

ÜRETİM SÜREÇLERİNİN SAYISAL SİMÜLASYON YÖNTEMİ İLE ANALİZLERİ

Ali Baran Mete¹, Tuğçe Altinkaya², Mert Aygen³

1. GİRİŞ

Metal şekillendirme, kaynak ve eklemeli üretim süreçlerinde, uygulama sırasında yaşanan sorunlar ürün kalitesini etkilemekte, üretim verimliliğini azaltmakta, maliyetleri arttırmakta ve iş programlarının gecikmesine neden olmaktadır. Her geçen gün daha çok artan rekabet ortamında katma değeri yüksek ürünleri kısa sürede, en düşük maliyet ve en yüksek kalite ile üretebilmek için, üretim sahasında yaşanan sorunları ve buna bağlı meydana gelen duruşları en aza indirmek gerekmektedir. Sayısal simülasyon teknolojisi; şekillendirme hataları, kalıp kırılması, çarpılma, gibi olası üretim sorunlarının, tasarım aşamasında belirlenerek seri üretime geçmeden önce

hataların giderilmesine olanak sağlar. Bu yazıda metal şekillendirme ve kaynak süreçlerindeki hataların sonlu elemanlar analizleri ile nasıl saptanabileceğiyle ilgili bilgiler verilmektedir.

2. İMALAT SÜREÇLERİ

Bir parçanın istenilen şekle gelmesi, malzemenin üretilmesi ile başlar ve bir veya birden fazla üretim aşamasından sonra kullanılacak hale gelir. Parça formunun elde edilme şekline bağlı olarak, üretim süreçleri Resim 1'de gösterildiği şekilde gruplanabilir. Her üretim süreci için süreç tasarımı ve kullanılacak ekipmanların (ör: kalıp, maça, fikstür, v.b.) tasarımı, meydana gelebilecek sorunlar

Parça bütünlüğü yaratmak	Parça bütünlüğünü korumak	Parça bütünlüğünü kaldırmak	Parça bütünlüğünü arttırmak	
Form oluşturmak	Form değiştirmek			
1. Döküm ve Eklemeli İmalat	2. Şekillendirme	3. Talaşlı İmalat	4. Birleştirme	5. Kaplama

Resim 1. Üretim Süreçleri [2]

¹ Tasarım ve Analiz Mühendisi; NETFORM Mühendislik - abmete@netformmetal.com

² İş Geliştirme Mühendisi; NETFORM Mühendislik - taltinkaya@netformmetal.com

³ İşletme Müdürü; NETFORM Mühendislik - maygen@netformmetal.com

öngörülerek yapılmalıdır. Üretim süreç ve ekipman tasarımı, tüm üretim sürecinin maliyetinin yaklaşık %10'unu oluştururken, tasarım sürecinde verilen kararlar, toplam imalat maliyetinin %70'ini belirlemektedir [1].

3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM

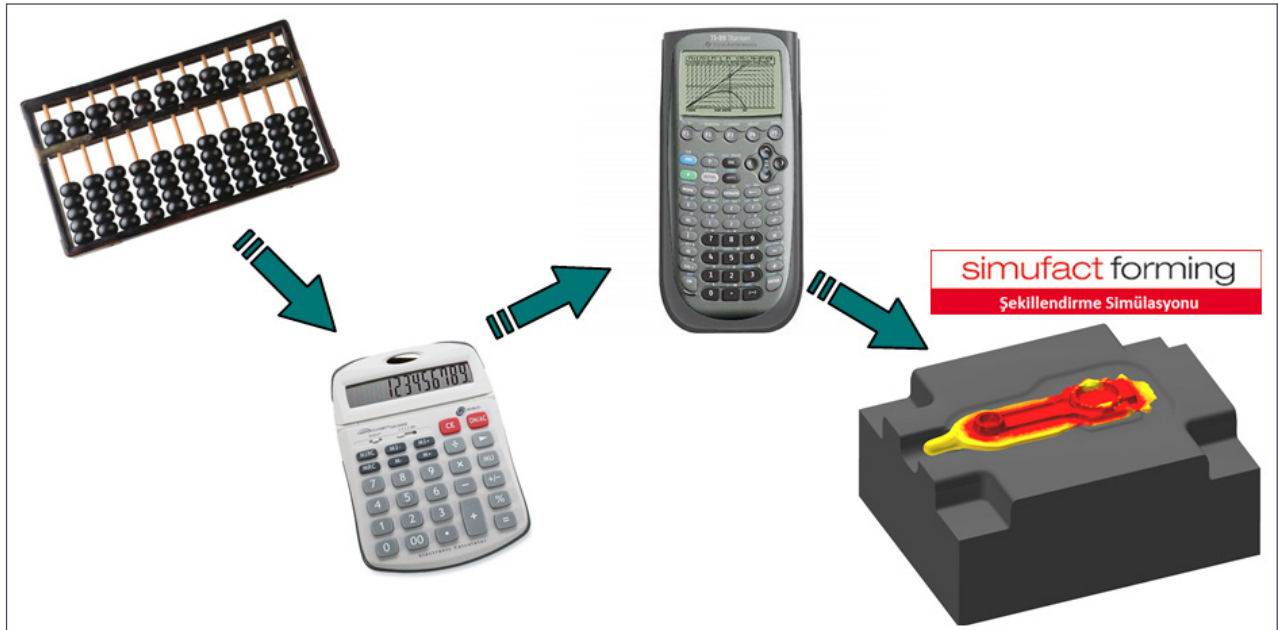
Tüm üretim süreçleri, süreç adımlarının ve kullanılacak ekipmanların belirlendiği tasarım çalışması ile başlar. Bu aşamada belirlenen uygulama adımları, kullanılacak malzemeler ve ekipmanlar; imalat maliyetini, seri üretime geçiş sürecini ve parça kalitesini belirlemektedir. 2000'li yılların başından itibaren bilgisayarların yaygın bir şekilde kullanılması ile birlikte, tasarım süreçleri kâğıttan dijital ortama taşınmış olup, bilgisayar destekli tasarım ("Computer Aided Design" - CAD) yazılımları desteği ile gerçekleştirilmektedir. Tasarım sürecinde, üretilen parça ve kullanılacak ekipmanların geometrik modelleri ve teknik resimleri oluşturulur. Buna ek olarak, kullanılacak malzemeler, kaplamalar, ısıtma/soğutma işlemleri, v.b. üretim sürecinin sınır koşulları belirlenir. Tüm bu çalışmalar, mühendislik yaklaşımları uygulanarak yapılmalıdır. Mühendislik, matematik ve bilimsel-ekonomik-sosyal-pratik bilginin; yapılar, makineler, araçlar, sistemler, parçalar, malzemeler, prosesler, çözümler ve organizasyonlara yönelik buluş, yenilik, tasarım, bakım, yapım, araştırma ve geliştirmesi için kullanılmasıdır [3].

Mühendislik uygulamalarında çeşitli teoriler ve matematiksel hesaplama yöntemleri kullanılarak, gerçek uygu-

lamada ortaya çıkacak sonuçlar önceden öngörülmeye çalışılmaktadır. Matematiksel hesaplamalar için eski zamanlarda abaküs kullanılırken, teknolojinin gelişmesi ile birlikte abaküsün yerini hesap makineleri almıştır (Resim 2). Geçtiğimiz 10 yıl içinde bilgisayar donanımlarındaki gelişmeler ve artan işlem kapasitesi ile birlikte sayısal simülasyon teknolojisinin kullanıldığı bilgisayar destekli mühendislik ("Computer Aided Engineering" - CAE) yazılımları, tasarım süreçlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

"Simülasyon"; gerçek bir sistemin modelinin tasarlanması, tasarlanan bu model ile sistemin davranışının anlaşılabilmesi ve farklı stratejilerin değerlendirilebilmesi için yürütülen deneysel çalışma sürecini belirtmektedir. "Sayısal simülasyon" ise, matematiksel yöntem ve teoriler kullanılarak gerçek bir sistemin modellenmesi ve belirlenen koşullar altında davranışının bilgisayar ortamında hesaplanmasına verilen addır.

Soğuk, ılık ve sıcak dövme, sac şekillendirme, sıcak profil haddeleme, sac haddeleme ("rollform"), perçinleme, kaynak ve eklemeli üretim gibi üretim işlemleri, tasarım aşamasında simüle edilerek parça, bilgisayar ortamında sanal olarak üretilebilir ve olası sorunlar malzeme kullanmadan ve herhangi bir ekipmana zarar vermeden saptanabilir. Bu sayede, üretim sahasında devam etmekte olan işlemleri kesintiye uğratmadan ve tezgâh üzerinde yüksek maliyetli deneme-yanılma çalışması yapılmadan, üretim işleminin tasarımı optimize edilebilir.



Resim 2. Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Hesaplama Araçlarının Gelişimi

4. METAL ŞEKİLENDİRME SİMÜLASYONLARI

Metal şekillendirme, metal malzemelerin belirli bir yük altında, kontrollü olarak kalıcı şekil değişikliğine uğratarak istenilen formun verildiği bir üretim yöntemidir. En yaygın olarak kullanılan metal şekillendirme işlemleri aşağıdaki şekilde listelenebilir.

- Soğuk, ılık ve sıcak dövme
- Sıcak profil haddeleme
- Rekvals ve çapraz kamalı haddeleme
- Sac şekillendirme
- Sac haddeleme ("Rollform")
- Yüzük haddeleme
- Elektro şişirme
- Açık kalıpta dövme
- Profil ekstrüzyonu
- Mekanik birleştirme
 - ▶ Perçinleme
 - ▶ Kenetleme

Resim 3'de gösterildiği şekilde yukarıda listelenen tüm metal şekillendirme süreçlerinin simülasyonları yapılabilir ve simülasyon yardımı ile aşağıda listelenen parametreler analiz edilebilir.

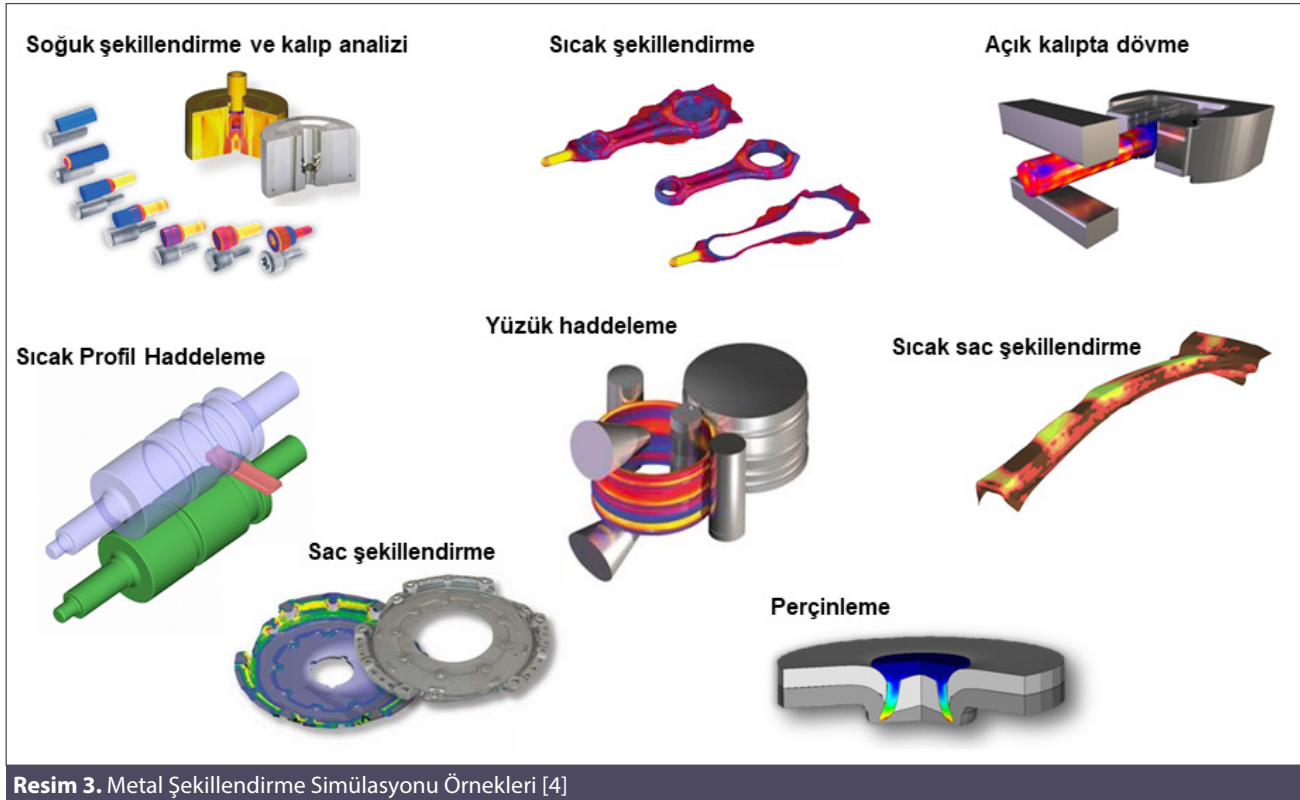
- Şekillendirme kuvveti ve torkları
- Malzeme akışı

- ▶ Katlanma
- ▶ Kalıp doldurma / doldurmama
- ▶ Çapak / fire
- ▶ Akış çizgileri (lif yapısı)
- Sıcaklık dağılımı
- Geri yaylanma
- Kalınlık değişimi
- Artık gerilmeler
- Sünek kırılma / çatlama
- Faz dönüşümleri
- Sertlik
- Tane boyutu

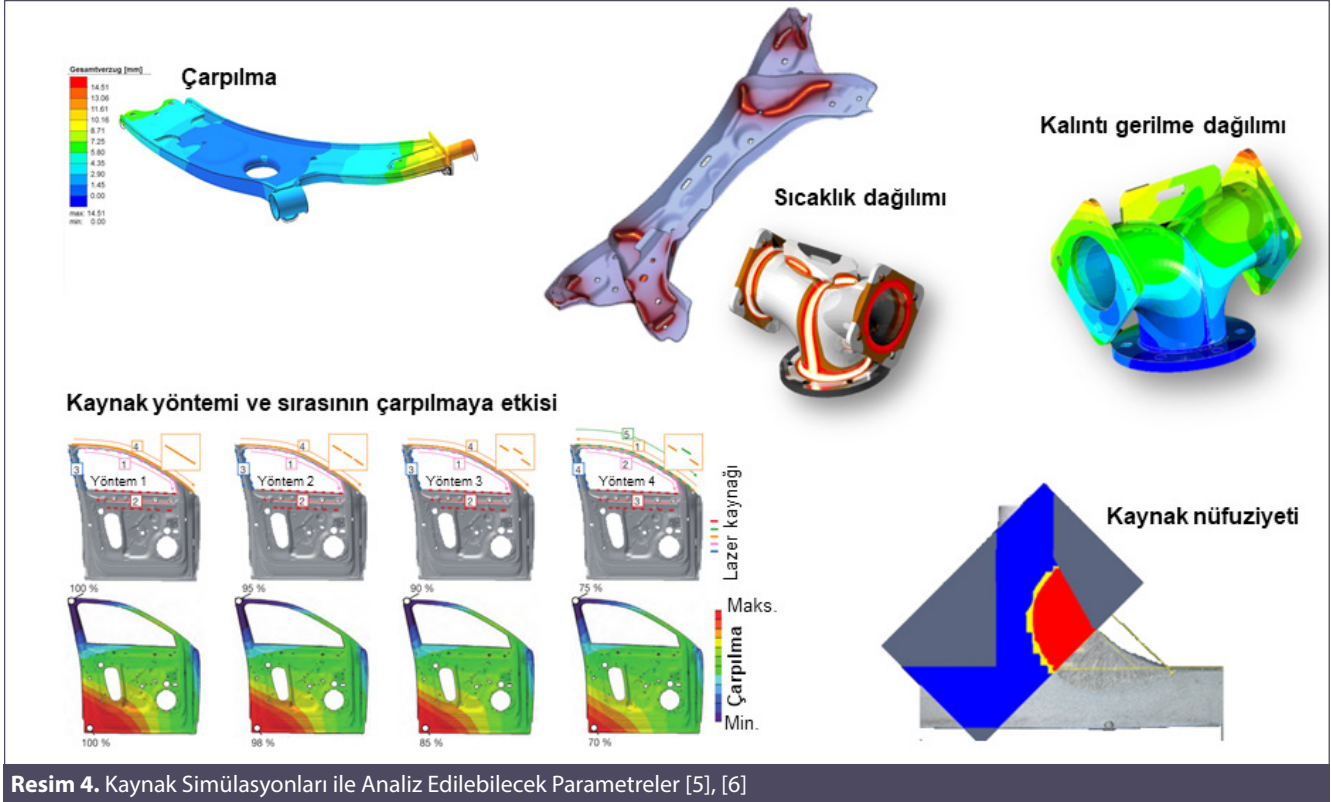
Üretilen parçaya ek olarak, üretim sırasında kullanılacak kalıp, makara, pim, takoz, v.b. ekipmanlar üzerindeki gerilmeler, deformasyonlar ve sıcaklık dağılımı da analiz edilebilir.

5. KAYNAK SİMÜLASYONLARI

Kaynak, ısı girdisi ile birden fazla parçayı kalıcı olarak bir araya getirerek, parça bütünlüğünü arttıracak şekilde ürün elde edilen bir üretim yöntemidir. Metal şekillendirme işlemlerinde olduğu gibi, farklı kaynak işlemlerinin de simülasyonları yapılarak üretim sanal olarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilebilir.



Resim 3. Metal Şekillendirme Simülasyonu Örnekleri [4]



Resim 4. Kaynak Simülasyonları ile Analiz Edilebilecek Parametreler [5], [6]

- Ark kaynağı (MIG, MAG, TIG vb.)
- Lazer kaynağı
- Elektron ışın kaynağı (EBW)
- Sert lehimleme ("Brazing")
- Direnç punta kaynağı (RSW)

Kaynak işlemi sonrasında gerçekleştirilen statik ve dinamik testler ile gerilim giderme ısı işlemleri de kaynak simülasyon yazılımı ile analiz edilebilir. Kaynak simülasyonları ile aşağıdaki işlem parametreleri incelenebilir (Resim 4).

- Ergime/nüfuziyet bölgesi
- Sıcaklık dağılımı
- Çarpılma miktarı
- Artık gerilmeler
- Faz dağılımı
- Sertlik

Kaynak simülasyon yazılımı ile ayrıca, kaynak sırası ve fikstür optimizasyonu yapılarak, çarpılmanın en az olacağı işlem parametreleri belirlenebilir. Söz konusu optimizasyon çalışmaları, analizlerin elle farklı kaynak sırası ve fikstür eleman sayısı ile revize edilerek çalıştırılabileceği gibi, Python programlama dili kullanılarak tüm işlemlerin otomatik olarak yapılacağı şekilde bir optimizasyon algoritması da oluşturulabilir.

6. SONUÇ

Bu yazıda üretim başlığı altındaki onlarca farklı yöntemden metal şekillendirme ve kaynak prosesleri ele alınmış olup, sayısal simülasyon yöntemiyle incelenebilecek parametreler hakkında bilgiler verilmiştir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak sayısal simülasyon yazılımları sürekli olarak geliştirilmekte ve artan işlem yeteneği ile yazılımların her yeni versiyonu ile daha kapsamlı analiz ve optimizasyon çalışmaları yapılabilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Simufact Engineering GmbH, Prof. Ehrlenspiel K., "https://www.simufact.com/our-business.html", Ocak 2022
2. DIN 8580 standardı, "Manufacturing processes - Terms and definitions, division", 01/09/2003
3. Wikipedia, "https://en.wikipedia.org/wiki/Engineering", Ocak 2022
4. Simufact Engineering GmbH, "https://www.simufact.com/simufactforming-forming-simulation.html", Ocak 2022
5. Simufact Engineering GmbH, "https://www.simufact.com/simufactwelding-welding-simulation.html", Ocak 2022
6. Thater R., Wiethop P. ve Rethmeier M. 2015. "Welding Simulation in Car Body Construction", Laser Technik Journal, 2/2015, s.33-37.