23
3.2.4. Sonlu eleman bölüntülerinin oluşturulması 29
3.2.5. Başlangıç ve Sınır Koşulları 30
4. BULGULAR 32
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 43
KAYNAKLAR 46
EKLER 49
Ek A: Patent Basvurusu 49
ÖZGEÇMİŞ 50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

σ_{11}: 1 Yönünde Normal Gerilim

σ_{22}: 2 Yönünde Normal Gerilim

σ_{33}: 3 Yönünde Normal Gerilim

τ_{12}: 1 – 2 Düzleminde Kesme Gerilimi

τ_{13}: 1 – 3 Düzleminde Kesme Gerilimi

τ_{23}: 2 – 3 Düzleminde Kesme Gerilimi

M: Diagonal Bileşik Kütle Matrisi

F: Uygulanan Yük Vektörü

I: İç Kuvvet Vektörü

u: Yer Değiştirme Miktarı

$\dot{u}$: Hız

$\ddot{u}^{(i)}$: İvme

Kısaltmalar

SEA: Sonlu Elemanlar Analizi

SEY: Sonlu Elemanlar Yöntemi

BDT: Bilgisayar Destekli Tasarım

CAD: Computer Aided Design

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. H tipi eksantrik (mekanik) presler ile seri imalat hattı 1
Şekil 1.2. Sac metal kalıp çeşitleri (a) Tandem kalıp (b) Transfer kalıp (c) Tek adımlı çekme kalıbı (d) Prograsif kalıp 2
Şekil 1.3. Servo motorlu 2 veya 3 eksenli kalıp içi transfer sistemi 3
Şekil 1.4. Prograsif kalıp için sac açınım yerleşim planı ve proses tasarımı 4
Şekil 2.1. Basit bir delme kalıbının parçalarının kesit (a) kapalı (b) açık görünüşü 6
Şekil 2.2. Proses tasarımında farklı yerleşim planı örnekleri (a)tek ve çok sıralı yerleşim planı (b) açılı yerleşim planı (c) ters düz yerleşim planı 6
Şekil 2.3. Kalıpçılıkta iş akış şeması (Esener ve ark., 2014) bildirisindeki şema yeniden üretilerek elde edilmiştir 7
Şekil 2.4. Sac metalden kalıp ile üretilecek parça için proses tasarımı örneği (a) proses adımları (b) sac metal parça (c) proses tasarımı 10
Şekil 2.5. Boşaltma süreci fazlarının gösterilmesi 12
Şekil 2.6. Boşaltma döngüsü esnasında zımba aşınması ve sonucunda çapak boyu parametresinin değişiminin gösterilmesi 13
Şekil 2.7. Sacın zımba ile kesilen kenarının profilinin SE modeli 14
Şekil 2.8. (a) Eksenel simetrik boşaltma modeli şematik gösterilişi (a) t anındaki konfigürasyon (b) t+Δt anındaki konfigürasyon (c) t+Δt anındaki zımba yüzeyinin diferansiyel hacminin detaylı gösterilişi 15
Şekil 3.1. Takma çap uçlu hurda iticili ve şapkalı zımba 3 boyutlu model izometrik ve kesit görünüşü 17
Şekil 3.2. Nord-Lock kilitleme kaması (nord-lock.com/cad) 19
Şekil 3.3. Takma uçlu zımba 3B modeli (a) CATIA BDT programında (b) ANSYS AUTODYN SEA programında 22
Şekil 3.4. ANSYS Workbench SEA programında DesignModeler da oluşturulan 3B çeyrek model 23
Şekil 3.5. Bölgesel yüzey yönleri 24
Şekil 3.6. Hooke yasası (muhendishane.org) 25
Şekil 3.7. Çekme deneyi eğrisi ve fazların gösterilmesi (muhendishane.org) 26
Şekil 3.8. SEA modelinde tanımlanan malzemeler 27
Şekil 3.9. SEA modelinde tanımlanan bölüntüleme 30

Şekil 3.10. Basınç fonksiyon eğrisi 31
Şekil 4.1. ANSYS AUTODYN arayüzünde tam model olarak meş ve malzeme dağılımı görünümü (a) Döngü: 0, Zaman: 0 (b) Döngü: 47880, Zaman: 60 µs 32
Şekil 4.2. ANSYS AUTODYN arayüzünde çeyrek model olarak meş ve malzeme dağılımı görünümü Döngü: 47880, Zaman: 60 µs 33
Şekil 4.3. Sacın zımba ile delinmesi simülasyonunun 6 farklı zamandaki Plastik gerinim kontur plotları – yarım model 34
Şekil 4.4. Zaman içerisinde Von-Mises gerilim değişimi 36
Şekil 4.5. Zaman içerisinde Z yönünde Normal Gerilme miktarı değişimi 37
Şekil 4.6. Zaman içerisinde yer değiştirme miktarı değişimi 37
Şekil 4.7. Von-Mises gerilim kontür plotları – Zaman: 2×10^{-5} sn 38
Şekil 4.8. Sacın zımba ile delinmesi simülasyonu çeyrek model üzerinde M4 Imbus cıvatanın üzerindeki Z yönündeki Normal gerilimin dağılımı 39
Şekil 4.9. Sacın zımba ile delinmesi simülasyonu çeyrek model üzerinde zımba ucu üzerindeki (a)(b) Z yönündeki Normal gerilimi ve (c) Von-Mises gerilimi dağılımı 40
Şekil 4.10. Sacın zımba ile delinmesi simülasyonu farklı zaman ve döngüdeki Von Mises gerilim dağılımları 41

CİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. DIN normuna göre zımba türleri.....16
Çizelge 3.2. Yeni geliştirilen takma uçlu zımba tasarımı parça listesi 17
Çizelge 3.3. Yeni geliştirilen zımbanın boyut parametreleri 18
Çizelge 3.4. Zımbada kullanılan Nord-Lock pulu boyut parametreleri.....19
Çizelge 3.5. ANSYS Workbench'te tanımlanan yapı çeliği malzeme özellikleri 28
Çizelge 3.6. ANSYS Workbench'te tanımlanan V250 Çelik non-linear malzeme özellikleri.....29

1. GİRİŞ

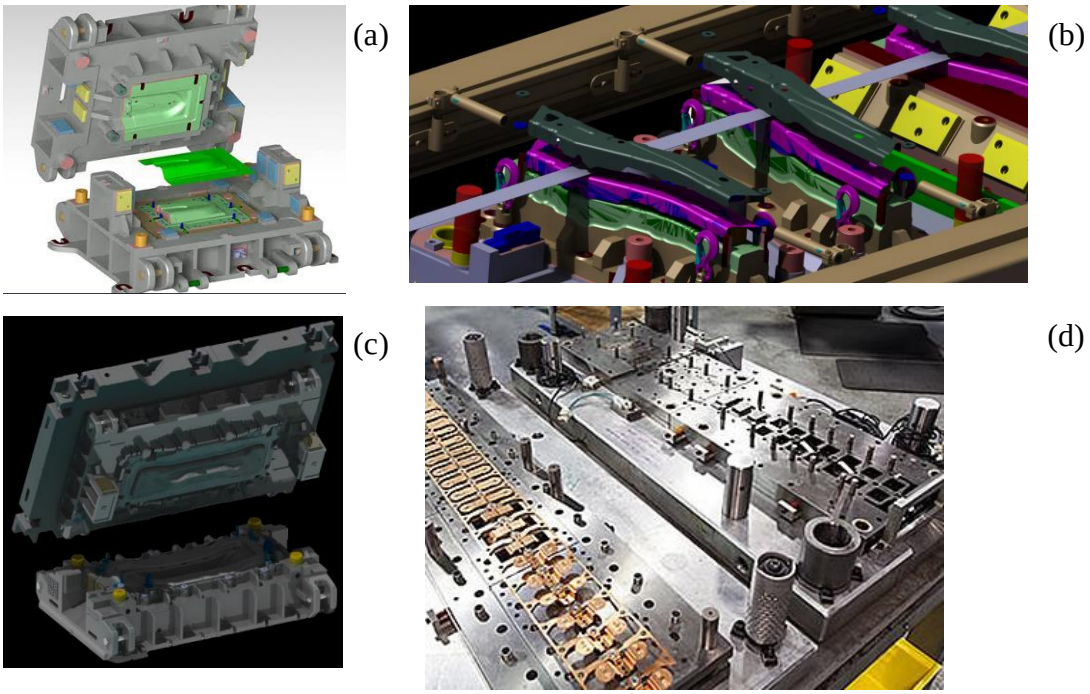
Dünyada, ülkemizde ve ülkemizin en önemli sanayi şehirlerinden birisi olan Bursa'da kalıpçılık sanayisi önemli bir yer tutmaktadır. Bursa sanayisinde baskın olan otomotiv sanayisinde birçok otomotiv komponenti sac metal malzemelerden üretilmektedir. Seri üretim ile her yıl her bir komponent her bir model araba için yüzbinlerce adet üretilmektedir. Her üretilen sac metal parça için ayrı bir kalıp üretimi şart olmaktadır. Yüksek tonajlı (1000 ton ve üzeri) büyük tabla ebatları ile kalıpların bağlandığı preslerin (Şekil 1.1) seri üretimde kullanımlarının yaygınlaşması ile kesme, delme, bükme gibi birçok operasyonun aynı anda yapılabildiği çok adımlı prograsif kalıp tasarımı ve üretimi de son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır.



Şekil 1.1. H tipi eksantrik (mekanik) presler ile seri imalat hattı (YPS, 2020)

Benzer seri üretim koşulları beyaz eşya, ev eşyaları, mobilya gibi sektörler için de geçerlidir. Eğer üretim adedi birim maliyet hesabında kalite faktörü de göz önünde bulundurulduğunda kalıp ile üretime ihtiyaç olursa bu sektörlerde de seri üretimde belli

ürünlerde kalıp tasarımı ve üretimi gerçekleşmektedir. Talaşlı imalattan ziyade sac metal parçaların üretiminde lazer kesimi, su jeti ile kesim, abkant presler ile kesme ve bükme seri üretim de bazı ürünler için tercih edilebilmektedir. Ancak yıllık üretim adetleri yüzbinler mertebesine çıkar ise ve ürün geometrisi basit değil ise kalıp ile üretim maliyeti diğer metodlara göre daha uygun olmaktadır. Buna karşın kalıp üretimi ve bakımı maliyetlerinin de oldukça yüksek olduğu da göz önünde bulundurularak kalıpçılık sektöründe de maliyetleri azaltmak oldukça önemlidir.



Şekil 1.2. Sac metal kalıp çeşitleri (a) Tandem kalıp (b) Transfer kalıp (c) Tek adımlı çekme kalıbı (d) Prograsif kalıp (CNS, 2012)

Bu nedenle kalıpçılıkta kalıp tasarımı, üretim ve kullanım maliyetlerini azaltmak açısından uzmanlık gerektiren bir alandır. Kalıbın kendisinin tasarımından önce seri olarak üretilecek komponentin geometrisine, boyutuna ve malzemesine bağlı olarak üretim prosesinin doğru tasarlanması gerekir. Bu aşamada Şekil 1.2'te birer örneği gösterilen kalıp türlerinden birine karar verilmektedir. Tek adımlı kalıpta bir operasyonda da üretilebilen komponentler olabildiği gibi birden fazla operasyonun tek adımda üretildiği tandem kalıplar da tercih edilebilmektedir. Ya da bir operasyonun kalıbın bir adımında gerçekleştiği ve bir sonraki operasyonun gerçekleşmesi için prese monteli gripperli kartezyen robotlar ile kalıp içerisinde bir sonraki adıma transfer edildiği transfer kalıpları (Şekil 1.3) tercih edilebilir. Transfer mekanizmalı presler çok

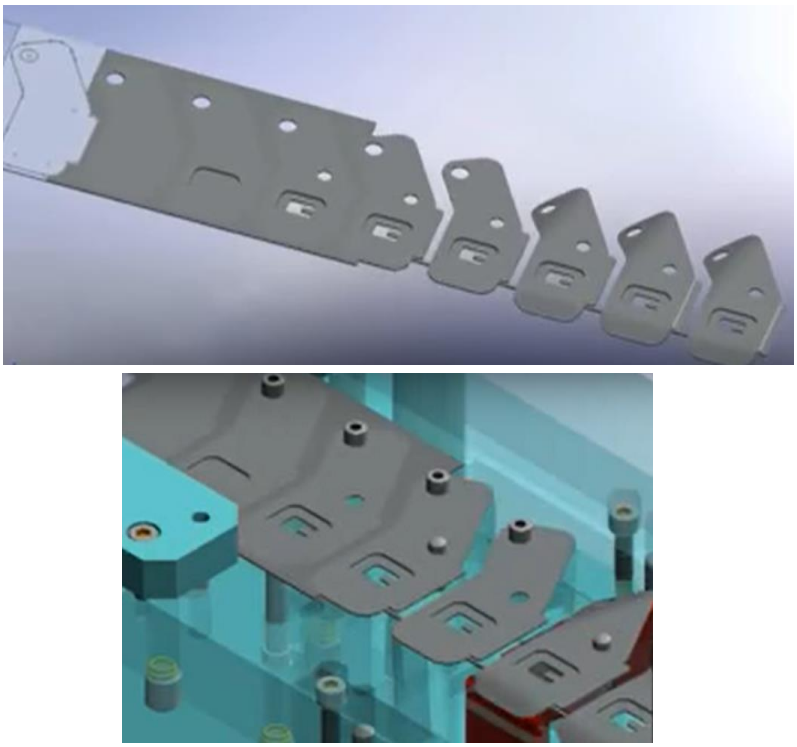
yaygın olmadığı ve maliyeti yüksek olması nedeniyle transfer kalıpları çok mecbur kalınmadıkça tercih edilmemektedir. Komponentin geometrisi ve ebatları müsade ediyorsa, kalıp ebatlarına uygun pres de mevcut ise sacın rulodan bant şeklinde otomatik olarak içerisine beslendiği ve 15-20 adım hatta daha yüksek sayıda adımlarda prosesleri tasarlanabilen prograsif kalıplar seri üretimde en yaygın olarak kullanılan kalıp türüdür.



Şekil 1.3. Servo motorlu 2 veya 3 eksenli kalıp içi transfer sistemi (Baki, Yetim, Uzunoğlu, Özden, & Aydoğan, 2018)

Tasarımcı kalıbın türüne prograsif kalıp olarak karar verdi ise sonraki aşama proses adımlarının ve sac bantı üzerinde üretilecek komponentin sac açınımlarının yerleşiminin tasarlanmasıdır (Şekil 1.4). Bu kısım kalıp maliyetini ve kalıp boyutlarını ortaya çıkaracak aşamadır. Proses tasarımı denilen bu aşamada operasyonların doğru adımlarda doğru sırayla yapılabilmesi hem tecrübe hem de sonlu elemanlar programlarından alınan sonuçlara bağlıdır. Aynı şekilde komponentin tek mi çift sıra mı yerleştirilerek üretileceği kararı kalıp boyut ve maliyetini çok etkileyecek önemli bir karardır. Bu aşamada da optimum bir maliyet hesabı için tecrübe kadar analiz sonuçları da önem arz etmektedir. Tasarım aşamasında yapılan en ufak bir hata kalıbın imalatı aşamasında maliyeti arttırmaktadır. Veya kalıp tasarımcısının yaptığı en küçük bir inovatif

iyileştirme kalıbın imalatı ve seri üretim esnasındaki bakımı aşamalarında maliyeti önemli ölçüde azaltabilmektedir.



Şekil 1.4. Prograsif kalıp için sac açınım yerleşim planı ve proses tasarımı https://www.youtube.com/watch?v=q8zcyia9YbE

Prograsif sac metal kalıplarındaki operasyonlar kendi arasında dört ana grupta incelenebilir. Bunlar delme, kesme, bükme, çekme ve sıvama operasyonlarıdır. Delme kesme işlemleri, levha ya da rulodan bant hâlinde kalıp içine beslenen metalin bir hat boyunca ya da planlanan geometrik yapıya uygun olarak birbirinden ayırma işlemidir. Kesme ve delme adımları, sac metal kalıpçılığının en çok kullanılan çeşididir. Kesme kalıplarının bölümleri, kesmenin tanımı ile belirlenebilir. Bu kalıplar arasında iş parçasının delinmesini sağlamak üzere zımbalar kullanılmaktadır.

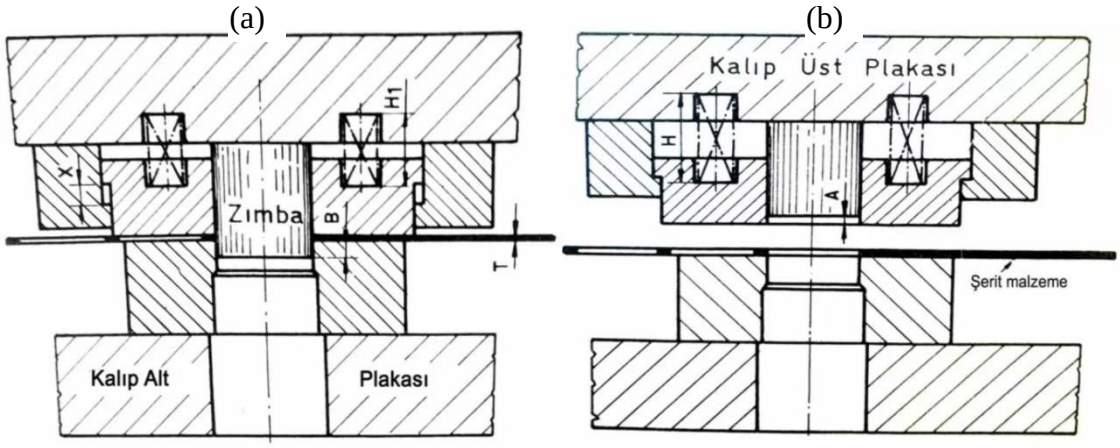
Delme zımbaları, isminden de anlaşılabileceği gibi bu tür zımbalar iş parçaları üzerinde çeşitli profillerde delikler açmakta kullanılır. Dairesel profilli zımbaların gerek yapımları gerekse zımba taşıyıcı plakaya bağlanmaları oldukça kolaydır. Ancak zımbaların kalıplarda tekrarlı kullanılması sonucunda ağır yüklenmelere maruz kalmaktadır. Bu durumda zımbalarda deformasyon meydana gelmektedir. Deforme olan zımbanın değiştirilmesi için dişi kalıp ve erkek kalıbın takılı bulunduğu presten ayrılması ve sonrasında zımbanın takılı olduğu kalıp parçasının sökülmesi

gerekmektedir. Bu durumun oluşması seri üretimin aksamasına, işçinin boşa çıkmasına ve yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen tüm sorunlar, kalıpçılık alanında bir yenilik yapmayı zorunlu hale getirmiştir.

Bu çalışmada tasarlanan ve prototipi üretilen yeni zımba tipi, prograsif kalıpların bakım maliyetini düşürmek amacıyla geliştirilmektedir. Farklı profillerde deliklerin açılması işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan ve iki ana parçadan oluşan kesme zımbası, tek parçalı olanlarda mevcut olan değiştirme zorluğunu, süresini ve maliyetini önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir. Tornalarda kullanılan kalem olarak tabir edilen kesicilerin kırılan ya da aşınarak körelmesi sonucu kater adı verilen ucun kalemi çıkarmaya gerek kalmadan değiştirilebilmesi mantığından yola çıkılarak bu kesme zımbası geliştirilmiştir.

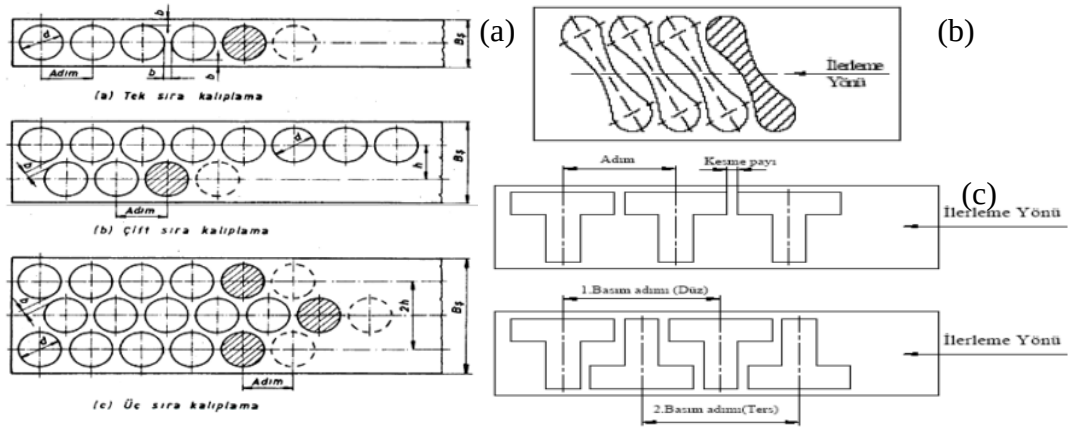
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kalıp ve Proses Tasarımı

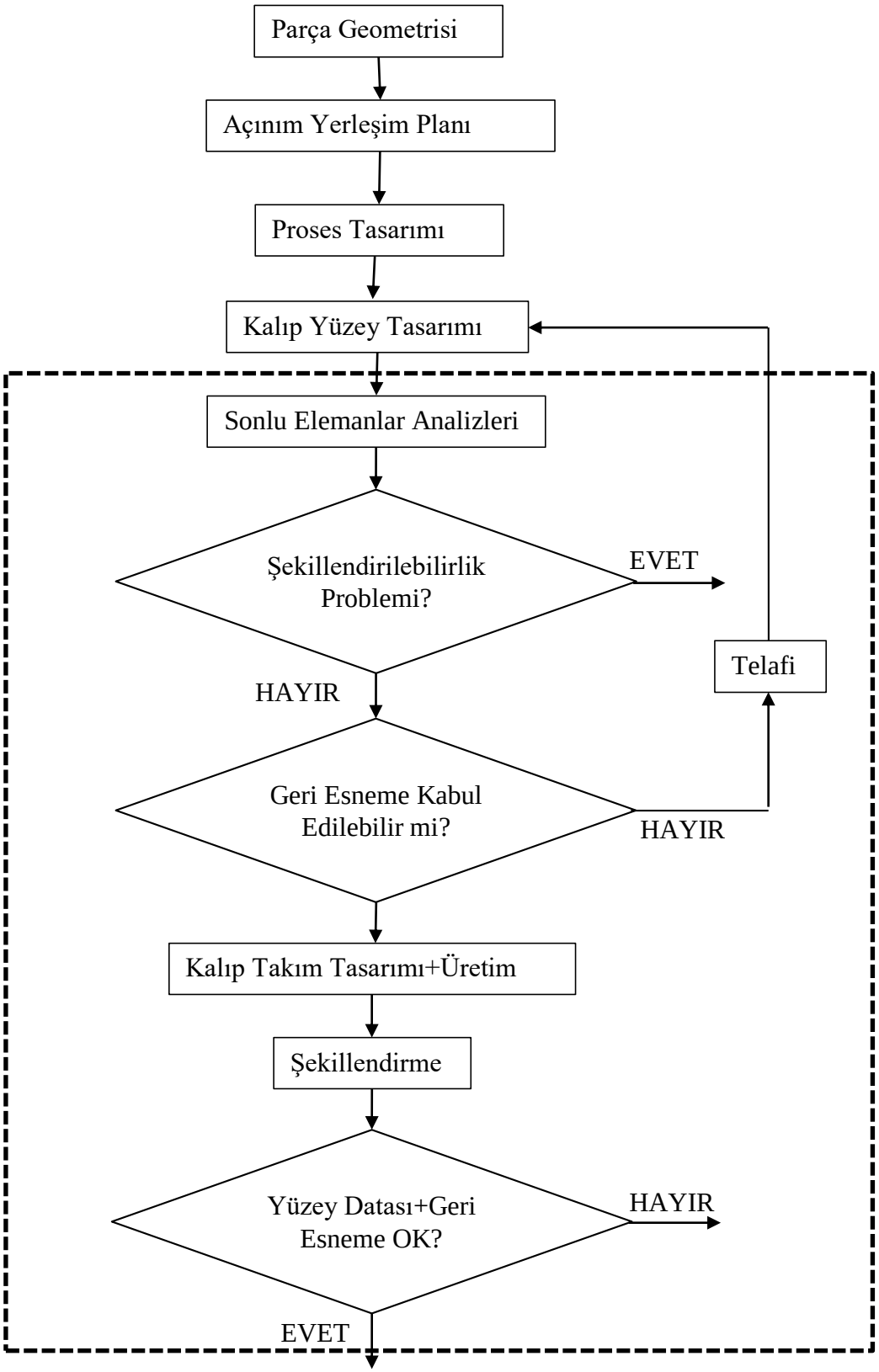


Şekil 2.1 Basit bir delme kalıbının parçalarının kesit (a) kapalı (b) açık görünüşü

Kalıpçılıkta üretilen parça adedi yüzbinler mertebesindedir. Bu nedenle sac metal şeritten düşürülen parçanın şerit üzerine yerleşim planı birim hurda oranını belirlediği aşama olduğu için üretimdeki toplam hurda maliyetini de belirlemektedir. Kesme ve delme kalıplarında (Şekil 2.1) proses tasarımında ve yerleşim planında fire miktarının tespit edilmesi önemlidir. Şekil 2.2'de farklı türlerde yerleşim planlarına örnekler gösterilmektedir. Kalıp tasarımcısı ilk olarak parça geometrisine en uygun yerleşim plan türünü hurda oranını minimize edecek şekilde hesaplamalar yaparak seçmekle mükelleftir.



Şekil 2.2 Proses tasarımında farklı yerleşim planı örnekleri (a)tek ve çok sıralı yerleşim planı (b) açılı yerleşim planı (c) ters düz yerleşim planı (Yılmaz, 2014)



Şekil 2.3 Kalıpçılıkta iş akış şeması (Esener ve ark., 2014) bildirisindeki şema yeniden üretilerek elde edilmiştir

Kalıbı tasarlanacak ürünün 3B modeli yüzey model olarak müşteriden gelir ya da katı model olarak gelmiş ise yüzey koparma işlemi ile yüzey modele dönüştürülür. Kalıp tasarımcısı ilk olarak bu yüzey modelin sac açınımını 3B CAD programı vasıtası ile alır ve sac şerit ya da plaka üzerinde yerleşim planını tasarlar. Tasarımcının takip ettiği prosedür Şekil 2.3'te verilen iş akış şemasındaki sırayla verildiği şekildedir.

2.2. Sonlu Elemanlar Analizleri Ve Optimizasyon

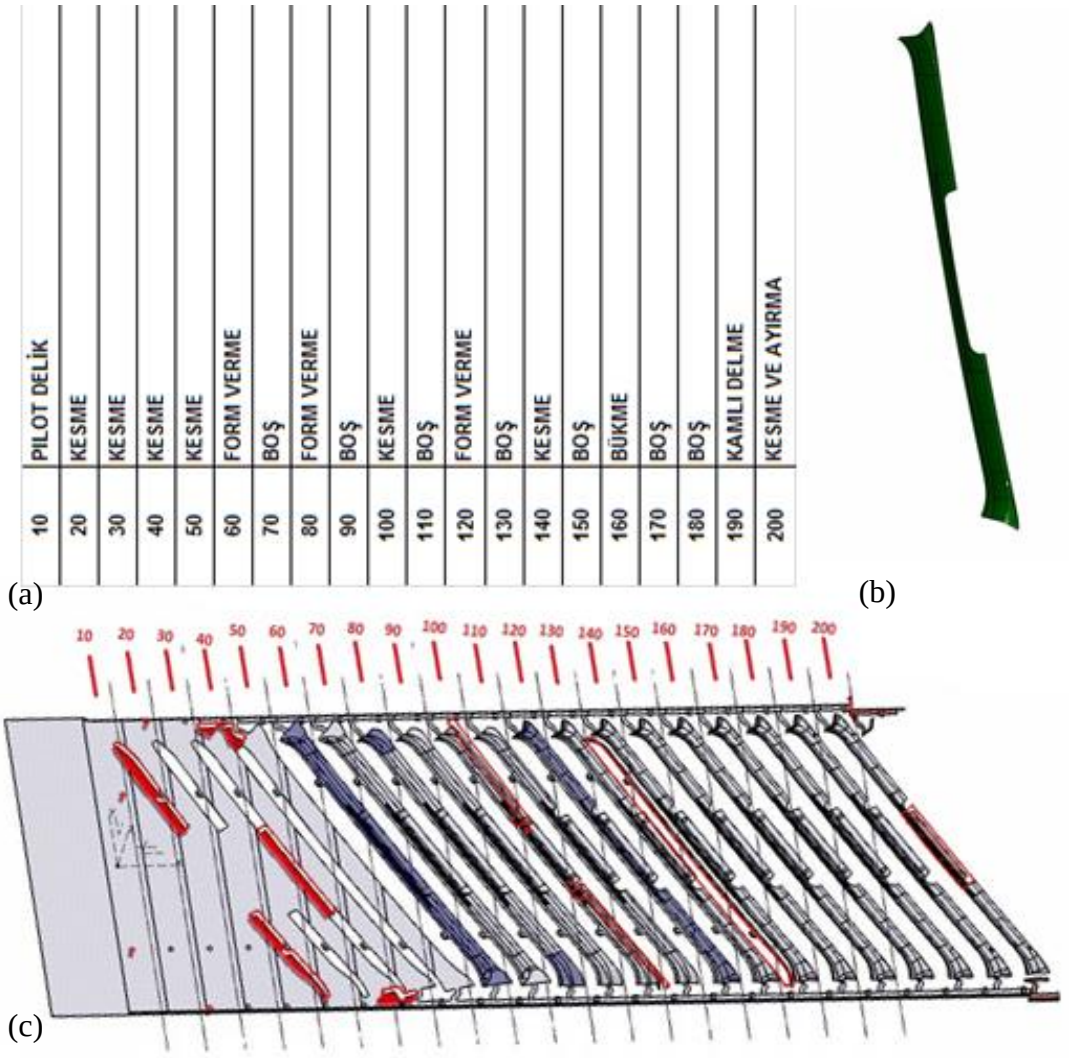
Kalıp tasarımında yerleşim planı belirlendikten sonraki aşama proses tasarımı ve optimizasyonudur (bkz. Şekil 2.4) Bu aşamada adım sayısı belirlenir. Dolayısıyla bu aşama da hurda oranını etkileyecek olan kararların verildiği aşamadır. Aynı zamanda bu ilk iki tasarım aşamaları kalıp boyutlarını da ortaya koyar. Li, Nee, & Cheok (2002) proses planlama sistemi üzerine bir çalışma yayınlamışlardır. Hem hurda hem de kalıp üretim maliyetlerini optimize etmek için en önemli aşamalardır ve en çok hesaplama ve analiz yapılması gereken aşamalardır. Hurda maliyeti Yılmaz'ın (2014) çalışmasında belirttiği analitik hesaplar kullanılabildiği durumda proses tasarımında adım sayılarının belirlenmesi için çoğunlukla kalıp endüstrisinde Autoform (Esener ve ark., 2014), Dynaform, Pamstamp gibi ticari sonlu elemanlar analiz programlarına ihtiyaç olmaktadır (Tisza, 2015).

Akademik çalışmalarda daha çok LS-DYNA tabanlı doğrusal olmayan dinamik problemlerin çözümünde kullanılan ANSYS, Abaqus (Esener ve ark., 2014), MSC Marc gibi ticari sonlu elemanlar programları ile yerleşim planı ve proses optimizasyonu çalışmaları özellikle topolojik optimizasyon konusunda çalışan akademisyenlerin sac metal kalıplarının topolojik optimizasyonu alanında birçok yayınları literatürde bulunmaktadır (Birath & Nilsson, 2006; Hu ve ark., 2007; Xu ve ark., 2012; Zhu ve ark., 2013). Birath ve Nilsson, (2006) yüksek lisans tezlerindeki çalışmalarında kesme kalıplarının üretiminde bir alternatif yöntem geliştirmek için kalıbın yapısal yanıtını hesaba katarak hafifleştirilmiş tasarım geliştirmektedir. Yapısal rijitliği arttırırken ağırlığın azaltıldığı bir topoloji optimizasyonu yöntemi kullanılmaktadır. Kalıbın çalışma esnasındaki yüklerin belirlenmesi amacıyla LS-DYNA kullanılarak biçim verme simülasyonları uygulanmıştır. OptiStruct yazılımı kullanılarak çalışma esnasında kalıba etkiyen yükler kalıp modeline uygulanarak bir topoloji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Topoloji optimizasyon sonuçlarına göre bir CAD modeli

oluşturulmuştur ve orijinal kalıp modeliyle maksimum deplasman Von Misses gerilimi ve kalıbın ağırlığı cinsinden karşılaştırılmıştır. Xu ve ark. (2012) daha yüksek form verme yükleri altında form verme kondüsyonlarının ve rijitliğinin sürekliliğini sağlamak amacıyla kalıbın ağırlığının ve yapıların kalınlığının arttırılması yerine Sorunlu Katı İzotropik Mikroyapı (Solid Isotropic Microstructure with Penalty, SIMP) yöntemini temel alarak bir topoloji optimizasyonu önermektedir. Optimizasyon esnasında limit değerler içinde bahsi geçen pozisyonlarda maksimum sehimi elde etmek için farklı form verme pozisyonlarında çoklu yükleme koşulları göz önünde tutulmuştur. Kalıp komponentleri arasındaki etkileşimli davranışları da hesaba katılarak gerçek irtibat evrilmesine yansıtılmıştır. Zhu ve ark. (2013) büyük boyutlu çekme form verme kalıp tasarımı için bir topoloji optimizasyonu sunmaktadır. Sac-metal çekme form verme prosesinin nümerik simülasyonlarından elde edilen yüzey yüklerine bağlı olarak topoloji optimizasyonu yapılmaktadır. Nümerik sonuçlar göstermiştir ki topoloji tasarımı çekme form verme kalıbının mukavemetini ve rijitliğini önemli ölçüde arttırabilmektedir.

Wang ve ark., (2008) bu çalışmalarında, daha önce geliştirilmiş olan adaptif yanıt veren yüzey metodunu (ARSM) yüksek derecede doğrusal-olmayan yanıtların metamodelinin konstrüksiyonu için önermektedirler. Metamodelin verimliliğini ve doğruluğunu arttırmak için parçacık sürü optimizasyonu akıllı örnekleme (particle swarm optimization intelligent sampling, PSOIS) şeması geliştirilmiştir. Bu tür akıllı örnekleme yöntemi örnek aranmasının doğru yönde olmasını ve tasarım değişken sınırlarının uygun bölgede oluşmasını garanti eder. ARSM ile PSOIS'li metamodel sac levhaya form verme prosesinde sac tutucu şekli ve tutucu yüzey kuvveti optimizasyonu için çalıştırılmış ve LS-DYNA 970 ticari kodu kullanılarak yapılan sonlu elemanlar simülasyonları ile doğrulanmıştır. Geliştirilen yöntemdeki sonuçlar çoklu parametreli yüksek non-lineer problemler için etkili bir metamodel üretilebildiğini göstermektedir.

Wang ve ark. (2017) zamana bağlı sac metal form verme problemlerini çözmeyi amaç edinmektedir. Çünkü tüm form verme prosedürü esnasında tüm zaman noktalarını tetkik etmek zordur. Bu nedenle bazı anahtar zaman noktaları ortaya çıkmalıdır. Orta ölçekli problemleri çözmek için Gauss yardımlı Ateş böceği Algoritması önerilmektedir.



Şekil 2.4 Sac metalden kalıp ile üretilecek parça için proses tasarımı örneği (a) proses adımları (b) sac metal parça (c) proses tasarımı (Vatansever, Kamaş, Güçlü, & Yazıcı, 2019)

2.3. Kalıpta Kesme ve Delme İşlemi

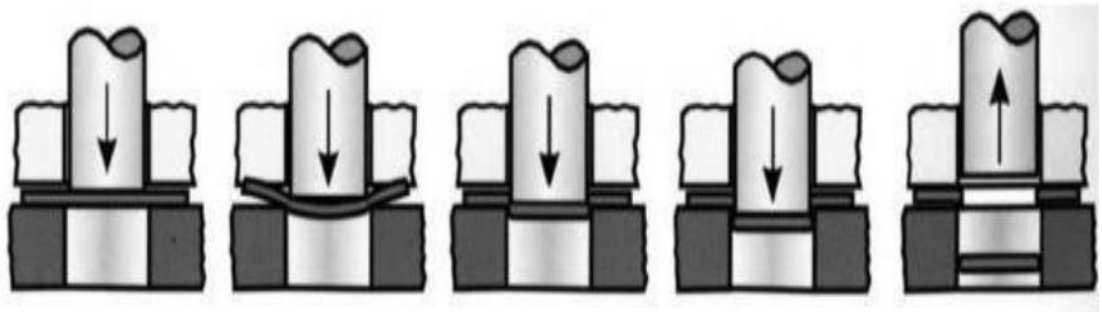
Kesme ve delme ile boşaltma işlemi, metal komponentlerin yüksek hacimli üretim proseslerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu prosesler genel hatları ile belirlidir ancak günümüzde daha kısa döngü zamanı ve daha kesin ürün ölçülerinin elde edilmesinin istendiği durumlarda yetersiz kalmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda boşaltma proseslerinin tasarımı hala tecrübi temellere dayanmaktadır ve çoğunlukla pahalı ve uzun süreli deneme yanılma tekrarları ile kontrol edilmektedir. Dolayısıyla genellikle empirik bilgiye dayalıdır. Boşaltma işleminin karakteristik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Orta ya da yüksek imalat hacimlerinde hem şerit hem de levha metalden ekonomik olarak iş parçası üretebilirlik,
- Zımbanın kalıbın içerisine girmesi esnasında iş parçasının birincil metal stoktan ayrılması,
- Kesme kenarı üzerinde düzgün yüzeyli ve kesilmiş bir kesit üretilmesi,
- Çapaklardan arındırılmış kenarların üretilmesi,
- Zımba ve kalıp yüksekliği ile kalite kontrolü,
- Farklı şekillerde deliklerin hızlıca üretilmesi kabiliyeti.

Boşaltma prosesi aynı zamanda bazı olumsuz etkilere de haizdir:

- Boşaltma hattı boyunca kalıntı çatlaklar oluşması,
- Üretilen iş parçası kenarlarının diğer kısımlarına göre daha sert olması,
- Eğer kalıp ve zımba yüksekliği fazla ise, fazla kıvrılma ve çapak oluşumu (Shaikh ve ark., 2015).

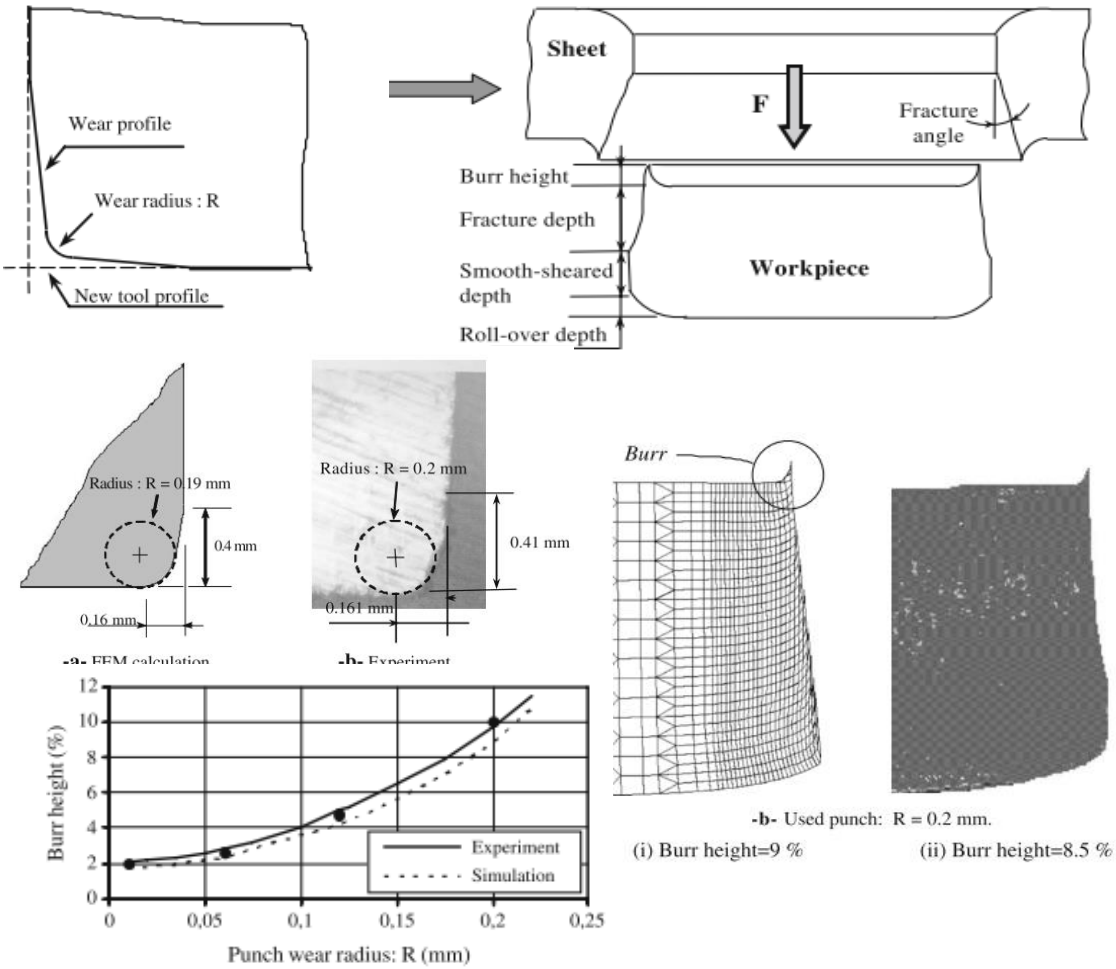
Şekil 2.5'te gösterildiği gibi boşaltma prosesi sac metalin deformasyonu ve ayrılması esnasında bir dizi faz içerdiği düşünülebilir. O halde artık zamanları azaltmak ve ürünün kenarının istenen özelliklerini en önemlisi geometrisini kontrol altında tutmak için boşaltma prosesinin iyi anlaşılıp doğru modellenmesi çok önemlidir. Boşaltma esnasında malzemenin davranışı beş aşamada incelenebilir. Boşaltma sürecinin başlangıcında, sac zımbanın itmesi ile kalıp içerisine bastırılır ve malzeme ilk başta elastik olarak deforme olur. Proses devam ederken malzemenin akma dayanımı sınırına ulaşılır. Zımbanın altında kalan malzeme incelmeye maruz olur, bu aşamada plastik deformasyonun ilk anlarında mikro çatlaklar oluşmaya başlar ve ayrılma oluşur. Geleneksel boşaltma işlemlerinin çoğunda kesme esnasında sünek kırılma oluşur. Bu iş parçasının yüzey morfolojisini bozan bir etkendir. Son olarak iş parçası sürtünme ile kalıp deliği içerisinde ilerler ve zımba kalıp dışına çıkar.



Şekil 2.5 Boşaltma süreci fazlarının gösterilmesi (Shaikh et al., 2015)

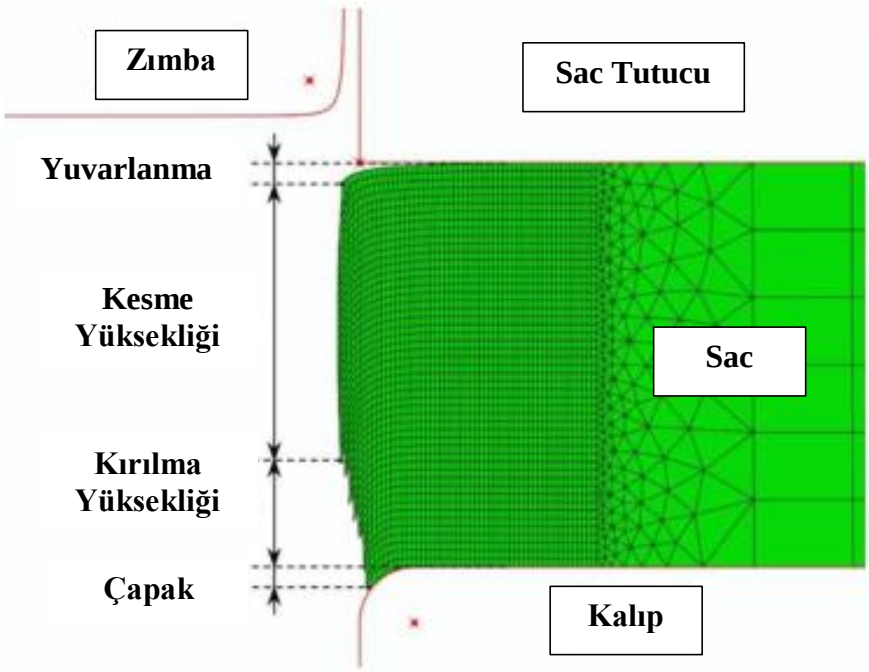
Shaikh ve ark. (2015) çalışmalarında boşaltma prosesine etki eden dört faktörü tartışmaktadırlar ve sonlu elemanlar analizleri (SEA) ile bu faktörlerin etkilerini ortaya koymaktadırlar. Bu faktörler, zımba ve dişi kalıp arasındaki mesafe, zımba ve kalıbın aşınması, sac kalınlığı ve iş parçasının malzemesidir. Zımba ve diğer kalıp tertibatının aşınması çapakların oluşmasına ve çapak boylarının artmasına neden olur. Çapak uzunluğu sanayide parça kalitesini kontrol etmek için önemli bir faktördür. Çapak uzunluğuna göre zımbanın ne zaman bileneceğine ya da değiştirileceğine karar verilir. Araştırmacılar tarafından birçok yayın zımba aşınma tahmin modellemesi ile ilgili triboloji alanında bulunabilmektedir (Falconnet ve ark., 2015, Hambli ve ark., 2009).

Hambli ve ark. (2009) çalışmalarında boşaltma zımba tertibatının maliyetini belirlemek için çapak boyu gibi parametreleri inceleyecekleri bir SEA modeli ile analiz gerçekleştirmişlerdir. Zımba aşınması sonucu sonlu elemanlardan elde ettiği çapak boyu değişimini deneysel sonuçlarla kıyasladıkları bu çalışmada 50000 boşaltma döngüsü esnasında zımba kesme kenarı radyüs değişiminin 0,01 mm'den 0,2 mm'ye çıktığını gözlemlemişlerdir (bkz. Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Boşaltma döngüsü esnasında zımba aşınması ve sonucunda çapak boyu parametresinin değişiminin gösterilmesi (Hambli ve ark., 2009)

Falconnet ve ark. (2015) takım aşınmasının hem analitik hem de sayısal sonlu eleman analizlerini içeren teorik parametrik bir çalışma gerçekleştirdiler. Sac malzemeyi zımba ile kesilen yüzeyini 4 kısma ayırarak analiz ettiler. Bu kısımlar zımbanın ilk temas ettiği yuvarlanma, parlak pürüzsüz kısım, kırılma, ve çapak kısımlarıdır. Zımba aşınmasını hesaplamak için bir analitik model oluşturmak üzere 1.174.000 kurs ile deney gerçekleştirilerek empirik bir katsayı elde etmişlerdir. Bu analitik modeli (Denklem (2.1)) doğrulamak için de çapak yüksekliği, kırılma yüksekliği, parlak kenar yüksekliği gibi parametreler cinsinden SEY simülasyon sonuçları ile zımba aşınma profillerini karşılaştırmışlardır.



Şekil 2.7 Sacın zımba ile kesilen kenarının profilinin SE modeli (Falconnet ve ark., 2015)

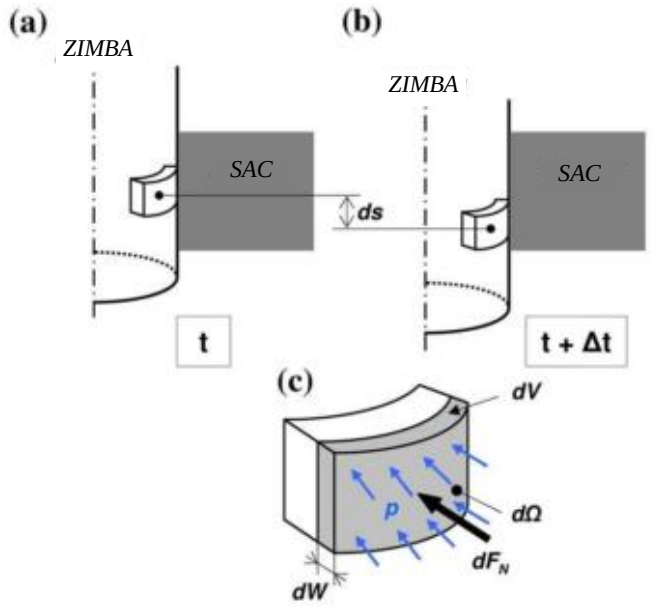
Hambli ve ark. (2009) çalışmasında belirtilen abrazif aşınma denklemi analitik model oluşturmak için çıkış yolu olmuştur.

$$V = K.F_N.s \tag{2.1}$$

denkleminde V aşınma hacmi, K malzeme çifti ve temas koşullarına bağlı olan aşınma katsayısı, F_N uygulanan yük, s kayma mesafesi olarak verilmektedir.

$$dV = K.dF_N.ds \tag{2.2}$$

denkleminde dV Şekil 2.8 (c)'de gösterildiği gibi diferansiyel aşınma hacmi, dF_N diferansiyel normal kuvvet, ds kayma mesafesinin diferansiyel değişimidir.



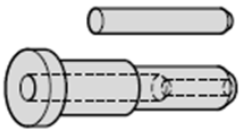
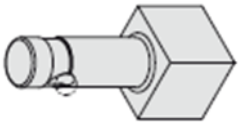
Şekil 2.8 (a) Eksenel simetrik boşaltma modeli şematik gösterilişi (a) t anındaki konfigürasyon (b) t+Δt anındaki konfigürasyon (c) t+Δt anındaki zımba yüzeyinin diferansiyel hacminin detaylı gösterilişi (Hambli ve ark., 2009)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kesme ve Delme Zımbası Geliştirilmesi

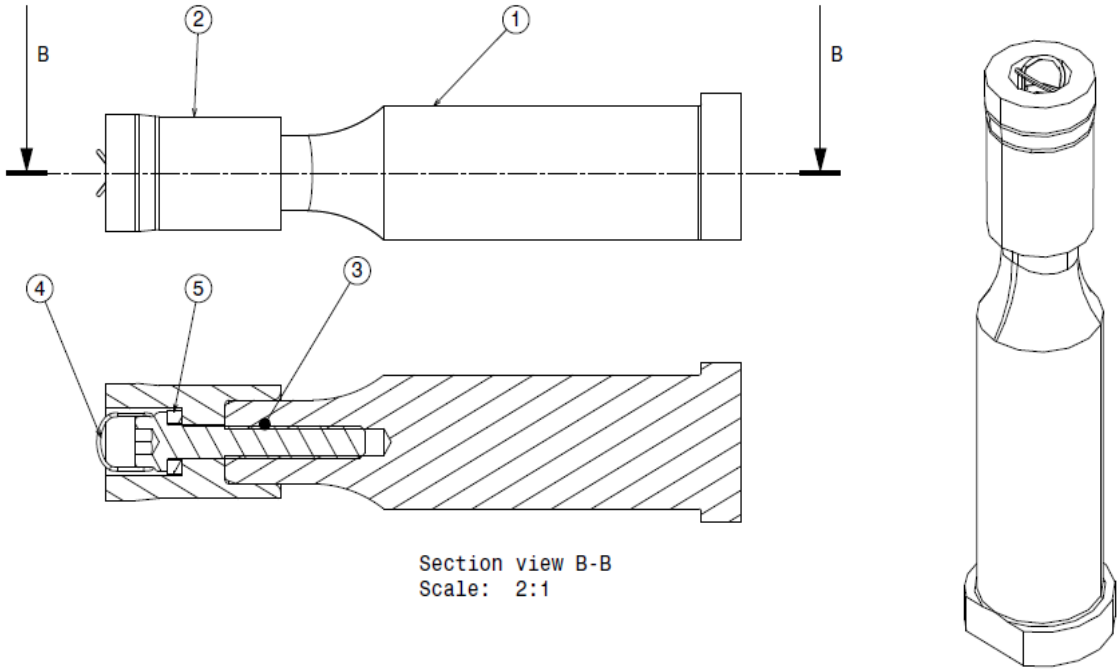
Mevcutta geliştirilmiş basit yapılı pek çok delme ve kesme zımbası geliştirilmiştir. Bunların geometrileri ve boyutları istenilen boşaltmaya göre seçilebilmektedir. Yapısal olarak DIN normlarına göre tasarlanmış başlıca zımba tipleri aşağıdaki Çizelge 3.1'de görülmektedir. Burada çoğunlukla yekpare zımbalar bulunmaktadır. Ancak bilya kilitlemeli zımba türü takma uçludur. Fakat bu bilya kilitlemeli mekanizmada zımba ucunu ayırma işlemi çok kolay olmamaktadır ve ayırma esnasında bilya aşınmakta olduğundan uzun ömürlü değillerdir.

Çizelge 3.1. DIN normuna göre zımba türleri

Zımba türü	Zımba geometrisi
Zımba DIN 9861 Şekil DA	
Zımba DIN 9861 Şekil C	
Zımba VDI 3374	
Bilya kilitlemeli burç ve baskı pimi VDI 3374	
Yuvarlak zımbalar 300 açılı şapkalı	
Konik kafalı zımba, kademeli yuvarlak, itici pimli	
Bilya kilitlemeli zımba , kademeli, dikdörtgen, hafif hizmet	
Bilya kilitlemeli zımba, uç gövdeden büyük, kare, hafif hizmet	

Bu tez çalışmasına konu olan yeni zımba türü de çoklu parçalıdır ve zımba ucu çıkarılabilmektedir. Bu zımba türünde bilya kilitlemeli zımba türündeki zımba ucunun

kolay sökülmemesi gibi problemler giderilmiştir ve hurda itici yay gibi ilave özellikler eklenerek geliştirilmiştir.



Şekil 3.1 Takma çap uçlu hurda iticili ve şapkalı zımba 3 boyutlu model izometrik ve kesit görünüşü

Çizelge 3.2. Yeni geliştirilen takma uçlu zımba tasarımı parça listesi

Parça No	Parça Adı
1	Zımba gövdesi
2	Zımba ucu
3	Takma cıvatası
4	Hurda itici yay
5	Nord Lock pul

Yeni tasarım Şekil 3.1'de 3 boyutlu olarak kesit görünüşü ile birlikte gösterilmektedir. Zımba parçaları Çizelge 3.32'de paylaşılmıştır. Tasarım 5 parçadan oluşmaktadır. Takma cıvatasının yanı sıra bir de bir boy büyük sökme cıvatası da bulunmaktadır. Ancak bu tasarımda gösterilmemektedir. Örneğin, eğer sıkma cıvatası M4 ise bu sökme cıvatası M5 olacaktır. zımba boyutuna göre sıkma cıvatası boyutu da artıp azalabilir. Tasarım kullanım kolaylığı yani ergonomi ve maliyeti düşürmenin yanısıra mekanik

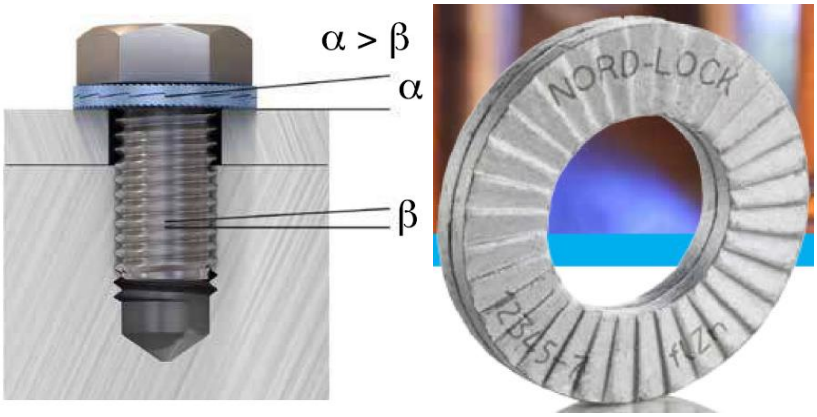
dayanımı dikkate alınarak tasarlanmıştır (Nee, 2010). Bu nedenle bilgisayar destekli analiz ve testleri yapılarak malzeme akma dayanımı, çekme dayanımı gibi hususlar dikkate alınarak tasarım optimizasyonu yapılmaktadır.

Tasarım parametrelerinden zımba gövdesi çapı, zımba ucu çapına bağlı olarak değişmektedir. Bu boyut parametreleri aşağıdaki Çizelge 3.3'te verilmektedir: Bu tabloya göre zımba gövde çapı 16 mm iken zımba ucunun çapı en az 13 mm en fazla da 16 mm olabilir ve zımba ucunu takmak için kullanılan cıvata M4 olabilirken kolayca sökülmesi için özel tasarlanan bu zımbanın ucu bir büyük boy olan M5 cıvatanın yardımıyla güç ve zaman kaybı olmaksızın sökülebilir. Benzer durum diğer zımba gövde çapları için de söylenebilir.

Çizelge 3.3. Yeni geliştirilen zımbanın boyut parametreleri

Zımba gövde çapı [mm]	Zımba ucu çap aralığı [mm]	Takma cıvatası	Sökme cıvatası
13	10-13	M3	M4
16	13-16	M4	M5
20	16-20	M5	M6
25	20-25	M6	M8
32	25-32	M8	M10

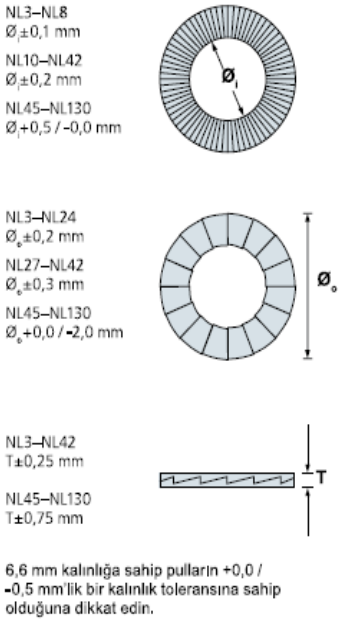
Nord Lock pulları cıvatalı bağlantıları sürtünme yerine gerilim ile sıkıştırır. Sistem bir tarafında tırnaklar, diğer tarafında radyal dişler olan bir çift puldan meydana gelir. Tırnak açısı α, diş eğimi β dan daha büyük olduğundan, tırnaklar tarafından bir sıkıştırma etkisi meydana gelir ve cıvatanın gevşeyerek dönmesi engellenir. Titreşim ve çarpmalara karşı dayanımı test edilmiş bu ürün kalıp aparatlarının cıvata bağlantılarında da sıkça tercih edilir bir bağlantı elemanıdır. Bu yeni zımba türü geliştirme çalışmasında da üründeki takma uç güvenli bir şekilde zımba gövdesine kilitli kalması gerektiği için tasarıma dahil edilmiştir. Çizelge 3.4'te paylaşılan boyutlardaki Nord-Lock pulların 3B tasarım dataları www.nord-lock.com/cad adresinden indirilebilmektedir.



Şekil 3.2 Nord-Lock kilitleme kaması (nord-lock.com/cad)

Çizelge 3.4. Zımbada kullanılan Nord-Lock pulu boyut parametreleri (nord-lock.com/cad)

Pul ölçüsü	Civata ölçüsü		$ø_i$ [mm]	$ø_o$ [mm]	Kalınlık [mm]	Minimum paket [çift]	Yaklaşık ağırlık kg/ 100 çif
	Metrik	UNC					
NL3	M3	#5	3,4	7,0	1,8	200	0,03
NL3,5	M3,5	#6	3,9	7,6	1,8	200	0,04
NL3,5sp	M3,5	#6	3,9	9,0	1,8	200	0,06
NL4	M4	#8	4,4	7,6	1,8	200	0,04
NL4sp	M4	#8	4,4	9,0	1,8	200	0,06
NL5	M5	#10	5,4	9,0	1,8	200	0,05
NL5sp	M5	#10	5,4	10,8	1,8	200	0,11
NL6	M6		6,5	10,8	1,8	200	0,07
NL6sp	M6		6,5	13,5	2,5	200	0,20
NL1/4"		1/4"	7,2	11,5	2,5	200	0,08
NL1/4"sp		1/4"	7,2	13,5	2,5	200	0,18
NL8	M8	5/16"	8,7	13,5	2,5	200	0,15
NL8sp	M8	5/16"	8,7	16,6	2,5	200	0,28
NL3/8"		3/8"	10,3	16,6	2,5	200	0,23
NL3/8"sp		3/8"	10,3	21,0	2,5	200	0,48
NL10	M10		10,7	16,6	2,5	200	0,22
NL10sp	M10		10,7	21,0	2,5	200	0,47
NL11	M11	7/16"	11,4	18,5	2,5	200	0,29
NL12	M12		13,0	19,5	2,5	200	0,29
NL12sp	M12		13,0	25,4	3,4	100	0,93
NL1/2"		1/2"	13,5	19,5	2,5	200	0,27
NL1/2"sp		1/2"	13,5	25,4	3,4	100	0,90
NL14	M14	9/16"	15,2	23,0	3,4	100	0,56
NL14sp	M14	9/16"	15,2	30,7	3,4	100	1,41
NL16	M16	5/8"	17,0	25,4	3,4	100	0,67
NL16sp	M16	5/8"	17,0	30,7	3,4	100	1,28
NL18	M18		19,5	29,0	3,4	100	0,89
NL18sp	M18		19,5	34,5	3,4	100	1,58



Tasarımı geliştirilen zımbanın dinamik olarak metal bir sac malzemeye doğrusal olmayan plastik şekil değiştirme işlemi uygularken ne gibi gerilmelere maruz kaldığının analizinin yapılması gerekmektedir. Bu nonlinear dinamik problemin çözümü amacıyla Explicit Dynamics modülleri bulunan iki adet ticari sonlu elemanlar analiz (SEA) programı kullanılmıştır. Öncelikle ABAQUS CAE yazılımı kullanılarak standart zımba ile programın kapasitesi görülmek istenmiştir. Bu programda çözülen problemlerde

şekil değiştiren sacın analizi yapılmıştır ancak zımbanın analizinin yapılabildiği bir analiz türüne literatürde rastlanılmamıştır. Zımba üzerine gelen gerilimleri görmemize faydası olmadığından dolayı diğer en yaygın kullanılan SEA yazılımı olan ANSYS Workbench programının AutoDyn çözücüsünü kullanan Explicit Dynamics modülü kullanılmıştır.

3.2. Sonlu Elemanlar Analizi

Dinamik sonlu elemanlar analizleri implicit ve explicit olarak iki türdür. Zamana bağlı integralin alınmasında kullanılan sayısal yöntemler yönüyle farklılık gösterirler. Bu çalışmadaki non-linear dinamik problemi çözmek için literatürde Explicit Dynamics (Alloy, Dou, & Xia, 2019; Falconnet et al., 2015; Naskar & Kumar, 2017; Seid, 2014) olarak bilinen yöntemi kullanacağız.

3.2.1. Eksplisit Dinamik

Sonlu elemanlar analiz programları eylemsizlik etkilerinin dahil edildiği dinamik analiz problemlerini analiz ederken eksplisit direk entegrasyonunu sağlar. Cismin hareket denklemlerinin eksplisit merkezi fark integral kuralını kullanarak integralini alır (SIMULIA, 2016).

$$\dot{u}^{\left(i+\frac{1}{2}\right)} = \dot{u}^{\left(i-\frac{1}{2}\right)} + \frac{\Delta t^{(i+1)} + \Delta t^{(i)}}{2} \ddot{u}^{(i)} \tag{3.1}$$

$$u^{(i+1)} = u^{(i)} + \Delta t^{(i+1)} \cdot \dot{u}^{\left(i+\frac{1}{2}\right)} \tag{3.2}$$

$\dot{u}$:Hız, $\ddot{u}$:İvme, i: iterasyon artış sayısı ve $i-\frac{1}{2}$ ve $i+\frac{1}{2}$ ara artış değerleridir. Bu merkezi farklar entegrasyon operatorü eksplisittir çünkü kinematik ifade daha önceki artış adımından bilinen $\dot{u}^{(i-\frac{1}{2})}$ ve $\ddot{u}^{(i)}$ değerlerini kullanarak ilerler. Eksplisit integral kuralı eksplisit dinamik prosedüründe tek başına verimli hesaplama sağlamaz. Bunun yanında diagonal kütle element matrisinin kullanımı eksplisit dinamik prosedürde hesaplamanın verimliliğinde anahtar unsurdur. Çünkü iterasyonun başlangıcında ivmeler için hesaplamada kullanılan kütle matrisinin tersi üç eksenlidir:

$$\ddot{u}^{(i)} = \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{F}^{(i)} - \mathbf{I}^{(i)} \tag{3.3}$$

M: diagonal bileşik kütle matrisi

F: uygulanan yük vektörü

I: iç kuvvet vektörü

Başlangıç koşulları, sınır koşulları ve sonuçların sunumu için $\dot{u}^{(i+\frac{1}{2})}$, $\dot{u}^{(i-\frac{1}{2})}$ ortalama hızlarının özel işlemi gereklidir. Sonucun sunumu için mevcut hız ortalama hızın liner interpolasyonu olarak depolanır.

$$\dot{u}^{(i+1)} = \dot{u}^{\left(i+\frac{1}{2}\right)} + \frac{1}{2}\Delta t^{(i+1)}\ddot{u}^{(i+1)} \tag{3.4}$$

Merkezi fark operatörü kendi kendine başlamaz çünkü $\dot{u}^{(-\frac{1}{2})}$ ortalama hızın değerinin tanımlanması gerekir.

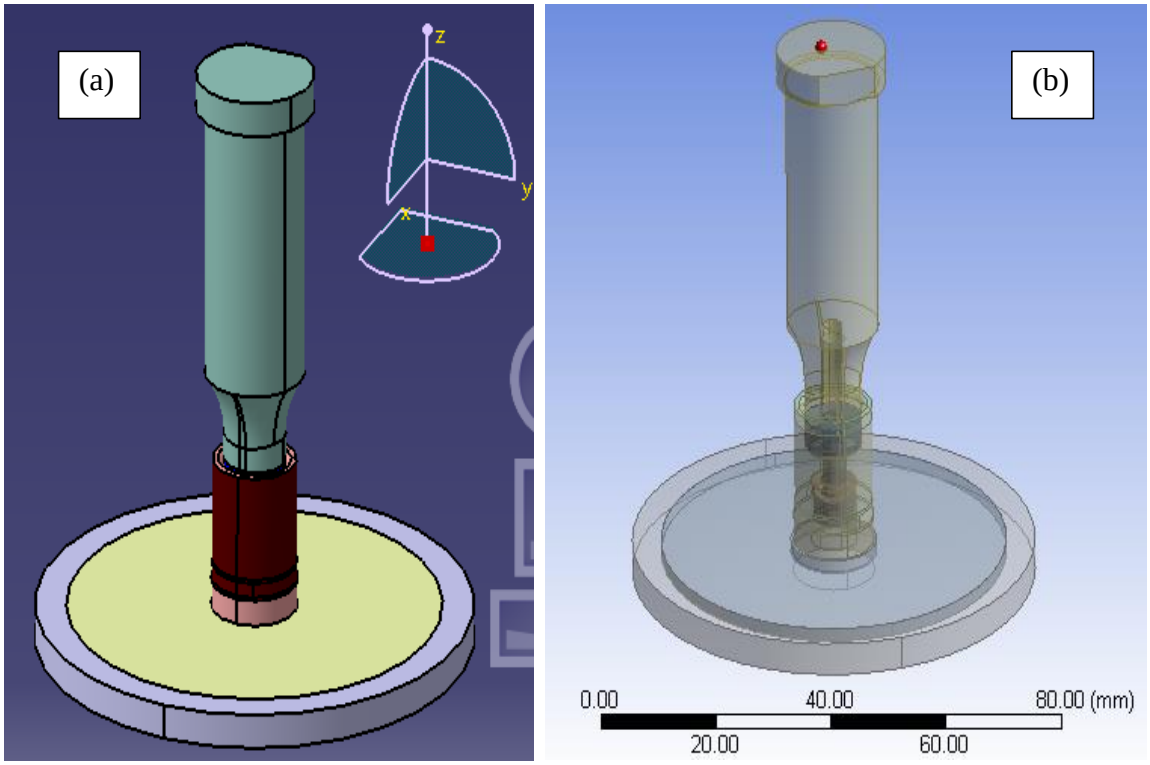
$$\dot{u}^{\left(+\frac{1}{2}\right)} = \dot{u}^{(0)} + \frac{1}{2}\Delta t^{(1)}\ddot{u}^{(0)} \tag{3.5}$$

Bu ifadeyi $\dot{u}^{(i+\frac{1}{2})}$ için güncellenen ifadenin içine koyarak $\dot{u}^{(-\frac{1}{2})}$ için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\dot{u}^{\left(-\frac{1}{2}\right)} = \dot{u}^{(0)} - \frac{1}{2}\Delta t^{(0)} \cdot \Delta\ddot{u}^{(0)} \tag{3.6}$$

3.2.2. Modelin hazırlanması

Sonlu elemanlar analizi için komponentlerin geometrileri belirlenip bilgisayar destekli mühendislik (Computer Aided Engineering, CAE) programlarında bulunan bilgisayar destekli tasarım modülleri ile üç boyutlu olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.3'de görülen takma uçlu zımbanın uç çapı 14 mm ve gövde çapı 16 mm'dir. Zımba ve kalıp katı model olarak ve sac parça yuzey model teknikleriyle CATIA bilgisayar destekli tasarım (BDT) programında çizilmiştir. Daha sonra ANSYS Workbench içerisine aktarılmıştır.

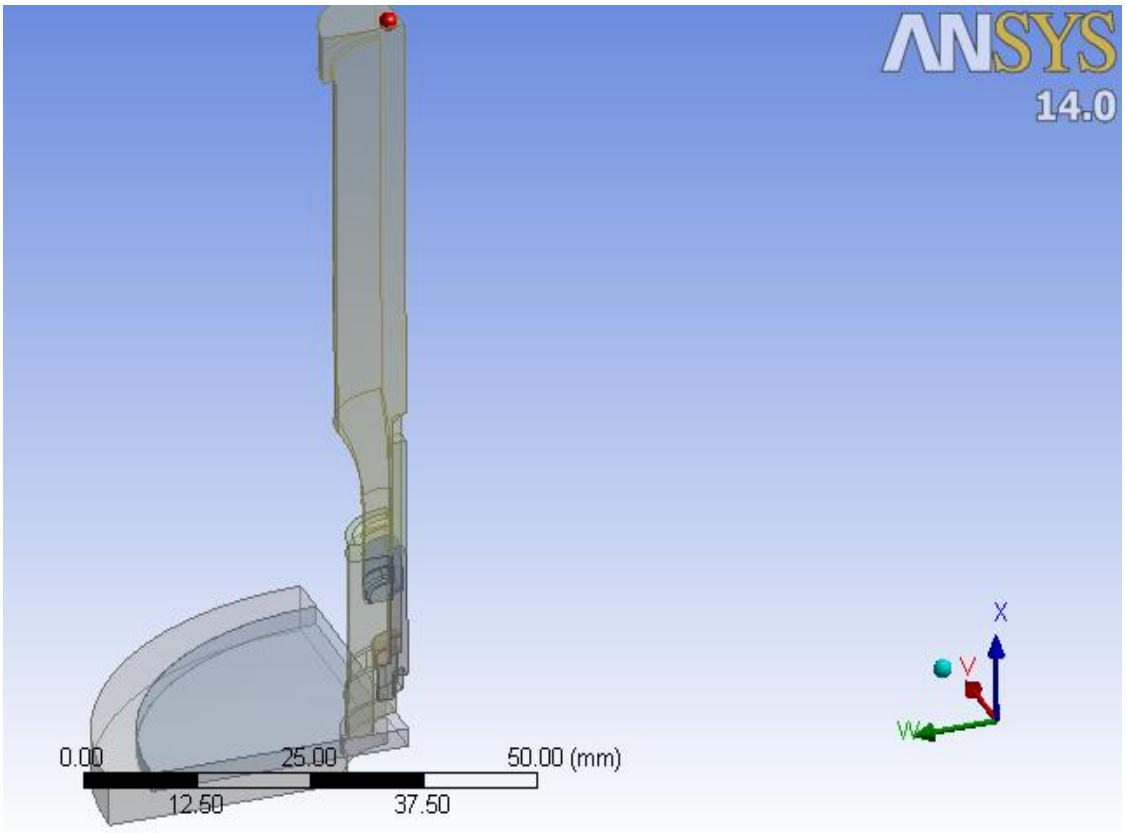


Şekil 3.3 Takma uçlu zımba 3B modeli (a) CATIA BDT programında (b) ANSYS AUTODYN SEA programında

Çoğu zaman gerçek probleme yaklaşım ile çözüm söz konusu olduğu için model bazı varsayımlar kullanılarak basitleştirilir. Hatta bazı problemler için eğer yeterli olur ise iki boyutlu model de hazırlanabilmektedir. Sonlu elemanlar problemlerinin çözümü için 3 temel varsayım kullanılmaktadır. Bunlar:

- Düzlem-gerilim varsayımı; Bir eksen boyunca gerilimin değişmediği durumlardır. Örneğin bir plakanın kalınlığı boyunca basınç aynı ise kalınlık geometriye yansıtılmayarak 2B model plaka modeli oluşturulabilir.
- Düzlem gerinim varsayımı: Gerinimin uzun yapılarda değişmediği problemlerde genellikle bu varsayım kullanılarak 2B modele indirgenerek problem çözüm zamanı kısaltılabilir. Sonuç kabul edilebilir yaklaşıklıkta çözülebilmektedir.
- Eksenel simetri varsayımı: Genelde dairesel kesitli problemlerde örneğin basınçlı kap problemlerinde bir eksen etrafında simetri uygulanarak yarım model veya mümkünse iki eksen etrafında simetri uygulanarak çeyrek silindir model oluşturularak eksenel ve radyal gerilimler elde edilebilir.

Bu çalışmada Şekil 3.4'te görülen takma uçlu zımba, kalıp ve kalıptan oluşan montaj model dairesel kesitli oluşturulduğu için ANSYS Workbench içinde bulunan DesignModeler programında XZ ve YZ eksenleri etrafında eksenel simetri tanımlanarak 3B çeyrek modele indirgenmiştir.



Şekil 3.4 ANSYS Workbench SEA programında DesignModeler da oluşturulan 3B çeyrek model

3.2.3. Malzemenin tanımlanması

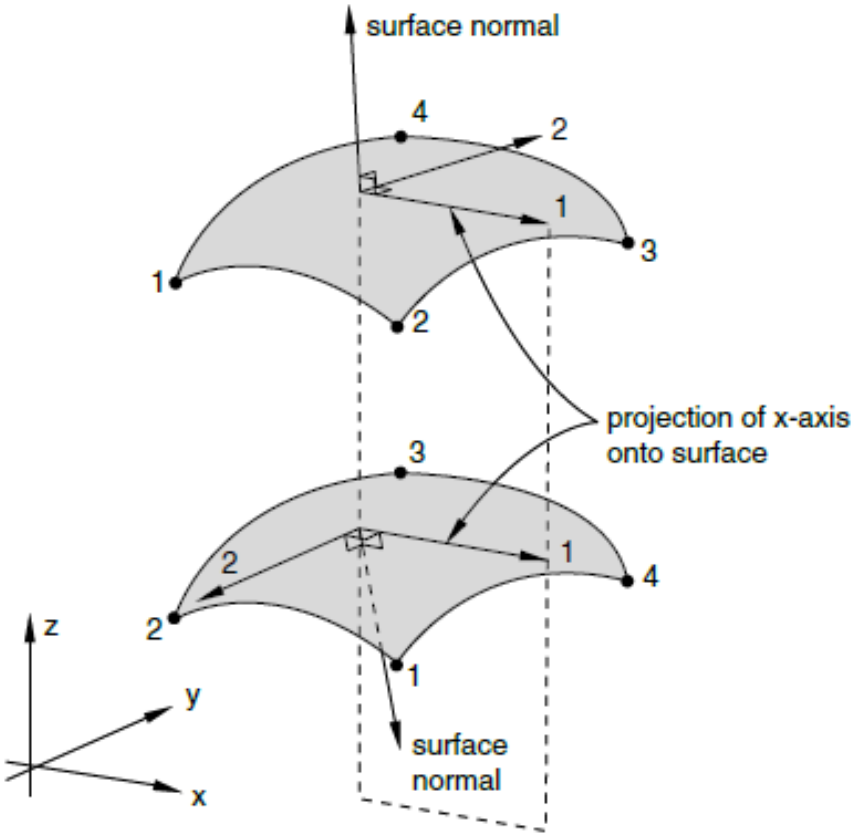
DesignModeler'da ceyrek model oluşturulduktan sonra model ANSYS-Workbench arayüzünde bulunan Mechanical (ANSYS AUTODYN-3D) programına aktarılmıştır.

Sıra modeldeki komponent ya da komponentlere malzemeleri atamaya gelmiştir. Malzeme özelliklerinden elastik ve gerekli ise plastik parametreleri yazılıma girilmektedir. Eğer malzeme çelik, aluminyum gibi izotropik bir malzeme ise Elastisite modülü her yönde aynı kabul edilir. $E_x = E_y = E_z$.

$$\sigma_{ij} = E_i \times \varepsilon_{ij} \; ; \quad i, j = x, y, z \tag{3.7}$$

Kompozit malzemeler gibi anisotropik malzemelerin tanımlanması ve gerilimlerin hesaplanması için Poisson oranı denilen bir katsayı ile her yönde farklı normal ve kesme

elastik modülleri tanımlanarak matriks işlemleri kullanılır. Ancak bizim problemimizde izotropik malzemeler kullanılacağından bu konuya değinilmeyecektir.

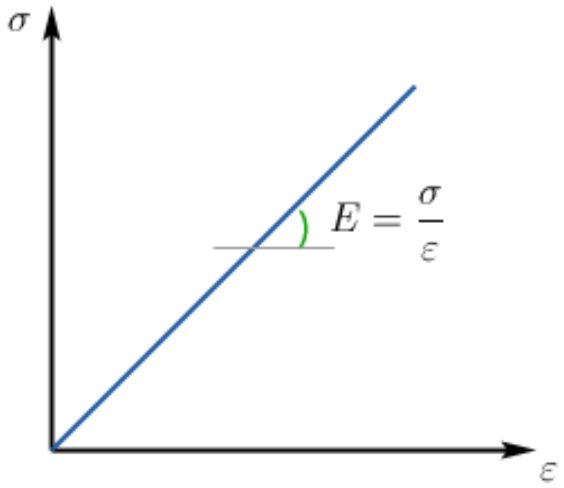


Şekil 3.5 Bölgesel yüzey yönleri

$$\begin{aligned}
&\sigma_{11}: 1 \text{ yönünde normal gerilim} \\
&\sigma_{22}: 2 \text{ yönünde normal gerilim} \\
&\sigma_{33}: 3 \text{ yönünde normal gerilim} \\
&\tau_{12}: 1-2 \text{ düzleminde kesme gerilimi} \\
&\tau_{13}: 1-3 \text{ düzleminde kesme gerilimi} \\
&\tau_{23}: 2-3 \text{ düzleminde kesme gerilimi}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

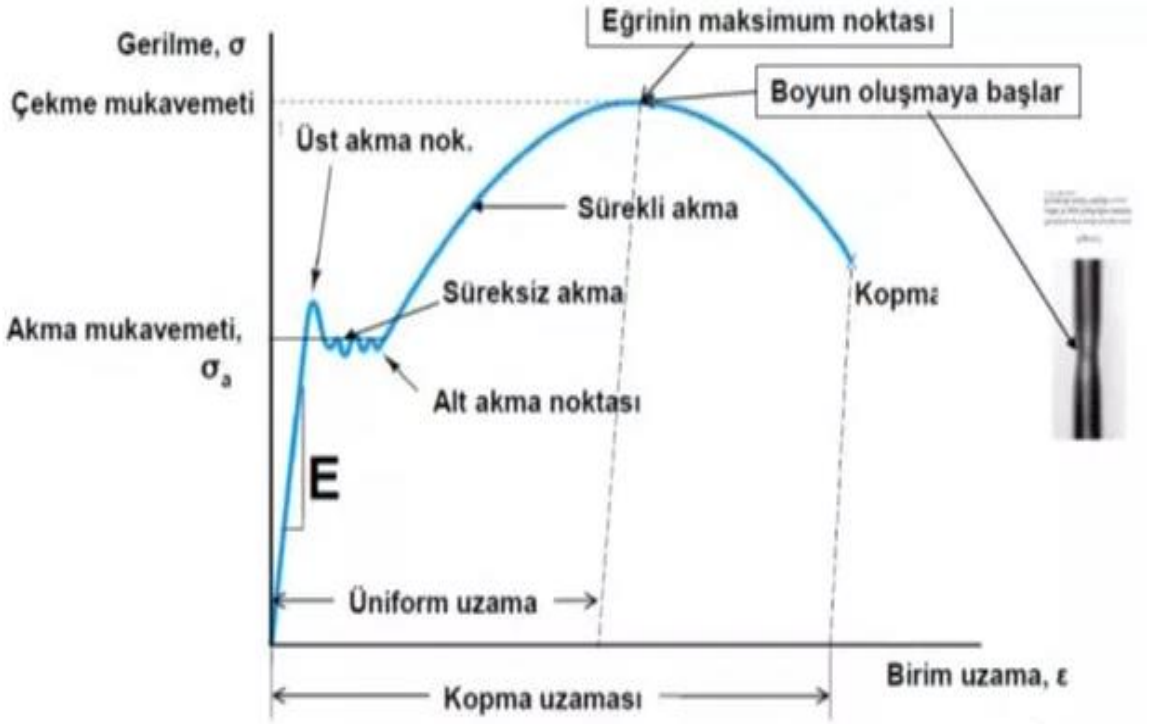
Bu 3 eksenli uzaysal problemler için kullanılan notasyonlardır. Bu teze konu olan problem dinamik bir problem olduğu için zaman da işlemlere dahil edilecektir. Zaman adımı parametresi tanımlanarak her zaman adımındaki değişimler gözlemlenebilmektedir.

Doğrusal malzeme elastik şekil değiştirme yapan malzeme demektir. Yani kalıcı şekil değiştirmeden şekli değiştikten sonra eski haline gelen malzemelerin durumunu tanımlamak için kullanılır ve Hooke yasası ile açıklanırlar:



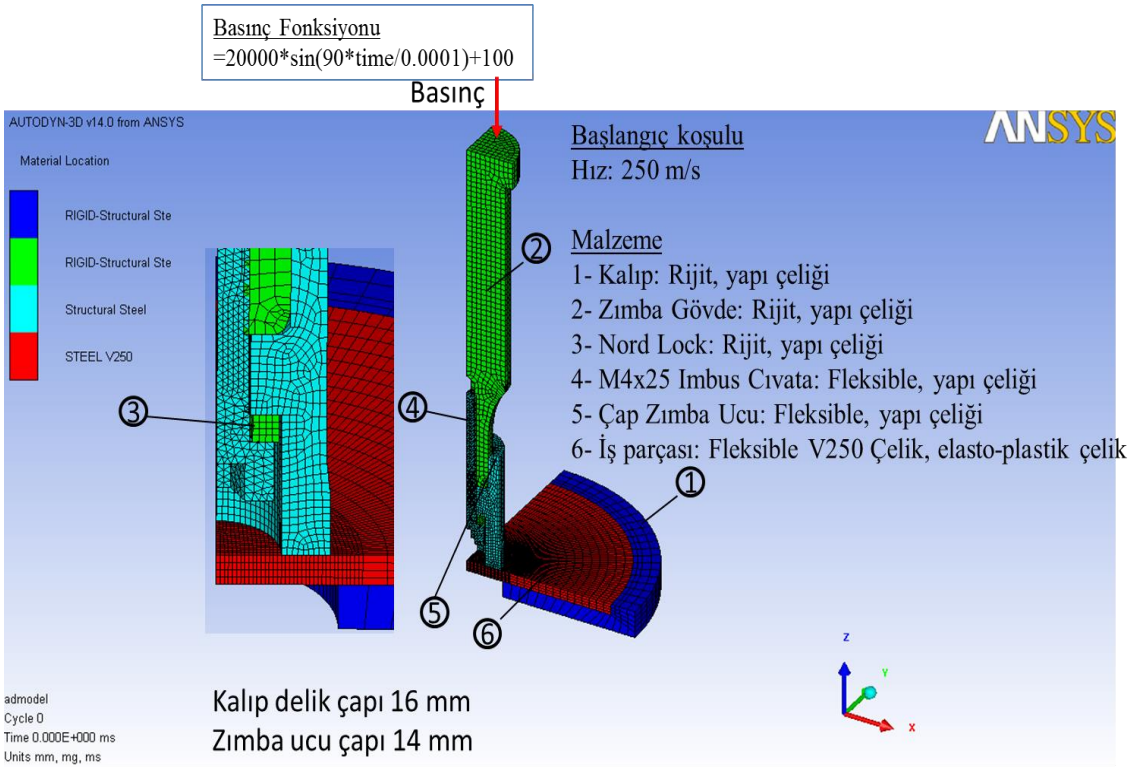
Şekil 3.6 Hooke yasası (muhendishane.org)

Şekil 3.6'teki bu grafik, bir malzeme türünde Şekil 3.7'te görülen numune hazırlanıp bu malzemeye uygulanan çekme testinden elde edilen grafiğin bir kısmıdır. Bir malzemeye çekme testi uygulandığında 3 faz gerçekleşir (bkz. Şekil 3.7); 1.si elastik şekil değiştirmenin olduğu akma gerilmesinin (yield stress) tanımlandığı doğrusal kısımdır ve Hooke yasası (bkz. Şekil 3.6) ile tanımlanır. 2.si çekme gerilmesi (tensile stress) denilen doğrusal olmayan eğrinin tepe noktasına kadar olan kısımdır. 3. Fazda kopma gerilmesinin belirlendiği eğrinin son noktasıdır yani numunenin çekme deneyi sonunda koptuğu kısımdır. İlk fazda malzemenin elastik özellikleri belirlenirken ikinci ve üçüncü kısımlarda da plastik özellikleri belirlenir. Literatürde birçok malzeme türü ve kalitesi için çekme deneyi sonuçları olan elastik ve plastik malzeme parametreleri elde edilmiştir ve bulunabilmektedir.



Şekil 3.7 Çekme deneyi eğrisi ve fazların gösterilmesi (muhendishane.org)

Sac üzerinde kalıcı şekil değiştirme yani kesilmesi işlemini simüle etmek istediğimizden dolayı sac malzeme non-linear yani doğrusal olmayan bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla plastik malzeme özelliklerinin de tanımlanması gereklidir. Ayrıca kesilme işlemi esnasında oluşan süreci doğru simüle etmek için de doğru bir hasar modeli sonlu elemanlar analizinde belirlenmelidir. Örneğin ABAQUS yazılımında derin çekme işlemini simüle etmek için DUCTILE FAILURE modeli seçilirken kesme/delme işleminin simülasyonu için SHEAR FAILURE modeli seçilmelidir.



Şekil 3.8 SEA modelinde tanımlanan malzemeler

ANSYS Workbench'teki yeni zımba modelinin simülasyonları için hazırlanan SEA modelinde kalıp, zımba gövdesi ve ucu, nord lock ve imbus cıvata yapı çeliği malzemeleri ile tanımlanırken nord lock, zımba gövdesi ve kalıp parçalarına rijit özelliği tanımlanmıştır. Çünkü bu parçaların deformasyonu analizimizde bir önem taşımamaktadır. Fakat imbus cıvata, zımba ucu ve iş parçalarının deformasyon miktarlarını analiz etmek istediğimiz için bu parçaların malzemelerine esneklik özelliği tanımlanmıştır. Ayrıca iş parçası hariç diğer parçaların tümü lineer malzeme tipi olan yapısal çelik olarak tanımlanmıştır. İş parçası malzemesi bunlardan farklı olarak elasto-plastik non-linear bir malzeme türü olarak V250 Çelik tanımlanmıştır. Çünkü bu malzeme delineceği ve plastik deformasyona uğrayacağı için elastik özelliklerinin yanısıra plastik özelliklerinin de verildiği yukarıda Şekil 3.7'de verilen faz 2 ve faz 3'teki değerler de gereklidir.

Çizelge 3.5. ANSYS Workbench'te tanımlanan yapı çeliği malzeme özellikleri

Property	Value	Unit
Density	7850	kg m^-3
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modul...	
Young's Modulus	2E+11	Pa
Poisson's Ratio	0,3	
Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
Specific Heat	434	J kg^-1 C^-1

Çizelge 3.5'te Yapı çeliğinin malzeme özellikleri verilmektedir. Yoğunluk 7850 kg/m^3 iken Young modülü olarak da bilinen Elastiklik modülü 200 GPa olarak verilmiştir. Farklı yönlerdeki uzama oranı miktarlarının orantısı yöntemi ile elde edilen Poisson oranı malzeme izotropik malzeme olduğu ve her yöndeki uzama oranları aynı kabul edildiği için 0,3 olarak verilmektedir. Bulk modülü ve kesme modülü değerleri sırasıyla 167 GPa ve 75 GPa olarak verilmektedir.

Çizelge 3.6. ANSYS Workbench'te tanımlanan V250 Çelik non-linear malzeme özellikleri

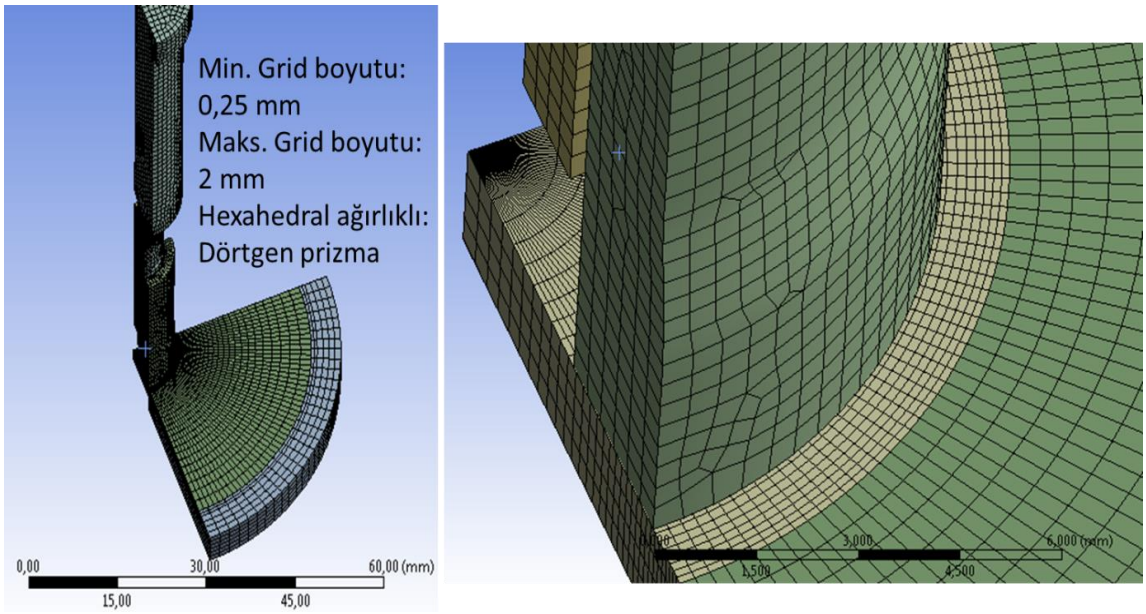
Property	Value	Unit
Density	8129	kg m^-3
Specific Heat	408	J kg^-1 C^-1
Steinberg Guinan Strength		
Initial Yield Stress Y	1,56E+09	Pa
Maximum Yield Stress Ymax	2,5E+09	Pa
Hardening Constant B	2	
Hardening Exponent n	0,5	
Derivative dG/dP G'P	1,479	
Derivative dG/dT G'T	-2,262E+07	Pa C^-1
Derivative dY/dP Y'P	0,03214	
Melting Temperature Tmelt	2036,9	C
Shear Modulus	7,18E+10	Pa
Shock EOS Linear		
Gruneisen Coefficient	1,6	
Parameter C1	3980	m s^-1
Parameter S1	1,58	
Parameter Quadratic S2	0	s m^-1
Principal Strain Failure		
Maximum Principal Strain	0,4	
Maximum Shear Strain	0,8	

ANSYS Workbench'te hasar modeli olarak malzeme özelliklerine "Principal Strain Failure" modeli eklenir. Bunun amacı normal ve kesme gerinim değerleri Çizelge 3.6'de belirtilen 0,4 ve 0,8 değerlerini geçtiğinde o değeri geçen elementler kaybolur.

3.2.4. Sonlu eleman bölüntülerinin oluşturulması

Malzeme tanımlandıktan sonra 3B çeyrek modele eksenel simetri sınır koşulu tanımlanır ki sonuçlar tam modele göre alınabilsin. Ayrıca parçaların temas yüzeyleri ve kontak (Contacts) tipleri ve cisim ilişkileri (Body interactions) tanımlanır. Bu problemde kontak tipleri yapışık (Bonded) olarak tanımlanmıştır ve cisim ilişkilerinde modeldeki tüm parçalar dahil edilmiştir ve sürtünme katsayısı 0,2 olarak tanımlanmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra model üzerinde literatürde grid ya da mesh denilen bölüntüler oluşturulur. Bölüntüler oluşturulurken kesmenin oluşacağı bölgede minimum grid boyutu verildi. Grid ölçüsü sac parçanın kesildiği kısma 0,25 mm olarak verildi ki kesme esnasındaki deformasyon daha yakınsak bir sonuçla görülebilsin. Kesme bölgesinden uzaklaştıkça sac malzemede 1 mm ye kadar grid boyutu büyütüldü ve süpürme tekniği ile düzgün hexahedral geometri ile bölümlenmiştir, böylece hesaplama süresi önemli ölçüde kısaltılmış oldu. Kalıp ve zımba parçaları da 1mm-2mm grid

boyutu aralığı tercih edildi. Bu parçalar da hexahedral ağırlıklı yani dörtgen prizmalar ile bölümlenmiştir (bkz. Şekil 3.9).



Şekil 3.9 SEA modelinde tanımlanan bölüntüleme

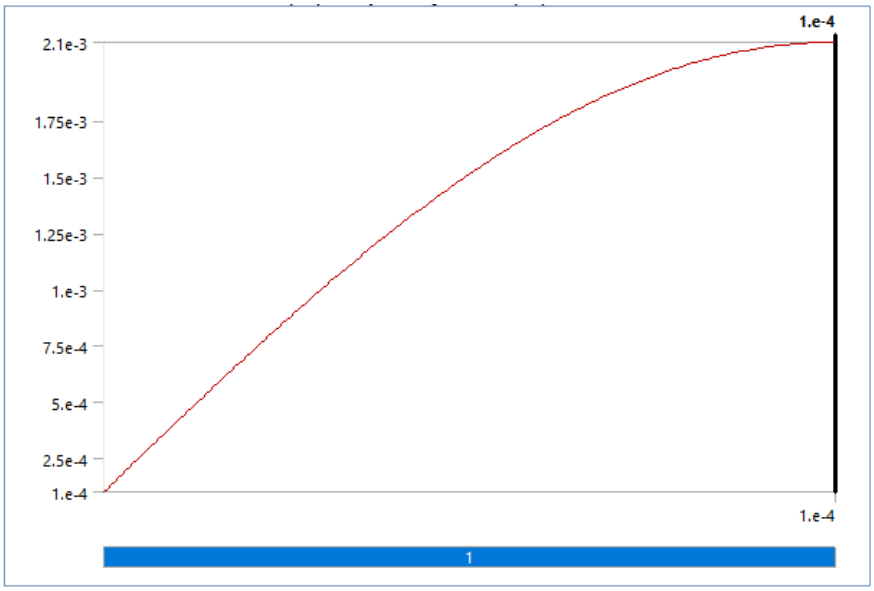
Meşleme ile element tipi de explicit dynamics problemi için otomatik atanmış olur. On adet parçaya toplam 42512 düğüm noktası ve 38139 element oluşturulmuştur. Kalıp 4640 element, zımba ucu 8283 element, zımba gövdesi 7726 element, imbus cıvata 2444 element ve iş parçası 14880 element ihtiva etmektedir.

3.2.5. Başlangıç ve Sınır Koşulları

Başlangıç koşulu olarak zımbanın –Z yönünde ilerleme hızı 250 m/s olarak tanımlanmıştır. Ayrıca kalıbın bağlı olduğu presten gelen basıncı simüle eden Basınç zımbanın üst yüzeyine zamana bağlı bir sinüs fonksiyonu (bkz. Şekil 3.10) ile tanımlanmıştır.

$$P = 20000 \times Sin\left(90 \frac{zaman}{analiz\,bitiş\,zamanı}\right) + 100 \qquad (3.9)$$

Analiz bitiş zamanı =0,0001 sn olarak tanımlandı. Zımba hızı ile analiz bitiş zamanı arasında $t = \frac{d}{V}$ şeklinde bir bağıntı vardır. Zımbanın d=0.02 m bir mesafeyi aşması için gerekli süre 8×10^{-5} sn'dir. Bu analiz için süre %20 fazlası alınarak 1×10^{-4} sn olarak belirlenmiştir.

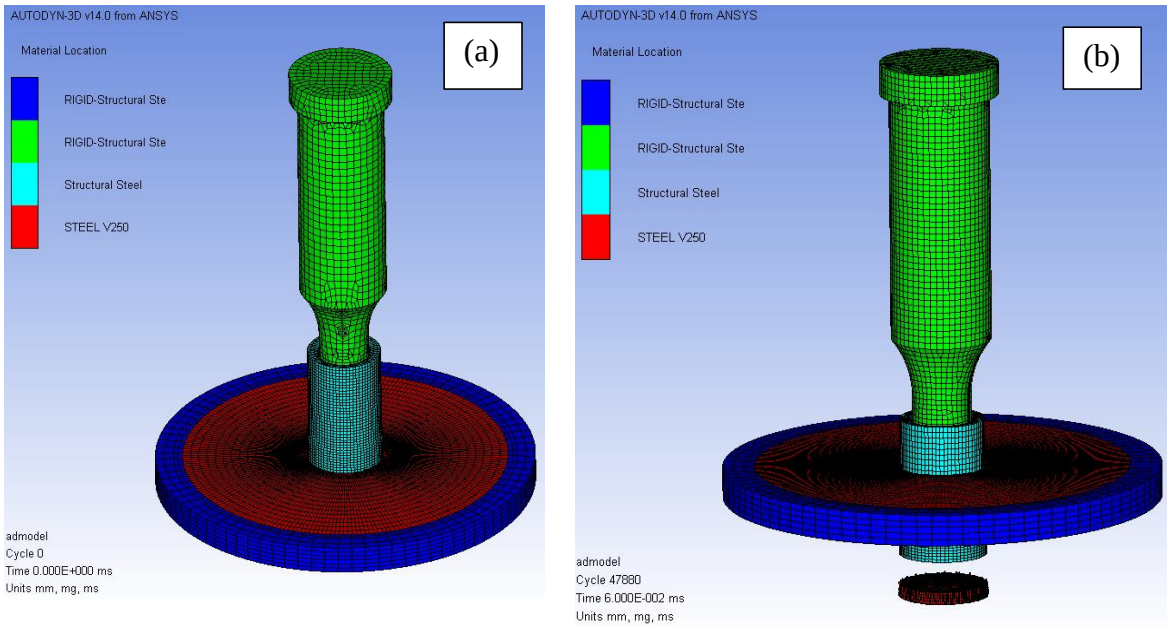


Şekil 3.10 Basınç fonksiyon eğrisi

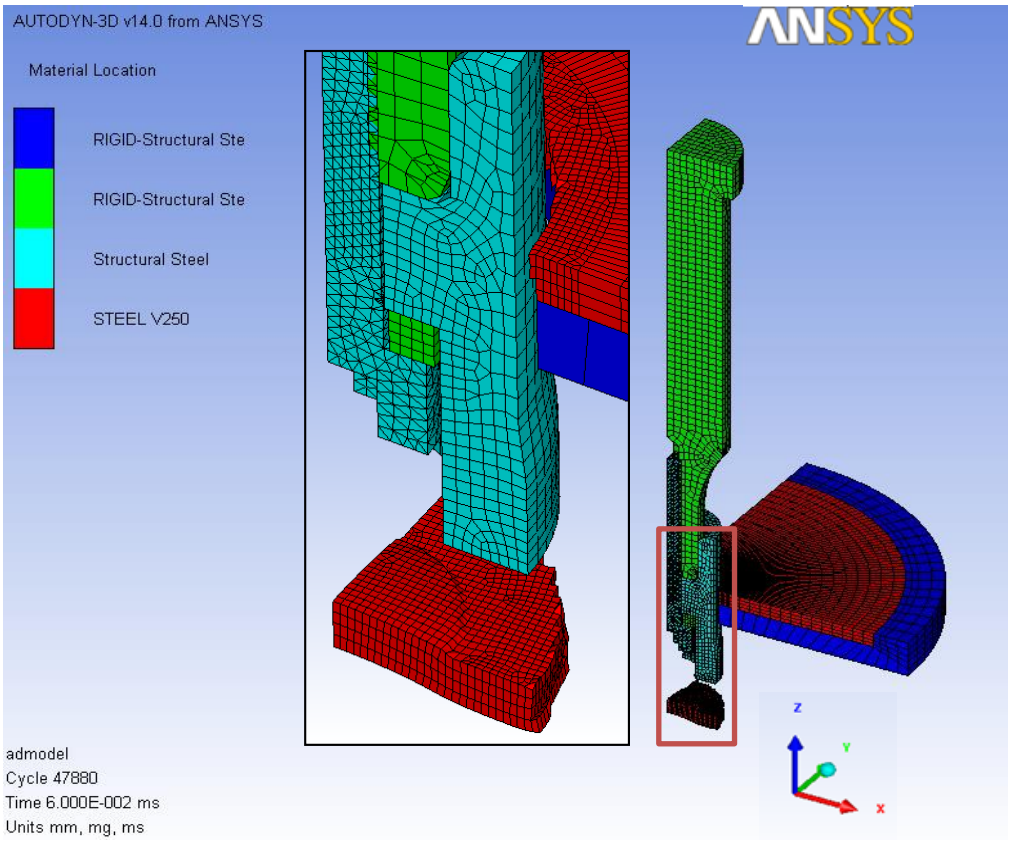
Kalıp Fixed support sınır koşulu ile tamamen sabitlenmiştir.

4. BULGULAR

Üç boyutlu çeyrek modelin meşlenerek malzeme, başlangıç ve sınır koşullarının da tanımlanmasının ardından ANSYS Explicit Dynamics analizi çalıştırılmış ve element sayısı oldukça fazla bir model olmasından dolayı ve analiz türünden dolayı yüksek performanslı iş istasyonu tipi bir bilgisayarda koşturulmasına rağmen herbirisi en az 6-7 saat süren analizler koşturulmuştur. ANSYS Workbench arayüzünden Explicit Dynamics analiz tipi kullanıldığında çözücü olarak AUTODYN kullandığını bahsetmiştik. Aşağıdaki görsellerde sonuçlar kontur grafikler olarak görülmektedir. AUTODYN arayüzü içinde eksenel simetri varsayımı ile çeyrek modele indirgenmiş modelin tam ve yarım modellere kolayca dönüştürerek elde edildiği sonuçlar görülebilmektedir. Şekil 4.1'de V250 çeliği ve yapı çeliğinin hangi parçalara rijit ve fleksible olarak tanımlandığını göstermektedir. Soldaki resimde analizin başlangıcındaki tam model görülmekte ve sağdaki resimde ise analiz sonunda 47880 iterasyon ve 6×10^{-5} sn sonrası 14mm çapındaki zımba ucunun 1mm kalınlıktaki sac parça içerisine girerek delmesi hali görülmektedir. Hurda parça sacdan ayrılarak aşağıya düşmektedir.

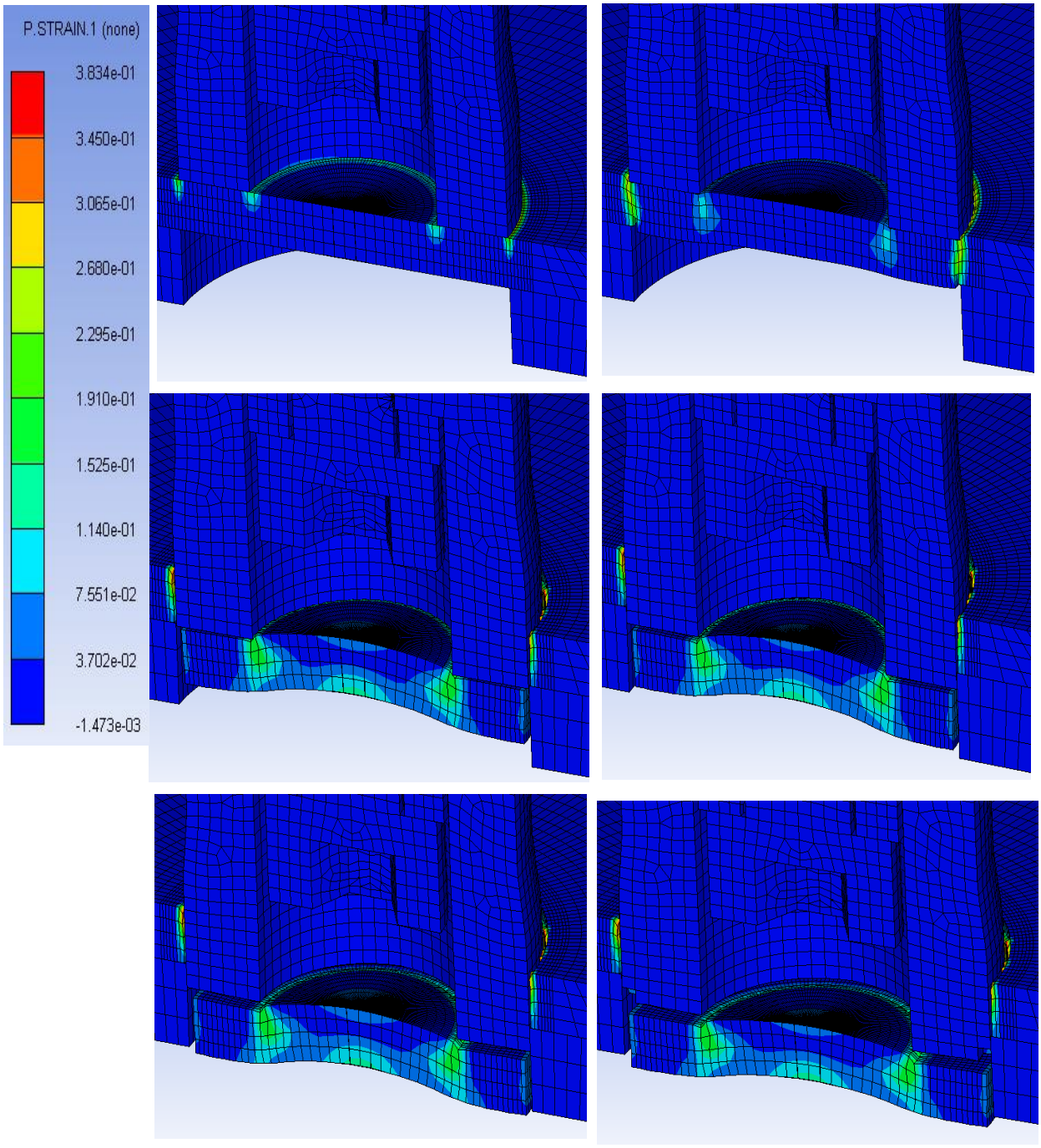


Şekil 4.1 ANSYS AUTODYN arayüzünde tam model olarak meş ve malzeme dağılımı görünümü (a) Döngü: 0, Zaman: 0 (b) Döngü: 47880, Zaman: 60 µs



Şekil 4.2 ANSYS AUTODYN arayüzünde çeyrek model olarak meş ve malzeme dağılımı görünümü Döngü: 47880, Zaman: 60 µs

Şekil 4.2'de de aynı döngü (47880) ve zamandaki (60 µs) çeyrek model olarak daha yakın planda hurda parçanın deformasyonu görülebilmektedir. Bu simülasyonda hurdanın parçadan ayrıldığı kenardaki element boyutunun yeterince küçük olmaması nedeniyle düzgün ayrılma gerçekleşmediği görülmektedir. Bu nedenle daha sonraki simülasyonlar için modelin bu kısmındaki meş boyutu daha da küçültülmüştür. Steel V250 malzemesine eklediğimiz Principal Strain Failure yani Normal gerinim hasarı kriterleri olan Principal Strain değerleri olan olan 0,4 ve 0,8 değerleri aşıldığı anda gerinim değerinin aşıldığı elementler kaybolmaktadır. O element boyutu ne kadar küçük olursa hurda ve sac deliğinin kenarları o kadar düzgün görünür. Bu nedenle P.Strain plotunda kırmızı olarak görülen kenarlarda kesilme işlemi gerçekleşmiştir ve elementler kaybolmuştur.

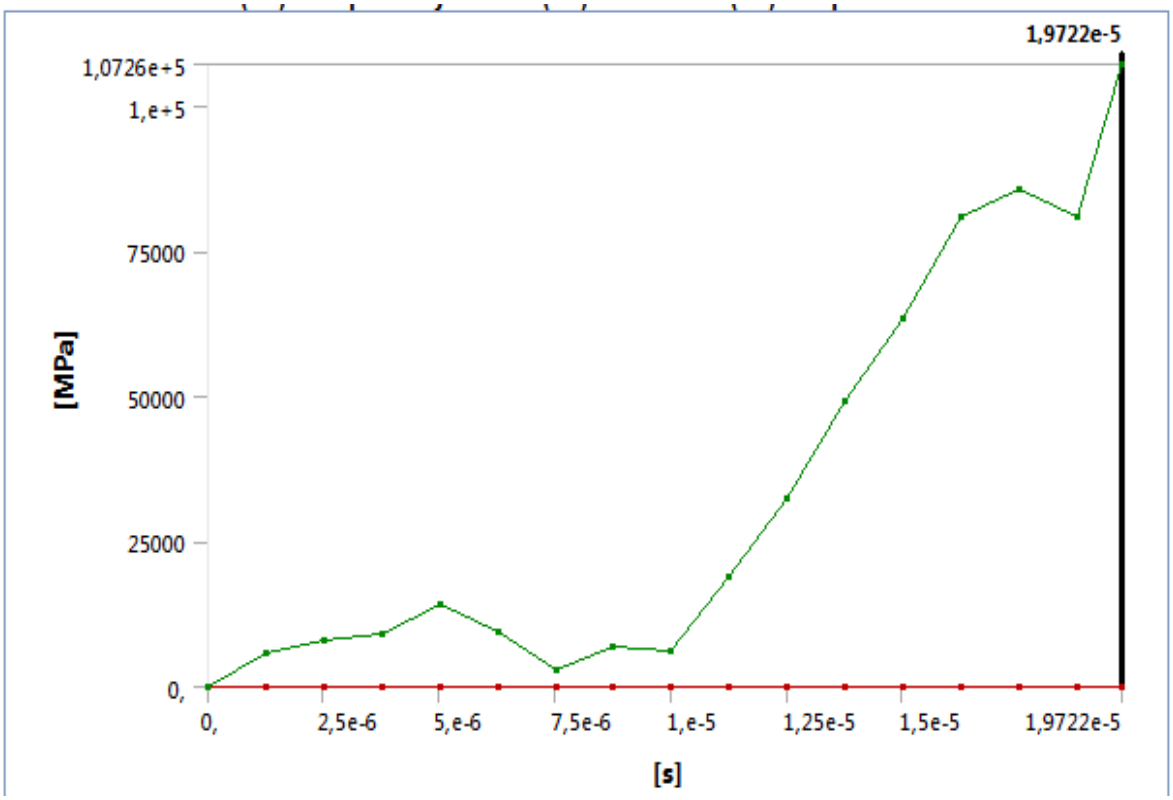


Şekil 4.3 Sacın zımba ile delinmesi simülasyonunun 6 farklı zamandaki Plastik gerinim kontur plotları – yarım model

Aynı simülasyon modelde yukarıda bahsedilen meş değişikliği yapıldıktan sonra tekrarlanmıştır. Şekil 4.3'de daha yakın planda yarım model ile plastik gerinim cinsinden kontur plotlar görülmektedir. İlk grafikte zımba henüz sac parçaya temas etmektedir ve zımba dış çap ve iç çap kenarlarında maksimum gerinim oluşmaktadır. Daha sonra kalıbın alttan desteklediği dış çap kenarı altında kalan sac parça kısmındaki plastik gerinim miktarı kalıp ve zımba arasında makas etkisi oluşturularak çok daha fazla artarak kesme işlemi başlamaktadır. Bu bölgede meş daha sık atıldığı için daha doğru sonuç elde edilebilmektedir.

Üçüncü görselde artık kesme gerçekleşmiş ve zımba ucu çapı olan 14mm çapında kesilen hurda parça tamamen sacdan ayrılmıştır. Zımba iç çapı kenarının hurda parçaya temas ettiği kısımda da plastik gerinim miktarı artmış olduğu ve kalıcı şekil değişikliğine uğrattığı görülmektedir. Dördüncü grafikte zımba ucunun kalıp deliğinin içinden geçmeye başladığı görülmektedir. Artık hurda parça zımbaya temas etmemektedir ve –Z yönünde hızla ilerlemeye devam etmektedir. Burada zımba hızından (250m/s) daha hızlı olduğu görülmektedir.

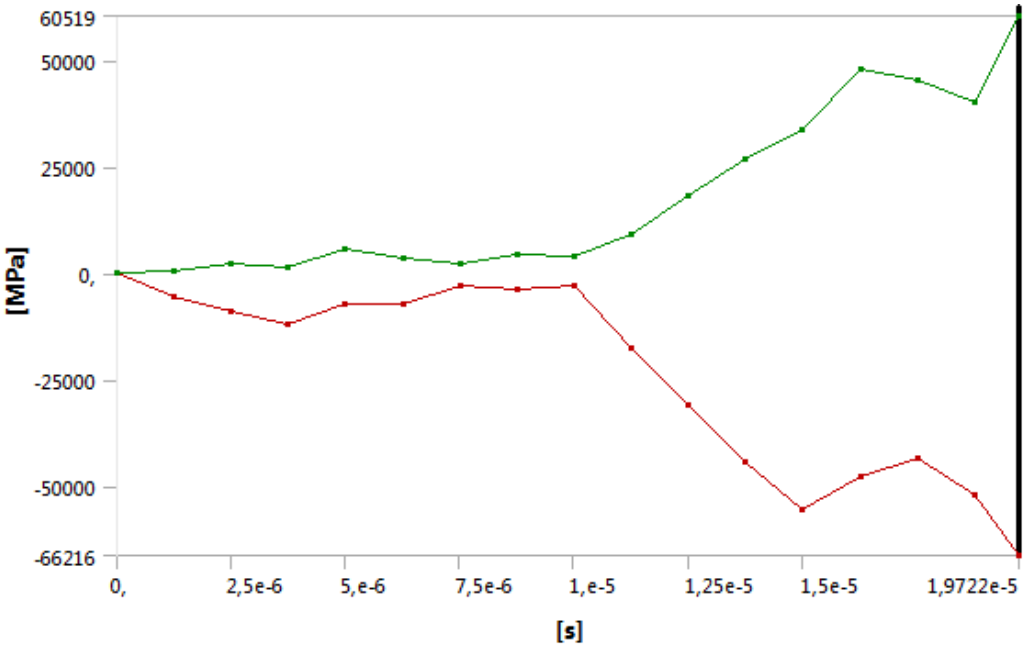
Beşinci ve altıncı resimler birbirinin aynı gibi görünse de zımba ucu kalıp deliği içinde ilerlerken kalıp boşluğu bırakılmadığında oluşan sürtünme sonucu zımba ucundaki elementlerin kaybolduğu yani zımba ucunun kenarının aşındığı görülmektedir.



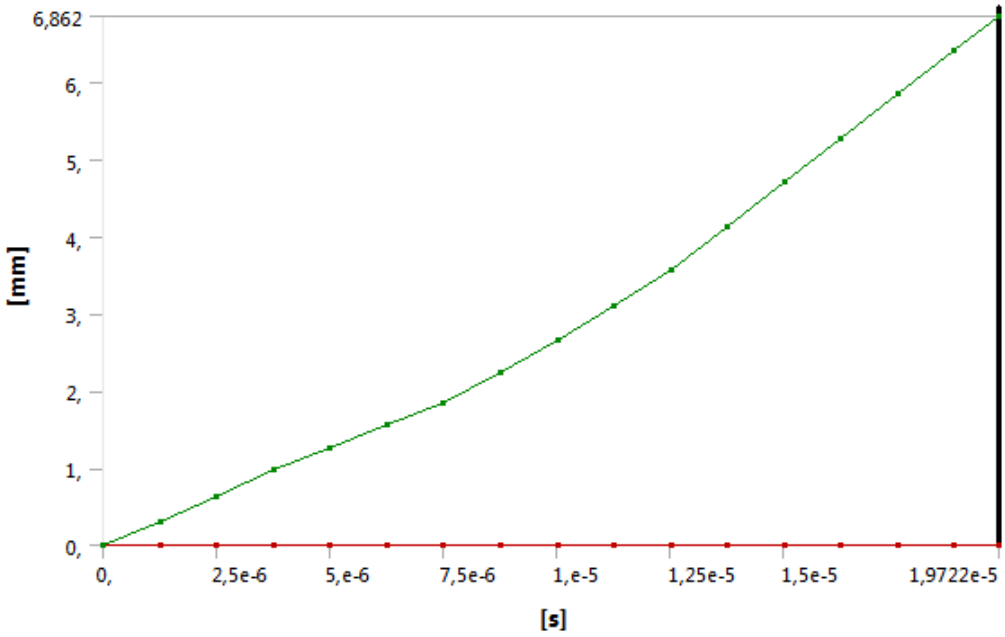
Şekil 4.4 Zaman içerisinde Von-Mises gerilim değişimi

Şekil 4.4'te 2×10^{-5} sn'ye kadar modelde meydana gelen Von-Mises gerilim artışı gösterilmektedir. $0{,}5\times10^{-5}$ sn'ye kadar düşük trendli fakat sürekli artış gözlenirken bu süreden sonra gerilme azalması $0{,}75\times10^{-5}$ sn'ye kadar gerçekleşmiştir. $0{,}5\times10^{-5}$ sn'ye kadar zımba sac parçayı kesmeye zorladığından dolayı gerilme değerinde düzgün bir artış olması normaldir. Şekil 4.5'de Normal gerilme-zaman grafiğinde simülasyon süresince benzer artış trendleri gözlemlenmektedir. Kesme sonrası gerilme ve gerinme değeri yüksek elementler kaybolmuştur. Bu nedenle zımbadaki zorlanma ve gerilme miktarları azalmaya başlar. Daha sonra 1×10^{-5} sn'ye kadar bir miktar artış ve azalış sonrası bu süreden itibaren yüksek trendli bir artış eğrisi gözlemlenmektedir. Bu süre zımba ucunun kalıp deliğinin kenarına temas ettiği ve sürtünmenin oluşturduğu muazzam gerilimden meydan geldiği düşünülmektedir. Zaten görsel olarak bu süreden sonra oluşan zımbadaki aşınma da Şekil 4.7'teki kontür plotlarda görülmektedir. Zımba malzemesi non-linear bir malzeme olmayan yapı çeliği olmasına rağmen deformasyon miktarının büyüklüğü zımba üzerindeki

elementlerde bozulmaya neden olmuştur. Bu da tasarımdaki ufak gibi görülebilecek kalıp boşluğu bırakılmaması gibi bir hatanın neden olduğu sonucu gözler önüne sermektedir.

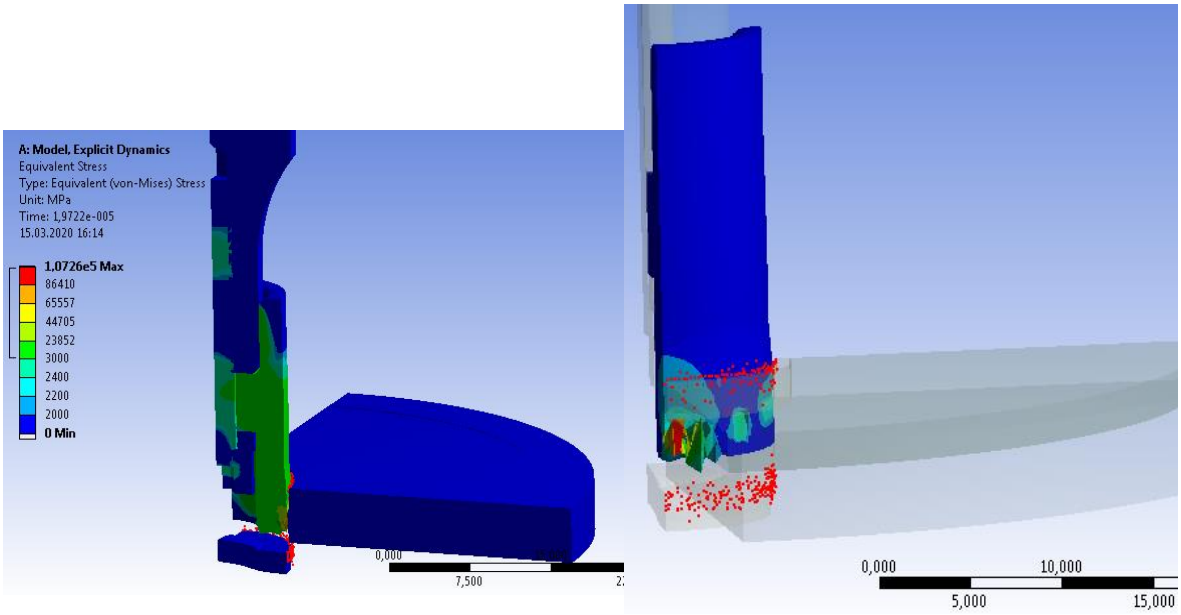


Şekil 4.5 Zaman içerisinde Z yönünde Normal Gerilme miktarı değişimi



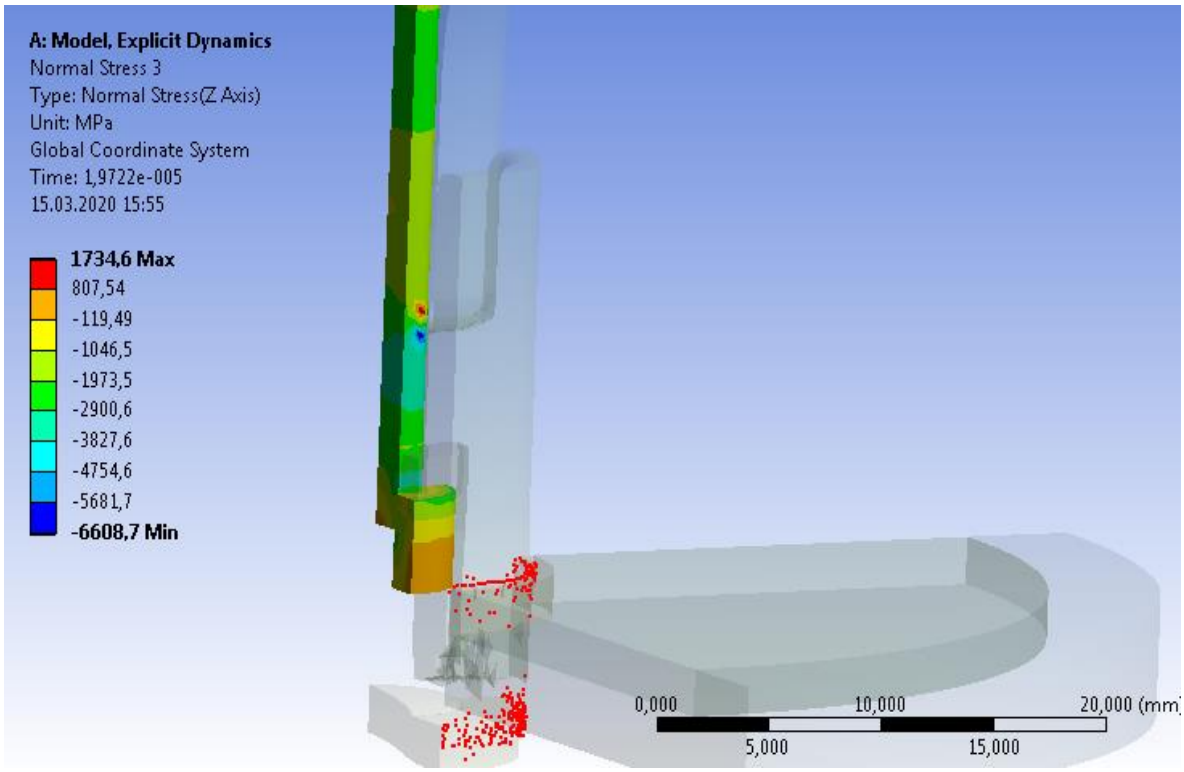
Şekil 4.6 Zaman içerisinde yer değiştirme miktarı değişimi

Zımbanın yaklaşık 2×10^{-5} sn içindeki yer değişimi miktarı ve trendi Şekil 4.6'de görülmektedir. Süre sonunda 250 m/s başlangıç hızıyla hareket verilen zımba toplam 6,862 mm yol katetmiştir. Trendin eğimi $0{,}5\times10^{-5}$ sn sonrasında hafif bir azalma eğilimi gösterse de genelde simülasyon süresince aynı kalmış olduğu görülmektedir.



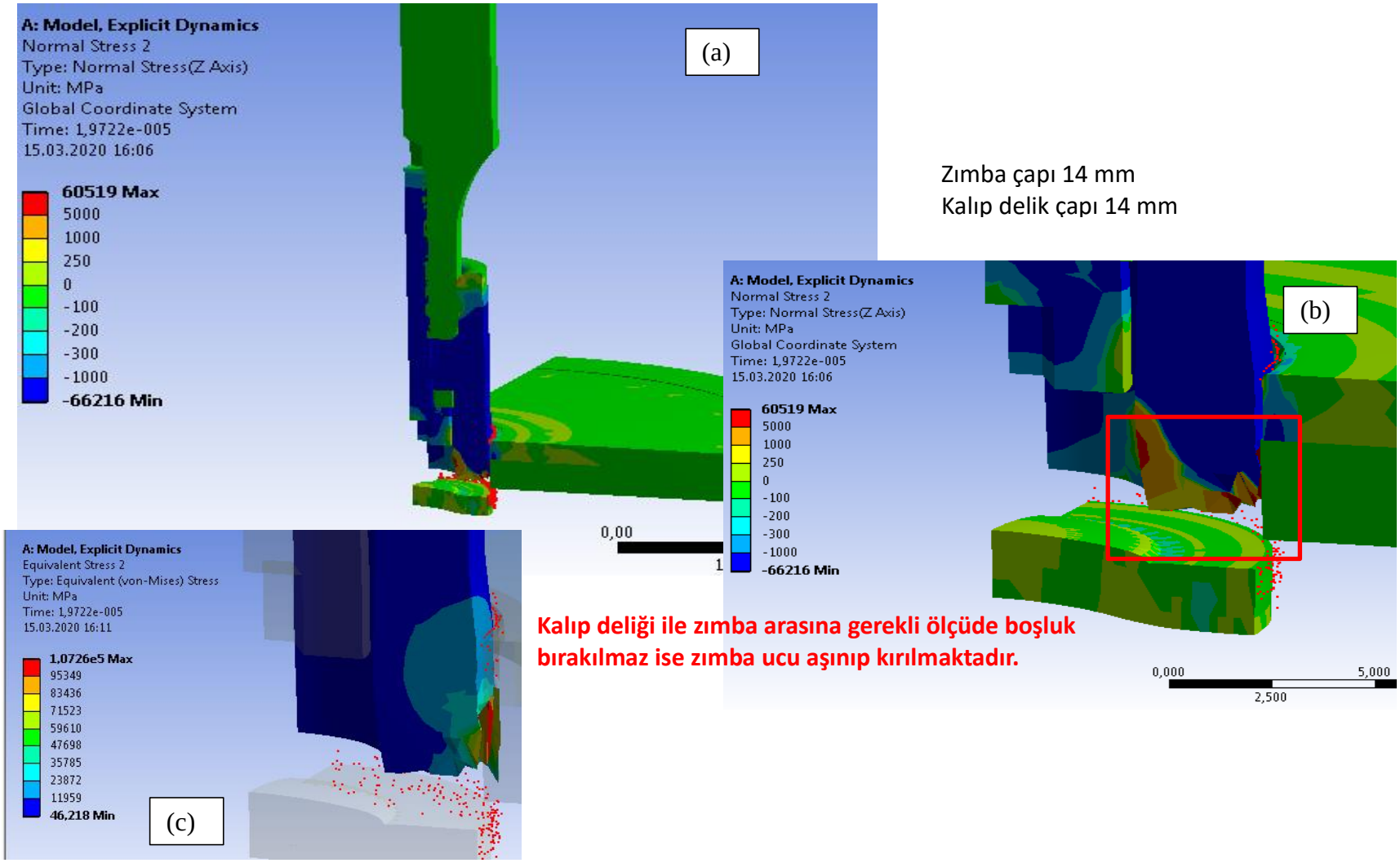
Şekil 4.7 Von-Mises gerilim kontür plotları – Zaman: 2×10^{-5} sn

Bu zımba ucunun aşınması olayı Şekil 4.7'deki Von Mises kontür plotunda ve Şekil 4.9'daki kontür plotlarda daha net bir şekilde görülmektedir. Bu esnada Şekil 4.8'te zımba ucunun gövdeye takılmasında kullanılan M4 cıvatanın gerilme dağılımı görülmektedir. Kritik bir eleman olan bu Imbus cıvata üzerinde kesme esnasında oldukça fazla gerilmeler oluştuğu Z yönündeki normal gerilmeler cinsinden görülmektedir.

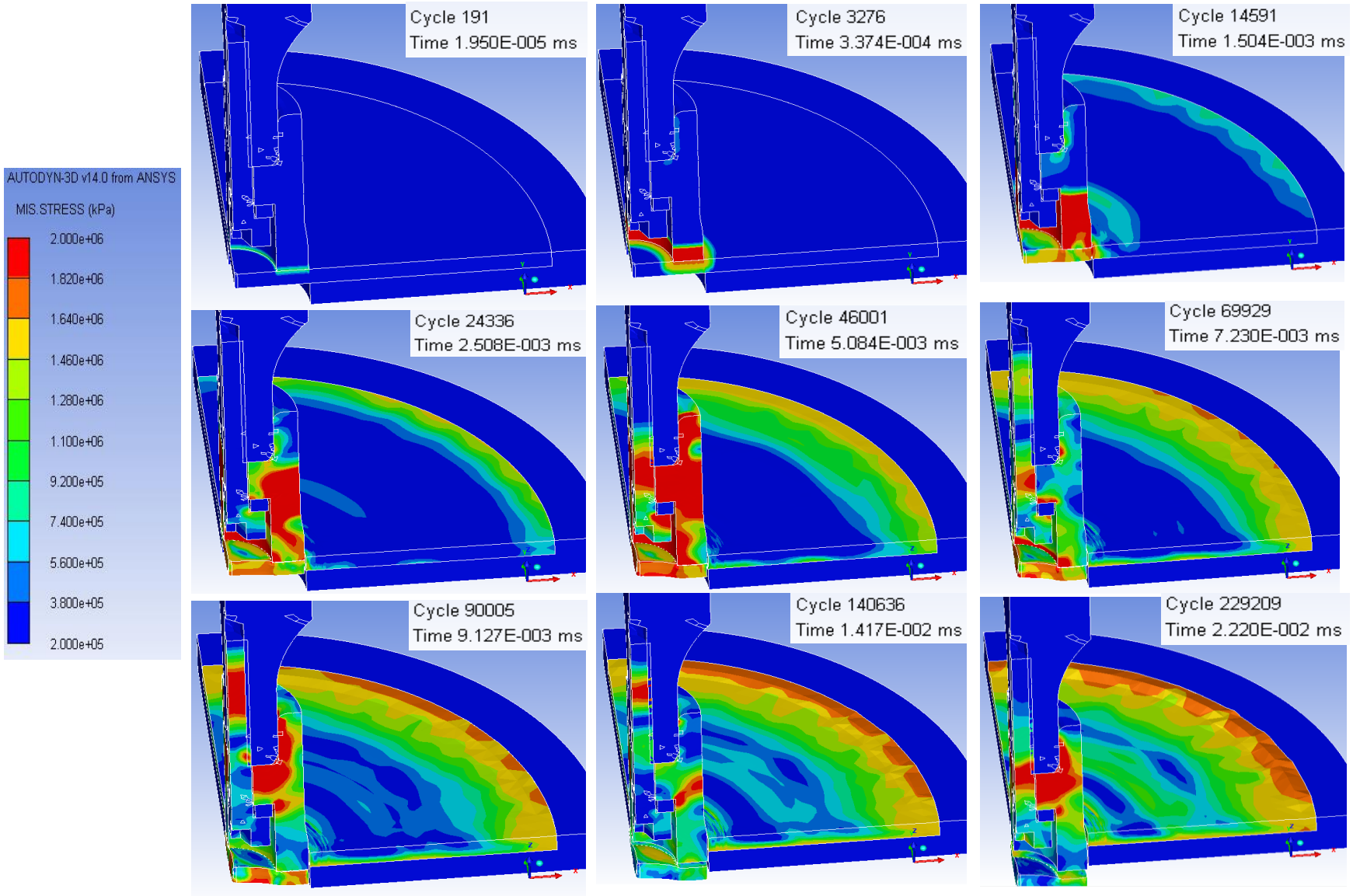


Şekil 4.8 Sacın zımba ile delinmesi simülasyonu çeyrek model üzerinde M4 Imbus cıvatanın üzerindeki Z yönündeki Normal gerilimin dağılımı

Şekil 4.10'da 0,1 mm kalıp boşluğu bırakılarak kalıp deliği çapı 14,2 mm yapılan modelin simülasyon sonuçlarını Von-Mises gerilim cinsinden çeyrek model üzerinde dağılımlarını gösteren kontür plotları paylaşılmaktadır. Toplamda $2{,}22 \times 10^{-5}$ sn süren simülasyonda 9 iterasyon aşaması ile zımba ile delme-kesme süreci anlatılmak istenmektedir.



Şekil 4.9 Sacın zımba ile delinmesi simülasyonu çeyrek model üzerinde zımba ucu üzerindeki (a)(b) Z yönündeki Normal gerilimi ve (c) Von-Mises gerilimi dağılımı



Şekil 4.10 Sacın zımba ile delinmesi simülasyonu farklı zaman ve döngüdeki Von Mises gerilim dağılımları

İlk karede görüldüğü gibi $1{,}95\times10^{-5}$ ms civarında zımbanın saca ilk teması gerçekleşmektedir. İkinci karede yani $3{,}37\times10^{-4}$ ms de zımba ucunun kesici kenarı ve bölgesinde gerilmeler artmaktadır. Bu gerilmelere tepki olarak sac parçada da benzer gerilmeler oluşmaya ve sonraki karelerde görüldüğü üzere giderek artmaya malzeme akma ve kopma dayanımı miktarlarını aştığı anda da sac parça kesilmeye başlamaktadır. Aynı zamanda zımba ucunda da yukarıya doğru gerilmeler giderek artmaktadır. Rijit kabul edilen nord lock pul, zımba gövdesi ve kalıp haricinde Imbus cıvata kısmen ve zımba ucu tamamen gerilimin etkisi altında kalmaktadır. Kesilen parça sacdan ayrıldıktan sonra zımba ucundaki gerilme miktarında azalma gözlenmektedir. Kalıp boşluğu olan 0,1 mm zımba ile kalıp arasına bırakıldığı için sürtünmeden oluşan gerilme de bu simülasyonda görülmemektedir. Dolayısıyla Şekil 4.10'daki gerilme skalasında, daha önceki kalıp boşluğu bırakılmayan modelin simülasyonundaki gerilme değerlerine göre çok daha düşük değerler göstermektedir. Bu nedenle bu simülasyonda zımbada aşınma ve kırılma görülmemektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Otomotiv ana sanayi ve yan sanayisinde üretimde zamanla yarışılmaktadır. Zaman çok kıymetlidir. Yıllık yüzbinler mertebesindeki parça üretim adedini yakalamak için ve seri imalatta zamandan kazanmak için progresif sac kesme kalıpları çok yaygın olarak talaşlı imalat ve diğer imalat yöntemlerine tercih edilmektedir. Birim üretim zamanını (takt time) minimize etmek için yapılan her araştırma ve geliştirme faaliyeti bu alanda çok kıymetlidir. Bu tez çalışmasında freze ve torna takımlarındakine benzer mantıkla sac metal kesme kalıplarında kullanılmak üzere bir yeni takma uçlu (insert) sac metal kesme zımbası geliştirilmiştir. Patent başvurusu (Ek A) da yapılan bu yeni ürünün geliştirilmesi için gerekli tasarımlar yapılmış ve detaylı bir şekilde paylaşılmıştır. Beş parçalı olarak geliştirilen bu zımba türünde varolan bilya kilitlemeli zımba türündeki zımba ucunun kolay sökülmemesi gibi problemler giderilmiştir ve hurda itici yay gibi ilave özellikler eklenerek geliştirilmiştir. Takma ucun takma çıkarma kolaylığı ve kısa zamanda yapılabilirliği bu zımbanın en üstün yanıdır ancak bununla sınırlı değildir. Bir de emniyetli olarak sabitlenmiş olmasını garanti etmek amacıyla Nord Lock kavrama pulu kullanılmıştır. Nord Lock pulları cıvatalı bağlantıları sürtünme yerine gerilim ile sıkıştırır. Sistem bir tarafında tırnaklar, diğer tarafında radyal dişler olan bir çift puldan meydana gelir. Ucun zımba gövdesine sabitlenmesi için takma cıvatasının yanı sıra bir de kolay sökülmesini sağlamak amacıyla bir boy büyük sökme cıvatası da bulunmaktadır. Örneğin, eğer sıkma cıvatası M4 ise bu sökme cıvatası M5 olacaktır. Zımba boyutuna göre sıkma cıvatası boyutu da artıp azalabilir. Ayrıca hurda itici yay gibi ilave edilerek diğer zımbalarda olmayan bir başka özellik daha sağlanmıştır.

Tasarım kullanım kolaylığı yani ergonomi ve maliyeti düşürmenin yanısıra mekanik dayanımı dikkate alınarak tasarlanmıştır. Bu amaçla CATIA bilgisayar destekli tasarım programı kullanılarak yeni geliştirilen takma uçlu zımbanın 3-Boyutlu BDT modelini ANSYS Workbench SEA programına aktarılmıştır. Analiz koşturma süresini azaltmak amacıyla ANSYS Workbench'te bulunan DesignModeler modülü arayüzünde 3-B tam model eksenel simetri varsayımı ile boyuna iki eksen ektrafında bölünerek 3-B çeyrek modele dönüştürülmüştür. Gerekli meşleme (bölüntüleme) ve malzeme tanımlamaları

yapıldıktan sonra diğer sınır koşulları ve kuvvet, hız gibi başlangıç koşulları ile birlikte eksenel simetri sınır koşulu atanarak bir dizi eksplisit dinamik analiz koşturulmuştur. Statik yerine dinamik analizin seçilmesinin amacı dinamik analizin zımbanın çalışma koşullarını daha doğru simüle etmesidir. Zımba kalıba bağlı olarak çalıştığı durumu ve kalıbın prese bağlı olarak presin uyguladığı zamana bağlı değişen basınca maruz kaldığı durumu simüle edilmiştir. Ancak simülasyonlarda üst kalıp ve pres modelleri kullanılmamıştır. Modelde sadece alt kalıpta sac parçanın bulunduğu kısım dahil edilmiştir. Zımbanın üst yüzeyinin ankastre mesnetle (üç eksende doğrusal ve dönel hareket sınırlaması) sabitlendiği sınır koşulu uygulanarak model hazırlanmıştır. Presin uyguladığı basınç zamana bağlı sinüsoidal bir fonksiyon olarak zımba gövdesinin üst alın yüzeyine uygulanmıştır.

Dinamik analiz özellikle eksplisit dinamik analiz modele, meş sayısına ve kullanılan iş istasyonunun performansına bağlı olarak saatler hatta günler sürebilmektedir. Bazı durumlarda analizin saatlerce koşturulmasından sonra yakınsama olmadığı da görülmektedir. Bu nedenle meş boyutu SEA yönteminde çok önemli bir faktördür. SEA modeli hazırlanırken çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmadaki modeller hazırlanırken kritik bölge olan zımba ve sacdaki kesmeye maruz kalan kenarlara yakın olan bölgeler çok daha küçük element boyutuyla meşlenmiştir. Tüm modelin element boyutu çok küçük yapılırsa analiz süresi çok fazla artacağından süreyi azaltmak maksadıyla zımba ve sacda kesme kenarlarından uzaklaşıldıkça element boyutu büyümektedir. Ayrıca zımba gövdesi ve kalıp gibi kısımlarda kaba meş kullanılmıştır.

Model hazırlanırken özellikle bu gibi bir dinamik analizde kesme işlemini doğru simüle edebilmek için kalıcı şekil değiştirme özellikleri tanımlanmış bir malzeme tanımlaması önem arz etmektedir. Bu nedenle bu modelde plastik şekil değiştiren değerleri tanımlı olan bir dorusal olmayan (non-linear) malzeme türü ANSYS Workbench malzeme kütüphanesinden seçilmiştir. İş parçası malzemesi elasto-plastik non-linear bir malzeme türü olarak V250 çelik tanımlanmıştır. Ayrıca diğer parçaların tümü kalıcı şekil değiştirmeye maruz kalmayacağı varsayımıyla lineer malzeme tipi olan yapısal çelik olarak tanımlanmıştır.

Zımbanın aşağı yönde bir kursluk kesme hareketi simüle edilmiştir. Zımbanın saca teması, kesmesi ve hurda kısmının sac çelikten ayrılması işlemleri 20 µs gibi kısa bir sürede meydana geldiği elde edilen sonuçlardan görülmektedir. Süre sonunda 250 m/s başlangıç hızıyla hareket verilen zımba toplam 6,862 mm yol kat etmiştir. İlk elde edilen simülasyon sonuçlarında modelde zımba ve alt kalıp arasındaki boşluğun az bırakılmasından dolayı zımba kenarı kesme esnasındaki şekil değiştirme nedeniyle alt kalıp deliğinin yüzeyine sürtmekte olduğu görülmüştür. 20 µs lik kursun yarısından itibaren Von Misses bileşik gerilme değerinin oldukça yükseldiği Von-Misses – Zaman grafiğinde açıkça görülmektedir. Kalıp boşluğu denilen zımba kesme kenarı çapı ve kalıp delik çapı arasındaki farkın yeterli olmamasının zımbanın ömrüne çok büyük etkisi olacağı bu sonuçlarda da görülmüştür. Kalıp deliği ile zımba arasına gerekli ölçüde boşluk bırakılmaz ise zımba ucu aşınıp kırılmaktadır.

En son modelde kalıp boşluğu olan 0,1 mm zımba ile kalıp arasına bırakıldığı için sürtünmeden oluşan gerilme de bu simülasyonda görülmemektedir. Grafiksel sonuçlarda görüldüğü gibi çok kısa sürede sac ve zımba ucunda ilk gerilmeler gerçekleşmektedir. Daha sonra zımba ucunun kesici kenarı ve bölgesinde gerilmeler artmaktadır. Bu gerilmelere tepki olarak sac parçada da benzer gerilmeler oluşmaya ve sonraki karelerde görüldüğü üzere giderek artmaya malzeme akma ve kopma dayanımı miktarlarını aştığı anda da sac parça kesilmeye başlamaktadır. Kesilen parça sacdan ayrıldıktan sonra zımba ucundaki gerilme miktarında azalma gözlenmektedir.

Bu çalışmada eksplisit dinamik sonlu elemanlar analiziyle meş boyutunun etkisi ve farklı iki kalıp boşluğunda yeni geliştirilen zımbanın non-lineer sac metal parçayı keserken oluşan tepkileri Plastik gerinim ve Von-Misses gerilimleri cinsinden incelenmiştir. Eldeki imkanları elverişli kullanmak için belli varsayımlarla model basitleştirilmiştir. Örneğin zımba ucu lineer malzeme olarak ve zımbanın diğer parçaları rijit malzeme olarak kabul edilmiştir. İlerde faklı boyutlarda geliştirilen takma uçlu zımbanın simülasyon sonuçları elde edilerek çalışma devam ettirilebilir. Ayrıca gelecekteki çalışmalarda zımbanın farklı akma gerilmesi değerlerine sahip sac metal malzemeler kullanılarak ayrı bir çalışma daha yapılabilir.

KAYNAKLAR

Alloy, A., Dou, S., Xia, J. 2019. Analysis of Sheet Metal Forming (Stamping Process): A Study of the Variable Friction Coefficient on 5052. *Metals*.

Baki, A., Yetim, K., Uzunoğlu, G., Özden, O., Aydoğan, M. 2018. Transfer Pres Kalıpları İçin İnovatif Taşıyıcı Kol Simülatörü Geliştirilmesi. *Mühendis ve Makina*, *59*(692),: 68–85. Retrieved from https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/5_transferpres.pdf

Birath, F., Nilsson, A. 2006. *Topology Optimization of a Stamping Die*. Lund University.

CNS. 2012. Sac ve Progresif Kalıp Üretimi. Retrieved June 26, 2020, from http://www.otomotivsanayi.com/firma-detay/cns-makIna-kalIp/UmZQZA4y/index

Esener, E., Ercan, S., Yenice, M., Kaya, M., Fırat, M. 2014. Sac Metal Şekillendirme Prosesinde Deneysel Tasarım Yöntemi ile Parametre Hassasiyet Analizi. In *Makina İmalat Teknolojileri Kongresi*. https://doi.org/10.13140/2.1.2414.5605

Esener, E., Firat, M., Yenice, M. 2014. Sac Metal Şekillendirme Proseslerinde Geri Esneme Telafisi. In *OTEKON'14*. Bursa. https://doi.org/10.13140/2.1.4021.2161

Falconnet, E., Chambert, J., Makich, H., Monteil, G. 2015. Prediction of abrasive punch wear in copper alloy thin sheet blanking. *Wear*, (December 2017). https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.06.007

Fibro, K. 2018. Fıbro Katalog- Standart Kalıp Elemanları.

Hambli, R., Soulat, D., Chamekh, A. 2009. Finite element prediction of blanking tool cost caused by wear. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *44*, 648–656. https://doi.org/10.1007/s00170-008-1859-9

Hu, W., Yao, L. G., Hua, Z. Z. 2007. Optimization of sheet metal forming processes by adaptive response surface based on intelligent sampling method, *7*, 77–88. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.06.018

Li, J. Y., Nee, A. Y. C., Cheok, B. T. 2002. Integrated Feature-Based Modelling and Process Planning of Bending Operations in Progressive Die Design Integrated Feature-Based Modelling and Process Planning of. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, *20*(October), 883–895. https://doi.org/10.1007/s001700200212

Naskar, A. R., Kumar, S. 2017. Sımulatıon of Cup Drawıng by Dıfferent Methods. *International Journal of Engineering Science and Technology IJEST*, *9*(12), 1058–1068.

Nee, J. G. 2010. *Fundamentals of Tool Design Sixth Edition*. (W. Dufraine, J. W. Evans, & M. Hill, Eds.) (6th ed.). Dearborn Michigan: Society of Manufacturing Engineers.

Seid, K. 2014. Numerical Simulation Analysis and Fabrication of Drawing Die for Manufacturing Snipers Thrust Collar.

Shaikh, P. R. S., Gaonkar, R. R., Shaikh, A., Shaikh, M., & Shaikh, S. 2015. A Review on Factors Affecting the Sheet Metal Blanking Process. *Journal of Modern Engineering Research*, *5*, 71–76.

Sımulıa, D. 2016. *Abaqus Analysıs User's Guıde Volume II 2016* (Vol. II).

Tisza, M. 2015. Numerical Modeling and Simulation in Sheet Metal Forming Academic and Industrial Perspectives Numerical Modeling and Simulation in Sheet Metal Forming Academic and Industrial Perspectives Miklós Tisza. *Materials Science Forum*, *473-474* (*2*(March), 135–140. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.407

Vatansever, H., Kamaş, T., Güçlü, H., Yazıcı, M. 2019. Numerıcal And Experımental Study Of Dc04 Sheet Metal Formabılıty. In *The International Conference of Materials and Engineering Technology (TICMET'19)*. Gaziantep.

Wang, H., Chen, L., Enying, L. 2017. Time dependent sheet metal forming optimization by using Gaussian process assisted firefly algorithm. *International Journal of Material Forming*. https://doi.org/10.1007/s12289-017-1352-9

Wang, H., Yao, L. G., Hua, Z. Z. 2008. Optimization of sheet metal forming processes by adaptive response surface based on intelligent sampling method. *Journal of Materials Processing Technology*, *197*((1-3)), 77–88.

Xu, D., Chen, J., Tang, Y., Cao, J. 2012. Topology optimization of die weight reduction for high-strength sheet metal stamping. *International Journal of Mechanical Sciences*, *59*(1), 73–82. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2012.03.006

Yılmaz, T. 2014. *Kalıpçılık Sac Metal Kesme Kalıp Tasarımı ve Gerilme Analizi*. Aksaray Ünivesitesi.

YPS, O. 2020. YPS Otomotiv Pres Hattı. Retrieved June 26, 2020, from http://www.yps.com.tr/index.php?page=uretim&kat=14

Zhu, J. H., Gu, X. J., Zhang, W. H., Beckers, P. 2013. Structural design of aircraft skin stretch-forming die using topology optimization. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, *246*, 278–288. https://doi.org/10.1016/j.cam.2012.09.001

EKLER

Ek A: Patent Basvurusu

ERDEM KAYA PATENT
MARKA & PATENT VEKİLLERİ, AVUKATLAR

www.erdemkayapatent.com

TAKIMFORM METAL MÜHENDİSLİK SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		**Tarih:** 19.02.2020
İşlem Tipi: Patentinizin araştırma ve inc. talebi yapıldı	**Başvuru Konusu:** Zımba Ucu	
Ülke: TÜRKİYE	**Başvuru No:** 2019/19164	**EKP Ref:** TP19-1255
Son Durum: Resmi Araştırma Devam Ediyor	**Tamamlanma Yüzdesi:** 15	

Sayın **Bahtiyar TAŞKIN**,

Vermiş olduğunuz onay sonucunda 2019/19164 numaralı patent başvurunuzun resmi araştırma ve inceleme talebi işlemi Türk Patent ve Marka Kurumuna yapılmış ve ilgili diğer işlemlerinin de hiçbir sorun olmadan tamamlanmış olduğunu sizlere bildirmekten memnuniyet duymaktayız.

İlerleyen zamanda, başvurunuzla ilgili gerçekleşecek her türlü gelişme, açıklayıcı ön yazılarla tarafınıza derhal bildirilecektir.

Konuyu bilginize sunar, iyi çalışmalar dileriz.

Erdem Kaya Patent A.Ş.

Patent Birimi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Bahtiyar Taşkın
Doğum Yeri ve Tarihi	: Giresun / 21.12.1981
Yabancı Dili	: İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	: Giresun Mes. ve Tek. Anadolu Lisesi 1996-1999
Lisans	: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi 2001-2005
Yüksek Lisans	: Bursa Uludağ Üniversitesi 2017-2020
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	: Opsan Aş. 2005-2007
	Esalba Metal San. Aş. 2008-2010
	Beyçelik Gestamp 2010-2013
	Askar Makina 2013-2018
	Aka Otomotiv 2018-2019
	Takımform Metal Mühendislik 2019-
İletişim (e-posta)	: bahtiyartaskin@takimform.com
Yayınları	: