

EKSENEL SİMETRİK ALÜMİNYUM İNCE LEVHALARIN FARKLI PRESLEME YÖNTEMLERİYLE DERİN ÇEKME SINIR ORANLARININ TESPİT EDİLMESİ

Celal Onur Alkaş¹, Remzi Ecmel Ece²,
Süleyman Çavuş³
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara

Prof. Dr. Fahrettin Öztürk⁴,
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Havacılık sektöründe üretim adetlerinin az olması, buna karşılık parça çeşitliğinin fazla olmasından dolayı, hava aracının gövdesini oluşturan yapısal parçaların şekillendirilmesinde özel tezgahlar ve prosesler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, hava aracı üretiminde yapısal olarak kullanılan sac metal parça üretimi için kullanılan CVDI (Cavity Die) ve DWFM (Draw Form) tipi kalıpların kullanımının proses açısından ekonomikliği ve uygulanabilirliği, bu iki süreçte de karşılaşılan temel problemler olan yırtılma ve kırılma parametreleri açısından değerlendirilmiştir. Bu problemler incelenirken kullanılan malzemelerin derin çekme sınır oranları (Limiting Drawing Ratio, LDR) esas alınarak kıyaslamalar yapılmıştır. Havacılıkta en çok kullanılan alüminyum alaşımlarının, farklı kalıp tiplerinde şekillendirilmesindeki tüm süreçler birbiriyle LS-DYNA aracılığıyla sayısal olarak modellenerek karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda CVDI kalıp tipinin DWFM'a göre daha ekonomik olmasına karşılık, LDR yüksek ve daha karmaşık parçalarda DWFM tipi kalıpların daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Farklı alüminyum alaşımlı malzemeler için derin çekme sınır oranları sayısal olarak tespit edilerek kalıp ve proses tipine doğru karar verilmesini sağlayan bir metodoloji geliştirilmiştir.

GİRİŞ

Hava aracı platformlarında yapısal parçaların üretiminde sac malzeme kullanımı oldukça yaygındır. Hava araçlarının dış kabuğunu oluşturan büyük parçalardan, iki yapıyı birbirine bağlayan küçük bağlantı parçalarına kadar birçok farklı ölçü ve geometride parçalar kullanılmaktadır. Hava araçları bunun dışında, kütük malzemeden işlenerek şekil verilen destek yapıları ve ekstrüzyon yöntemi ile uçak geometrisine uygun olarak şekil verilen kaburga parçalarından oluşmaktadır [Green, D.E., 2004]. Mukavemet / ağırlık oranının çok önemli olduğu havacılık sektöründe yaygın olarak, 2XXX, 6XXX, 7XXX alüminyum alaşımları ve bu alaşımların farklı ısıl işlem yöntemleriyle iyileştirilmiş kondisyonları tercih edilmektedir [Jiang, W., 1990]. Sac metal şekillendirme uygulamaları, gerdirerek şekil verme, hidroform (hidrolik sıvı basıncı ile ve bir kauçuk ara yüz kullanılarak şekillendirme) ile şekillendirme, derin çekme, abkant bükme gibi bilinen belirli tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Literatürde bu proseslerin deformasyon mekaniğinin ayrıntılı incelenmesinden malzemenin deformasyon davranışına etkilerine kadar detaylı birçok çalışma ve araştırma bulunmaktadır [Pourboghra, Venkatesan, Carsley, 2013]. Buna karşılık şekillendirmede kullanılan bu spesifik yöntemlerin benzer geometrideki parçaların şekillendirilmesinde karşılaştırmalı analizleri üzerine çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Havacılık sektöründe, sac metallerin şekillendirilmesinde yaygın olarak hidroform ve derin çekme prosesleri kullanılmaktadır. Bu proseslerde işlem maliyetleri ile birlikte kalıp maliyetleri de birbirine göre farklılık göstermektedir. Proseslerin farklı deformasyon mekanizmalarından dolayı sac parçanın üzerinde işlem esnasında farklı deformasyon dağılımları oluşmaktadır. Bu durum, derin çekme sınır oranlarını etkilemektedir. Maliyet faktörünün yanı sıra, sac malzemenin derin çekme sınır oranının ve geometriye en uygun prosesin doğru bir şekilde tayin edilmesi; hatalı üretim sonucu ortaya çıkabilecek zaman ve malzeme kaybı gibi problemlerin ortadan kaldırılması için önemli bir parametre olarak kabul edilmelidir. Bu çalışmada belirli bir geometri üzerinden farklı derinliklerde

¹ Şef, Prototip İmalat Mühendisliği Böl., E-posta: celalonur.alkas@tai.com.tr

² Şef, İleri Malzeme Proses ve Enerji Teknoloji Merkezi, E-posta: reece@tai.com.tr

³ Müdür, Prototip İmalat Mühendisliği Böl., E-posta: scavus@tai.com.tr

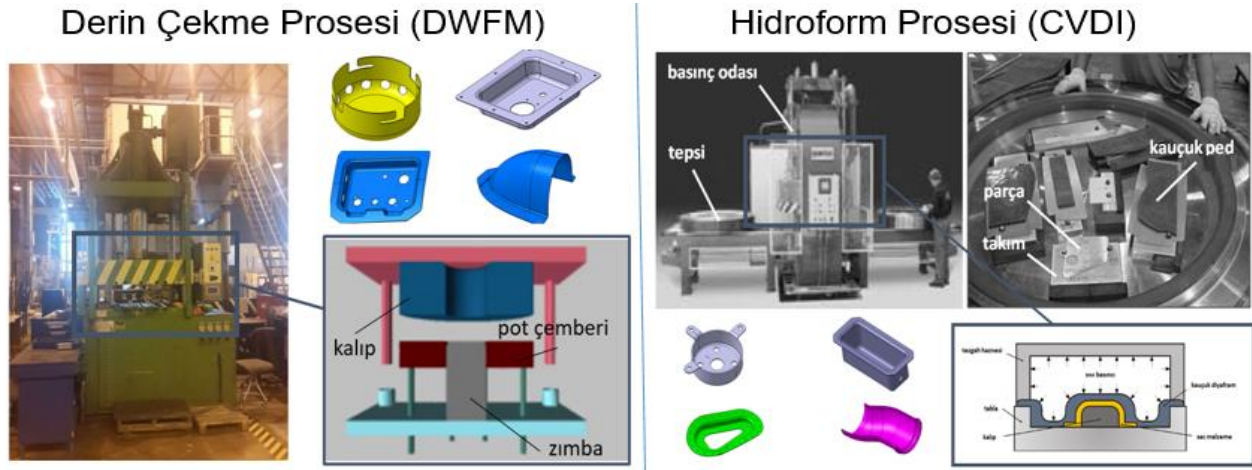
⁴ Başkan, Ar&Ge ve Prototip Operasyonları, E-posta: fahrettin.ozturk@tai.com.tr

sayısal ortamda analizler yürütülerek hidroform ve derin çekme yöntemleri ile farklı alüminyum alaşımlarının derin çekme sınır oranları süreç bazlı tespit edilmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışmada derin çekme (DWFM) ve hidroform şekillendirme (CVDI) süreçlerinde kullanılan kalıplar ile şekillendirme yöntemlerinin süreç değişkenleri ve bu değişkenlerin parça performansına etkileri araştırılmıştır (Şekil 1). Yöntem olarak iki farklı kalıp yöntemi ile üretilen parçaların üzerindeki birim deformasyon dağılımları incelenerek sayısal hesaplamalar ile kıyaslanmıştır.

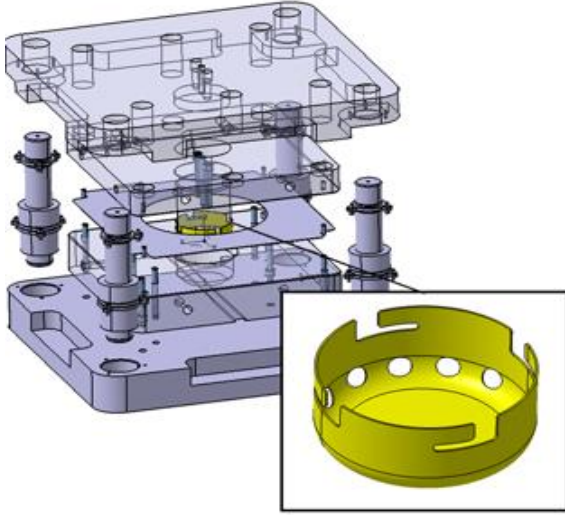
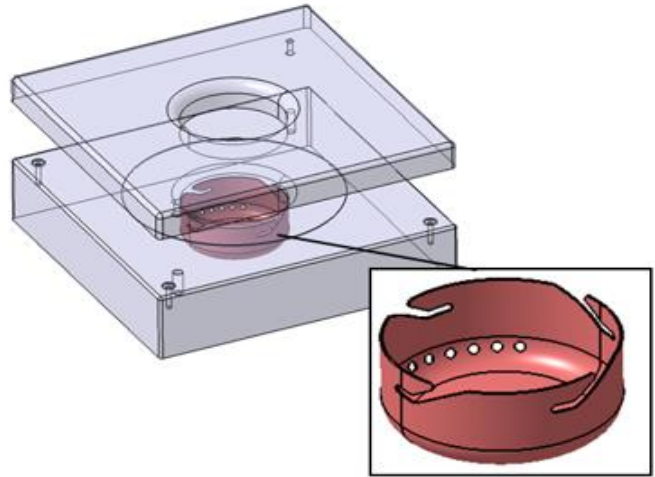
Şekil 1’de gösterildiği gibi derin çekme presinde DWFM kalıpları kullanılmaktadır. Bu işlemde pot çemberi ve dişi kalıp arasında gergin tutulan sac malzeme dişi kalıp üzerine erkek kalıbın (zımba) baskısı ile sıvanmaktadır. Bu proste kalıp, karmaşık ve dar toleranslar ile üretilmesi gereken alt/üst plakalar, dişi kalıp, erkek kalıp, pot çemberi, kılavuz pim ve burç bileşenlerinden oluşur. Derin çekme prosesinde deformasyon esnasında parça üzerinde çekme, basma, bükme, gerdirmeye gibi farklı deformasyon durumları oluşmaktadır. Pot çemberinin ise doğru parça üretiminde etkisi çok büyüktür. Pot çemberi kuvvetinin fazla olması durumunda yırtılma problemi, az olması durumunda ise parça kenarlarında kırışma gözlemlenmektedir. Bu proses için yapılan sayısal çalışma kapsamında sabit bir sürtünme katsayısında pot çemberi kuvveti için farklı iş parçası çapları için en uygun değer tespit edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Bu etkenlerin önceden tespiti için yapılan simülasyonlar doğrudan kalıp bileşenlerinin tasarımını etkilediği için, zaman ve maliyetten tasarruf sağlamak anlamında büyük önem arz etmektedir.



Şekil 1: Derin Çekme (DWFM, Draw Form) ve Hidroform Prosesleri ve Şekillendirilen Parçalar

Hidroform şekillendirme yönteminde, pres tepsi üzerine CVDI kalıbı yerleştirilir ve presin basınçlı hidrolik sıvısının bulunduğu hazneye tepsi sürülür ve kalıp üzerine kauçuk bir ara yüzey aracılığı ile basınç iletilir. Bu yöntemin en önemli avantajları, prese birbirinden farklı ve birden çok kalıbın yerleştirilebilmesi ve zımba ihtiyacının ortadan kalkması olarak tanımlanabilir. Bu sistemde de tasarlanan kalıplarda baskıyı kontrol altında tutabilmek için kalıbın bir bileşeni olarak baskı plakası tasarlanır ve kauçuk üzerine gelen baskı ile parçanın kontrollü olarak kalıbın içine sıvanması sağlanır. Bu uygulamada da kırışma ve yırtılmayı engellemek için kritik parametre sürtünmedir. Derin çekme operasyonundan farklı olarak işlem öncesi ayarlanmış olan sıvı basıncı, şekillendirme süresince sabittir. DWFM ve CVDI prosesleri deformasyon mekaniği açısından karşılaştırıldığında farklılık göstermektedirler. Şekil 2’de gösterildiği gibi, derin çekme prosesinde kullanılan DWFM kalıbı karmaşık bir kalıp setinden oluşmaktadır. CVDI takımında ise; kauçuk malzeme zımba görevi gördüğü için kalıp yapısı daha az detaydan oluşmaktadır. DWFM prosesinde işlem maliyetleri hem proses süreleri hem de tezgaha kalıp montaj süreleri açısından daha yüksektir. Tüm bu dezavantajlara rağmen, ayarlanabilir pot çemberi kuvveti ile şekillendirme oranları derin çekme prosesinde daha yüksek değerler elde edilebilmesini sağlamaktadır.

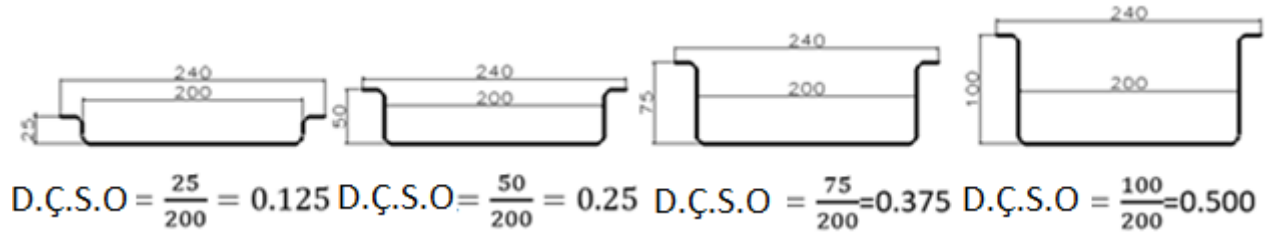
Farklı derinlik ve farklı malzeme özelliğindeki yapıların derin çekme sınır oranları DWFM ve CVDI yöntemleri için tespit edilerek, prosese karar vermede kullanılacak bir nomogram oluşturulması hedeflenmektedir. Sayısal hesaplamalar için hassas malzeme ve sürtünme modelleri kullanılarak yöntem olarak sonlu elemanlar analiz yöntemi tercih edilmiştir.

DWFM Kalıp Seti**CVDI Kalıp Seti**

Şekil 2: DWFM ve CVDI Kalıp Setlerinin Karşılaştırılması

Derin Çekme Sınır Oranı Tespiti

Derin Çekme Sınır Oranı (Limiting Drawing Ratio, LDR), parça geometrisinin derinliğinin, üretilecek parçanın iç çapına oranı olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmaların dışına çıkılarak; farklı alüminyum alaşımları için çap değerinin derinliğe oranı DWFM ve CVDI proseslerinde karşılaştırılmıştır [Cai, L. Yang, Yuan, Yang, Alexandrov, 2020]. Şekil 2’de bu çalışma için seçilen gerçek uçak parçası gösterilmektedir. Şekil 3’te ise analizlerde kullanılmak üzere oluşturulan D.Ç.S.O modelleri sunulmaktadır. Çalışmada yırtılma ve kırılma parametrelerinin kolay gözlemlenebileceği gerçek bir uçak parçası seçilip, iki farklı kalıp tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiş, tüm parametrelerin etkileri bu parçalar üzerinde belirlenmiştir [Bouchaala, Ghanameh, Faqir, Mada, Essadiqi, 2020].



Şekil 3: Farklı Derin Çekme Sınır Oranları (D.Ç.S.O) için Oluşturulan Modeller

Simülasyonlarda parça kalınlığı 2 mm, nötr ekseninde radyüs 8 mm; yarıçap 100 mm, derinlik ise 25 - 50 - 75 ve 100 mm alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. 2024-O, 2024-W, 6061-O, 6061-W, 7075-O ve 7075-W alüminyum alaşımlarına yönelik analizler yapılmıştır. Simülasyonlar için gerekli tüm deneysel veriler TUSAŞ tarafından yürütülen TÜBİTAK projeleri kapsamında oluşturulmuş veri tabanından alınarak kullanılmıştır. Sürtünme katsayısı girdisi olarak ise metal şekillendirme proseslerinde farklı yağlayıcı koşullarında sürtünmenin tespitine yönelik yapılan çalışmalardan faydalanılmıştır [Karadoğan, Alkaş, Hatipoğlu, 2013]. Parçaların yırtılma noktalarının tespiti için Şekillendirme Sınır Diyagramları’ndan (SSD) faydalanılmıştır [Alkaş, Hatipoğlu, Karadoğan, 2013].

Mekanik Malzeme Karakterizasyonu

Sonlu elemanlar yöntemi için hassas ve güvenilir bir malzeme modeli oluşturmak adına AA 2024, 6061 ve 7075 malzemelerinin ve farklı temperlerinin mekanik malzeme özelliklerinin tespitine yönelik çekme, hidrolik şişirme ve ŞLD testleri yapılmıştır. Elde edilen veriler malzeme modelinin oluşturulmasında ve sonlu elemanlar analiz sonuçlarının yorumlanmasında kullanılmıştır. Malzemelerin pekleşme davranışının analizlerde kullanılabilmesi için çekme testi ve hidrolik şişirme testi sonuçlarından faydalanılmıştır [Alkaş, 2013]. Standart çekme testleri, 2 mm kalınlığında belirtilen alüminyum alaşımlı tüm malzemeler için ISO 6892 standardına göre 3 tekrarlı olarak 0,01 sn⁻¹ birim deformasyon hızında yapılmıştır. Çekme cihazı 300 kN kapasiteli, Zwick/Z300 model ve harici ekstansometreli. Malzemelerin mekanik özellikleri Tabo1’de özetlenmiştir.

Tablo 1: Alüminyum Alaşımlı Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Sac Malzeme Kalınlık : 2mm	Akma Noktası (MPa)	Maksimum Akma Noktası (MPa)	Elastik Modülü (MPa)	Poisson Oranı	R0	R45	R90	K (MPa)	n
2024-W	139,7	356,31	67100	0,33	0,73	0,87	1,13	606,31	0,25
6061-W	74	184	62233	0,33	0,73	0,68	0,61	252,57	0,16
7075-W	140,36	336,89	69966	0,33	0,79	0,84	0,72	565,09	0,23

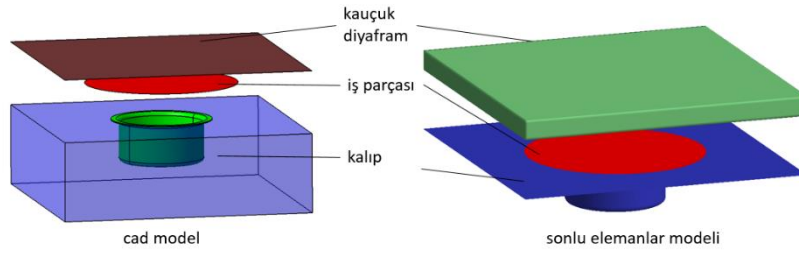
Çekme testi tek eksenli deformasyon durumunu ifade ettiği için, daha yüksek birim deformasyon oranlarında deformasyon davranışını elde etmek ve çekme testi sonuçları ile karşılaştırmak için hidrolik şişirme (HŞ) testleri de yapılmıştır [Güner, Tekkaya, 2009]. Çift eksenli deformasyon testleri için GOM-Aramis sistemi entegre edilmiş olan 60 kN kapasiteli Zwick/Roell BUP600 test cihazı kullanılmıştır. Test numunesi olarak 2 mm kalınlığında 200 mm kenar ölçüsünde numuneler hazırlanarak, numune üzerinden deformasyon dağılımını elde edebilmek adına stokastik markalama yapılmıştır. AA 6061-0 malzeme için 0,15 birim deformasyon değeri elde edilirken, hidrolik şişirme testi ile bu değer 0,4 birim deformasyon değerine ulaşmıştır. Her 2 test yöntemi ile tespit edilen sonuçlar birim deformasyon değerleri göz önüne alındığında farklılık göstermesine rağmen, birim deformasyon değerleri birbiri ile uyumludur. Sonlu elemanlar analizleri sonuçlarının yorumlanabilmesi için ŞSD testleri yapılmıştır. Bu diyagram tek eksenli gerilme durumundan çift eksenli gerilme durumuna kadar farklı deformasyon durumlarında malzemenin şekillendirme sınırlarını göstermektedir. Alüminyum alaşımlı malzemelerin farklı kalınlıkları için tek eksenli gerilme durumundan çift eksenli gerilme durumuna kadar deformasyon sınırlarını belirlemek amacıyla 7 ayrı geometriden oluşan Nakazima test numuneleri üretilmiştir. Testler GOM-Aramis entegreli 60 kN kapasiteli Zwick/BUP 600 cihazı kullanılarak ISO 12004-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler, alüminyum alaşımlarına yönelik yürütülen sonlu elemanlar analizinin yorumlanması için kullanılmıştır.

Sonlu Elemanlar Modeli

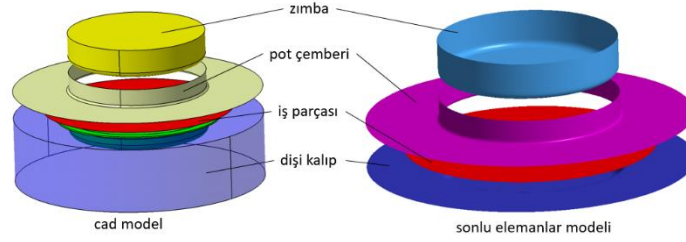
CVDI ve DWFM proseslerini karşılaştırmak için ticari bir yazılım olan LS-DYNA programı kullanılmıştır.

HidroForm Prosesinin Sayısal Modeli: Sonlu elemanlar modelinde kullanılan üç ayrı model Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekillendirme kalıbı (rijit), iş parçası (plastik deformasyona uğrayan kabuk) ve kauçuk (elastik deforme olabilen) modellenmiştir. İş parçası Belytschko-Tsay kabuk elemanları kullanılarak kalınlık boyunca 5 integrasyon noktası seçilerek modellenmiştir. İş parçasının malzeme modeli olarak Mat - 3 Parameter BARLAT modeli tercih edilmiştir. Kauçuk malzeme modeli için Mooney-Rivlin malzeme modeli kullanılmıştır. Temas algoritması olarak penaltı yöntemi ve Coulomb sürtünme katsayısı ($\mu=0,1$) kullanılmıştır. Simülasyonda explicit (açık) zaman entegrasyonu kullanılmış olup, kauçuk üzerine 80 MPa basınç uygulanarak model oluşturulmuştur.

Derin Çekme Prosesinin Sayısal Modeli: Sonlu elemanlar modelinde, diğer prosese göre modelden kaynaklanacak analiz farklarını ortadan kaldırmak için aynı parametreler kullanılmaya özen gösterilmiştir. Kullanılan üç ayrı model Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekillendirme kalıbı (rijit), iş parçası (plastik deformasyona uğrayan kabuk), zımba (rijit) ve pot çemberi (rijit) modellenmiştir. İş parçası Belytschko-Tsay kabuk elemanları kullanılarak kalınlık boyunca 5 integrasyon noktası seçilerek modellenmiştir. İş parçasının malzeme modeli olarak, MAT3 - Parameter BARLAT tercih edilmiştir. Temas algoritması olarak penaltı yöntemi ve Coulomb sürtünme katsayısı ($\mu=0,1$) kullanılmıştır. Simülasyonda explicit zaman entegrasyonu kullanılmış olup, farklı pot çemberi kuvvetleri ile optimum çekme parametreleri ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4: Hidroform Prosesi (CVDI) için Oluşturulan Sonlu Elemanlar Modeli



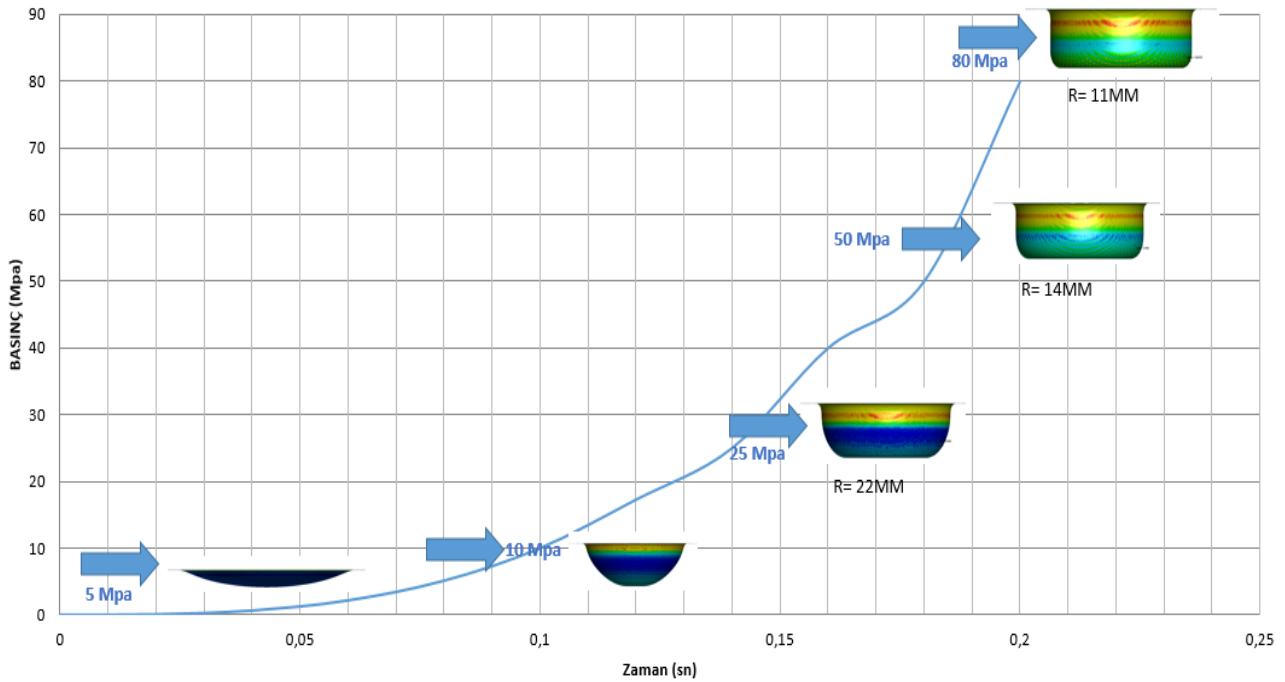
Şekil 5: Derin Çekme Prosesi (DWFM) için Oluşturulan Sonlu Elemanlar Modeli

UYGULAMALAR

Bu çalışmada hidroform ve derin çekme prosesleri sonlu elemanlar ortamında modellenerek; belirli bir iş parçası geometrisinin sadece derinliğini değiştirerek deformasyon kabiliyetleri incelenmiştir. Literatürde daha çok farklı proses parametrelerinin etkisini incelendiği bir çok örnek te bulunmaktadır [Takuda, Mori, Masuda, Abe, Matsuo, 2002]. İş parçası çapı, malzeme ve derinlik değerleri dışında tüm parametreler sabit tutulmuştur. Sayısal sonuçlar şekillendirme limit diyagramları ile yorumlanarak parçaların yırtılma durumları ve derin çekme sınır oranları tespit edilmiştir.

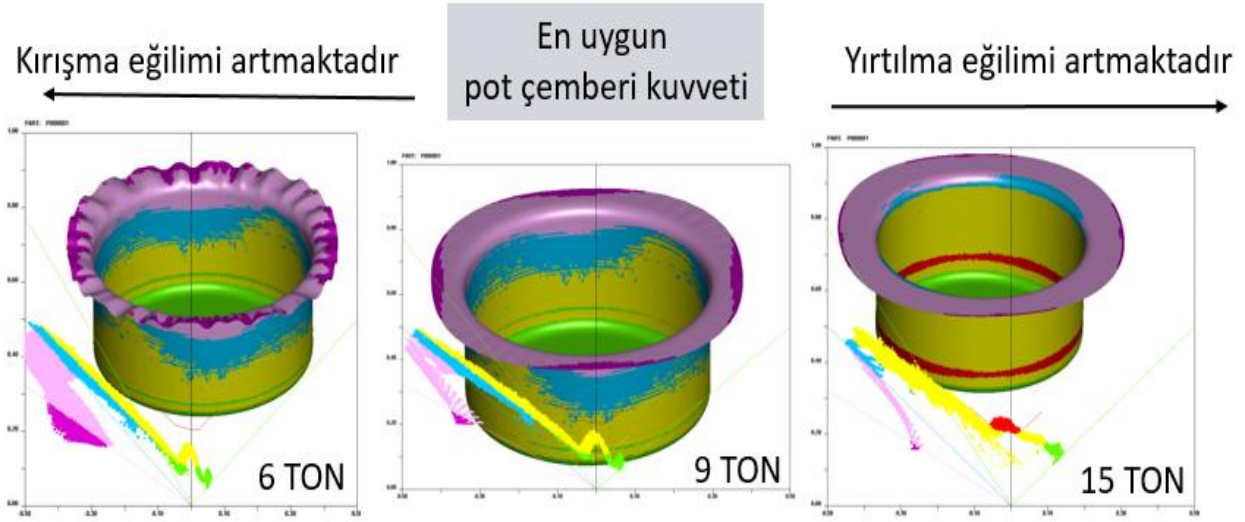
CVDI prosesi için kauçuk basıncı en önemli parametrelerden birisidir. Şekil 6'da gösterilen grafikte 80 MPa basınç değerinin nihai parça geometrisinin oluşturulması için en uygun değer olduğu tespit edilmiştir. CVDI prosesi için yapılan tüm analizlerde bu değer kullanılmıştır.

BASINÇ DEĞERİNİN ŞEKİLENDİRMEYE ETKİSİ



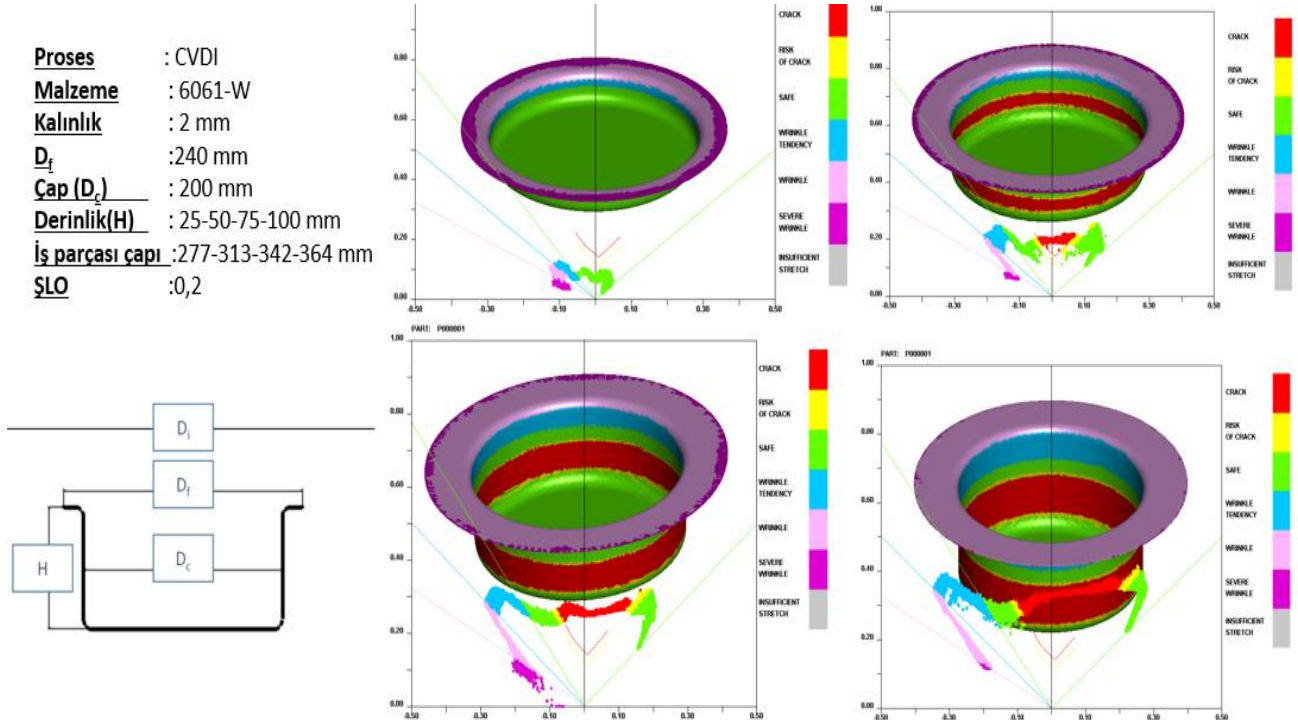
Şekil 6: CVDI Prosesinde Kauçuk Basıncının Optimize Edilmesi

DWFM prosesinde ise, pot çemberi kuvveti optimize edilerek 9 ton pot çemberi kuvvetinin belirlenen geometri için en uygun değer olduğu görülmüştür (Şekil 7). ve DWFM ile yürütülen tüm analizlerde iş parçası geometrisi için en uygun pot çemberi kuvveti tespit edilerek analizler yapılmıştır.



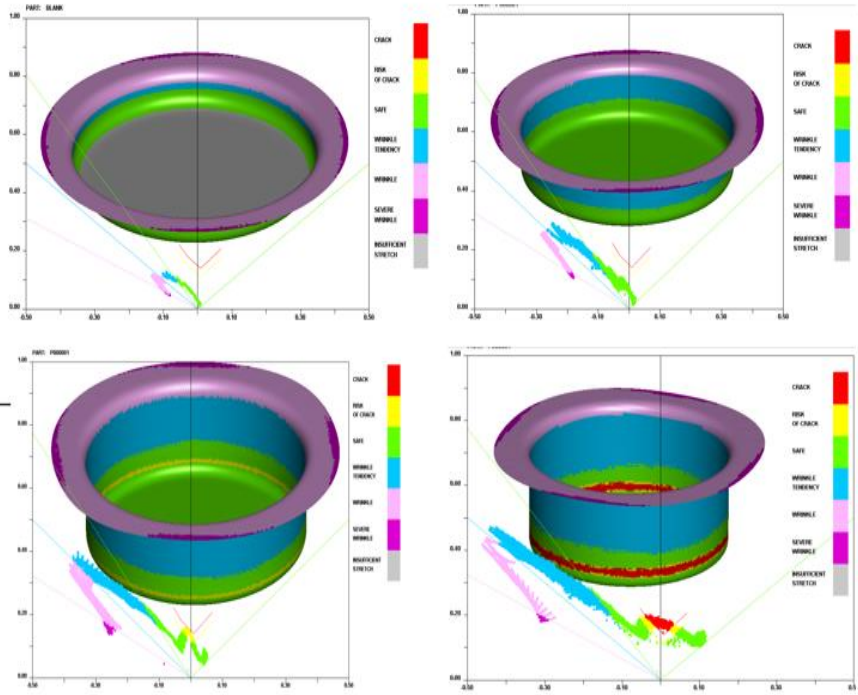
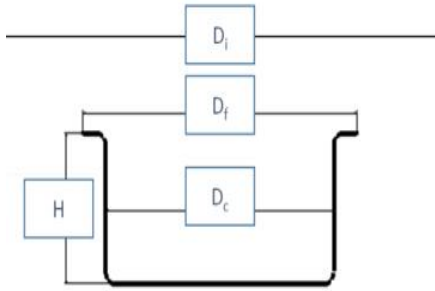
Şekil 7: DWFM Prosesinde Pot Çember Kuvveti Optimizasyonu

Şekil 8'de gösterildiği üzere; 2 mm kalınlığında 6061-W sac malzeme farklı derinlik değerlerinde hidroform prosesi ile sayısal ortamda şekillendirilmiş ve D.Ç.S.O değeri 0,2 olarak tespit edilmiştir. Derinlik/İç çap oranı belirtilen değer altında kalan geometrilerin CVDİ ile şekillendirilmesi uygun bulunmuştur. Şekil 9'da ise aynı geometriye sahip parça, optimum pot çemberi kuvveti ile derin çekme prosesi için yapılmış ve D.Ç.S.O değeri 0,43 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, 2024-0, 2024-W, 7075-0 ve 7075-W alaşımlı alüminyumlar için her iki proses göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da farklı alüminyum alaşımları için belirlenen geometri üzerinden yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen nomogram gösterilmektedir. Derinlik/İç çap değeri belirlenen eğrinin altında kalan geometriler için CVDİ prosesinin tercih edilmesi, eğrinin yukarısında kalan geometriler için ise DWFM prosesinin tercih edilmesi gerekmektedir.

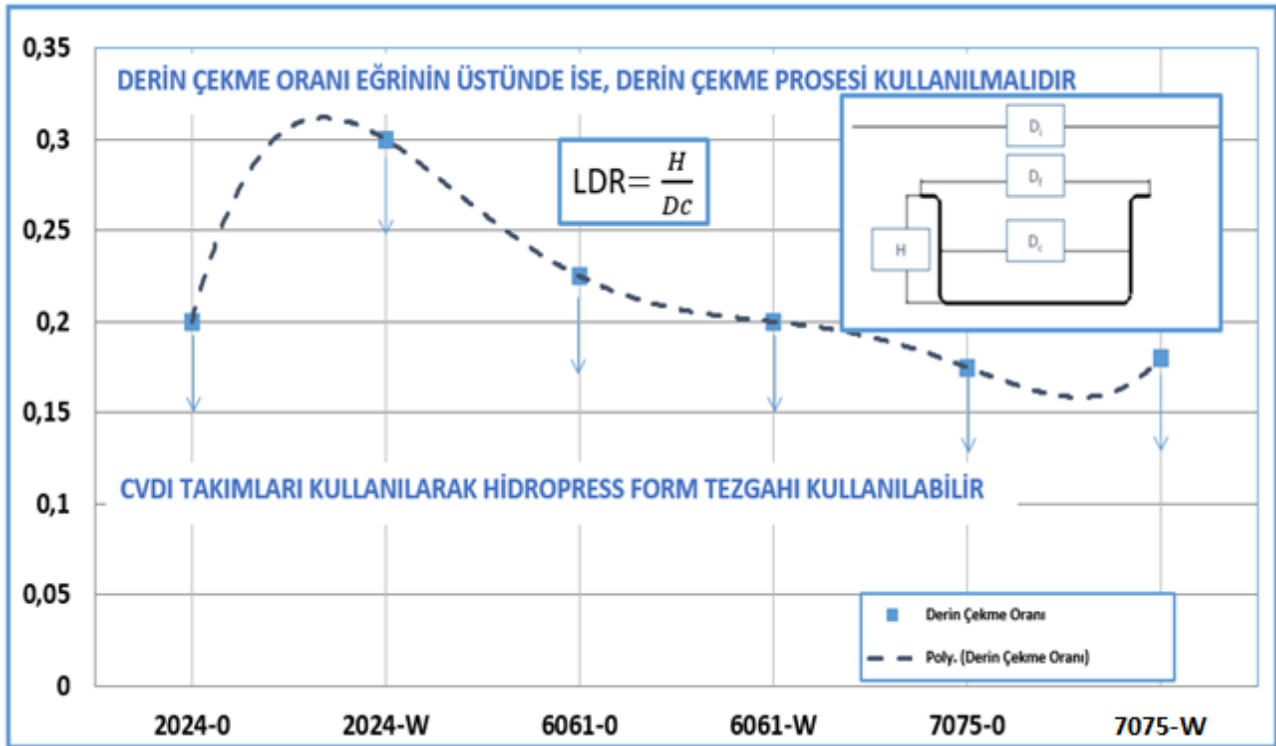


Şekil 8: 6061-W Malzemenin CVDİ Prosesi İle Farklı D.Ç.S.O'da Şekillendirilmesi

Proses : DWFM
Malzeme : 6061-W
Kalınlık : 2 mm
 D_i : 240 mm
Çap (D_c) : 200 mm
Derinlik(H) : 25-50-75-100 mm
İş parçası çapı : 277-313-342-364 mm
PÇ Kuvveti: : 4-6-7-9 ton
ŞSO : 0,430



Şekil 9: 6061-W Malzemenin CVDI Prosesi İle Farklı D.Ç.S.O'da Şekillendirilmesi



Şekil 10: Farklı Alüminyum Alaşımlarının D.Ç.S.O Oranlarının Belirlenmesi ve Nomogram ile Gösterimi

SONUÇ

Bu çalışmada, aksenal simetrik parçaların üretimi için kullanılacak prosese ve kalıp setine doğru karar verilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Belirli geometrideki aksenal simetrik parçanın farklı alüminyum alaşımlarına yönelik D.Ç.S.O'ları belirlenerek nomogram oluşturulmuştur. Hava araçlarında kullanılan detay parçaların üretim yöntemine karar verilmesinde elde edilen grafik referans olarak kullanılabilir.
- Hidroform prosesine uygun kalıplar (CVDI) maliyet açısından derin çekme (DWFM) kalıplarına göre daha uygundur. Belirli bir orana kadar CVDI kalıplarının kullanımı daha avantajlıdır. Ancak şekillendirme konusunda, DWFM prosesi ile daha yüksek sınır oranlarında parça şekillendirilebilir.
- Derin çekme yöntemi ile hidroform yöntemine göre daha derin parçaların şekillendirilebileceği tespit edilmiştir. Bunun en önemli sebebi pot çemberi kuvvetinin daha hassas kontrol edilebilir olmasıdır.
- Isıl işlemin D.C.SO.'na etkisi en çok 2024 alaşımında görülmektedir. W durumundaki parçanın 0 durumundaki parçaya göre şekillendirilmesinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

Alkas C. O., 2013. *Experimental and Numerical Study on Stretch Forming Process*. Master Thesis, Atılım University.

Alkaş C. O., Hatipoğlu H., Karadoğan C., 2013. *Experimental and Numerical Investigation of Stretch Forming Process for Aerospace Applications*. 7th International Conference on Design and Production of Machines and Dies/Molds (Diemolds), 19 - 25.

Bouchaala, K., M., F., Ghanameh, M., Faqir, M., Mada, E., Essadiqi, 2020. *Evaluation of the Effect of Contact and Friction on Deep Drawing Formability Analysis for Lightweight Aluminum Lithium Alloy Using Cylindrical Cup*. Procedia Manufacturing Vols.46, pp., 623–629.

Farhang, P., Senthilkumar V., J., E., Carsley, 2013. *LDR and hydroforming limit for deep drawing of AA5754 aluminum sheet*. Journal of Manufacturing Processes Vols. 15, pp, 600-615.

G., Cai, J., L., Yang, Y., Yuan, X., Yang, L., Lang, S., Alexandrov, 2020. *Mechanics analysis of aluminum alloy cylindrical cup during warm sheet hydromechanical deep drawing*. International Journal of Mechanical Sciences Vols.174 pp.,105-556.

Green, D.E., et al., 2004. *Experimental Investigation of The Biaxial Behaviour Of An Aluminum Sheet*. Int. J. Plasticity 20 (8-9), 1677 - 1706.

Güner, A., Brosius A., Tekkaya E., 2009. *Analysis of the HBT with FEA Concerning the Accuracy of the Determined Flow Curves*. Key Engineering Materials Vols. 410-411 pp 439 - 447.

Hatipoğlu H., Alkaş C. O., Karadoğan C., 2013. *Determination of Tool Motions in Stretch Forming Process for Aerospace Applications by Using Finite Element Method*. Key Engineering Materials Vols. 554 - 557, pp, 1451-1458.

Jiang, W., 1990. *Investigation of hydroforming sheet metal with varying blankholding loads*. Doctoral Dissertation, Ohio University The Faculty of the College of Engineering and Technology Ohio.

Karadoğan C., Alkaş C. O., Hatipoğlu H., 2013. *Determination of friction coefficients for various lubrication conditions in stretch forming process*. International Deep Drawing Research Conference (IDDRG).

Takuda, H., K.,Mori, I., Masuda, Y., Abe, M., Matsuo, 2002. *Finite Element Simulation of Warm Deep Drawing of Aluminium Alloy Sheet When accounting for heat conduction*. Journal of Material Processing Technology Vols. 120, pp., 412 - 418.