

Artımsal Şekillendirme Yöntemi İle Alüminyum Parçaların Şekillendirilmesi

*İsmail Durgun

TOFAŞ A.Ş. İstanbul Caddesi No:574 Bursa, Turkey

Özet

Ürün geliştirme aşamalarında ihtiyaç duyulan parçaların kısa sürede üretilmeleri önemlidir. Bu nedenle prototip parça üretimlerinde mevcut seri üretim sac şekillendirme yöntemleri kullanıldığında hem kalıp üretimlerinin uzun sürmesi, hem de yüksek maliyetli olmaları nedeniyle bir çok farklı sac parça üretim yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi de artımsal şekillendirme (Incremental Forming) yöntemidir. Artımsal sac şekillendirme (ASS) yönteminde dikey bir freze tezgâhı ucuna bağlanan yarım küresel bir ucun sabitlenmiş sac üzerinde gezerken baskı oluşturmaları neticesinde şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde uygulamalarında genellikle kalıp kullanılmaz. Fakat bazı durumlarda sacın geri yaylanma etkisini azaltmak için tek taraflı kalıp kullanılmaktadır. Bu çalışmada alüminyum levhadan kalıp kullanmadan artımsal şekillendirme yöntemi ile sac parça üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen parçadaki geometrik sapmalar incelenerek oluşan geri yaylanma durumu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: alüminyum geri yaylanma, artımsal sac şekillendirme, sac şekillendirme, prototip sac parça

Forming Aluminum Parts With Incremental Sheet Metal Forming Method

Abstract

Using sheet metal forming processes have become disadvantageous due to the long-time and high cost mold production in prototype component production. Therefore, various sheet metal component production methods were developed. One of these methods is incremental forming method. In incremental sheet forming, the tool, which can be attached to a CNC machine, a robot arm or similar, indents into the sheet follows a contour for the desired part. It then indents further and draws the next contour for the part into the sheet and continues to do this until the full part is formed. In general, mold is not used during forming process. In some cases, single-sided mold is used to in order to reduce the spring back effect. In this study, non-molded incremental forming method was performed. The spring back effect and geometric variations were investigated on aluminum alloy.

Key words: aluminum spring back, incremental sheet forming, sheet metal forming, prototype sheet metal part

1. Giriş

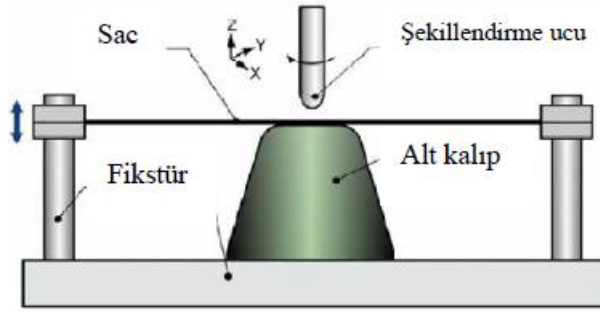
Birçok sektörde olduğu gibi otomotiv sektöründe de rekabet şartları her geçen gün artmaktadır. Bir yandan güvenlik beklentisini karşılamak için çok sayıda yeni sistem otomobillere eklenirken bir yandan da aracın daha az yakıt tüketmesi ve çevreye daha az zarar vermesi için hafifletilmesi istenilmektedir. Daha az yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarındaki iyileştirme için otomotiv üreticileri başlangıçta motor ve aktarma organlarının verimlerini arttırmışlardır. Bu çalışmalar yeterli olmayınca ilave olarak start / stop, aerodinamik sürtünme katsayısı daha düşük tasarımlar, bio yakıt kullanımı, lastik sürtünme katsayısında iyileştirmeler ve turbo şarj ilavelerini devreye alsa da istenilen seviye de bir egzoz emisyonu elde edilememiştir. Kanuni sınırlamalar ile belirlenen hedef değerlere ulaşılabilmesi için otomotiv üreticilerinin önlerinde yapılabilecekleri en önemli konu ağırlık indirimi olarak kalmıştır. Bu nedenle mevcutta kullanılan malzemelerden daha maliyetli olsalar da alüminyum, magnezyum ve kompozitlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Alüminyum güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, daha az yakıt tüketen çevre dostu bir otomobilin tasarımında kullanılabilecek en cazip yapı malzemesidir. Demirden 3 kat daha hafif olup özellikle Mg'la alaşımlandırıldığında mukavemeti önemli ölçüde artmakta, birim ağırlık için mukavemet değeri, çeliğinkini bile geçmektedir. Bunun yanı sıra birçok üretim ve imalat tekniğine uygunluğu, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, kolay işlenebilirlik, korozyona dayanıklılık, soğuk ve sıcak şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve geri kazanılabilirlik gibi özellikleri nedeniyle otomotiv endüstrisinde birçok uygulama için tercih edilmektedir [1].

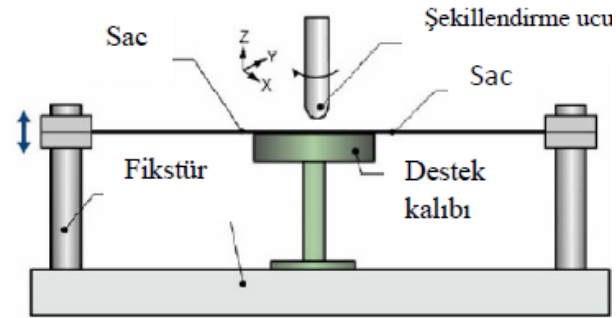
Otomotiv endüstrisinde küresel rekabetin gereği olarak bir ürünün pazara erkenden girip, kısa sürede mevcut ürünlerin yerini alması yönünde duyulan ihtiyaç ve gelen talepler, ürün geliştirme süreçleri üzerinde zamansal ve finansal baskıya yol açmakta, bunun sonucu olarak mühendisler sürekli olarak yenilikçi yöntem ve proses arayışına yönelmektedir [2]. Araç gövdesinin oluşturulmasında sac parça kullanımının ağırlıklı olması, fiziksel doğrulama süreci için hızlı ve düşük adetli üretim yöntemlerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır [3]. Sac şekillendirme imalat yöntemleri, prototip süreci ile birlikte, esnek imalat yöntemlerine duyulan ihtiyaç bakımından da ön plana çıkmaktadır. Araştırmalar sonucunda yapılan geliştirmeler ise, ilk olarak prototip imalat alanında uygulanmak suretiyle endüstriyelletirilmektedir. Fiziksel doğrulama ve fonksiyonel test gerektiren ürünler için bu işlemler, seri üretim öncesi, düşük hacimli / prototip imalat teknikleri kullanılarak imal edilen parçalar üzerinde yürütülmektedir. Prototip parça ihtiyacı doğduğu durumlarda mevcut seri üretim sac şekillendirme yöntemleri kullanıldığı zaman hem kalıp üretimlerinin uzun sürmesi, hem de yüksek maliyetli olmaları nedeniyle dezavantajlı olmaktadır. Seri üretimde kullanılan kalıplara alternatif olarak daha ucuz, daha kolay üretilen ve geri dönüşümü daha az enerji ile gerçekleştirilebilecek olan malzemelerden üretilen kalıplar araştırılmakla birlikte [4], özellikle son yıllarda giderek artan bir şekilde artımlı sac şekillendirme (ASŞ) yöntemleri belirgin bir şekilde ön plana çıkmaya başlanmıştır.

Artımlı Sac Şekillendirme (ASŞ) tekniği, kalıp kullanmadan ya da tek taraflı kalıp (master) kullanarak, çevresel olarak sınırlandırılmış ve sabitlemiş saca, hassas bir şekilde kumanda

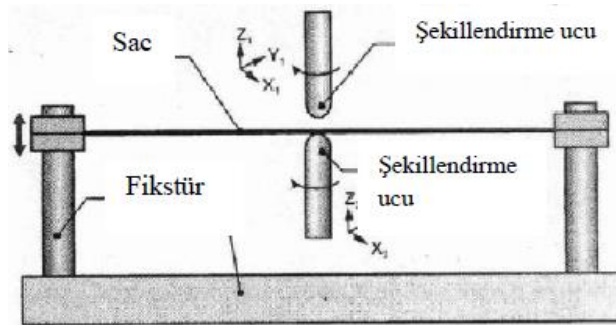
edilebilen bir dik/yatay işleme tezgahına bağlanan sac malzemenin üzerine bir veya birkaç noktadan baskı uygulanarak ve uygulanan baskı noktası kontrolü olarak hareket ettirilerek saca şekil verme işlemi olarak tanımlanmaktadır [5]. Bu yöntemde malzeme deformasyonu lokal ve artımlı olarak yapıldığından, şekillendirme kuvvetleri konvansiyonel proseslere göre oldukça küçüktür. Artımlı şekillendirme yaklaşımında kullanılan malzeme (sac, titanyum, plastik...), takım (HSS & karbür rijit takım, su jeti...) ve temas durumunda (tek nokta kontak, iki nokta kontak...) bağlı olarak farklı uygulama prosesleri vardır [6].



a) Yarı kalıp ile



b) Destek kalıp ile



c) Çift şekillendirme ucu ile

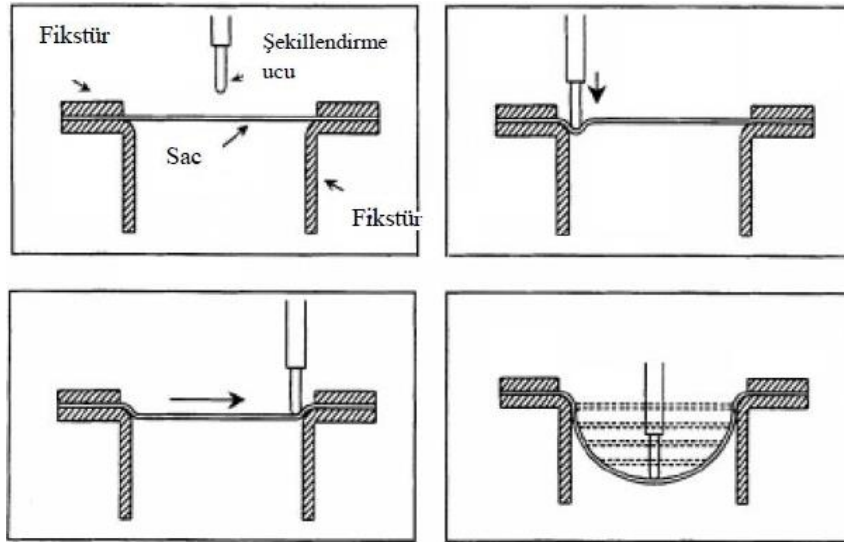
Şekil-1: Dik işleme merkezine bağlanan sac malzeme üzerinde yarı-kalıp ile AŞŞ [7]

Yöntemin CAD geometrisinden direk olarak yararlanılması, konvansiyonel yöntemlerdeki kalıp üretim maliyet ve zamanına göre avantajlı olması, prototip ve düşük adetli üretim yöntemleri için

tercih sebebi olmuştur. ASŞ yöntemi, çelik sac, alüminyum ve titanyum alaşımları, termoplastik, sandviç panel gibi çok çeşitli malzemeler üzerinde uygulamaları yapılmaktadır. Yöntem, otomotiv endüstrisinden farklı olarak, motosiklet, medikal, mimari, ev aletleri endüstrisi, havacılık ve denizcilik sanayinde de kullanılmaktadır [8].

ASŞ yönteminde genellikle kalıp kullanılmaz. Bazı durumlarda geri yaylanma etkisini azaltmak için tek taraflı kalıp kullanılmaktadır. Literatürde plakalar üzerinde, koni ve piramit geometriler üzerinde farklı takım yapısı, çapı ve devir parametrelerinin etkisinde şekillendirilebilirlik, yüzey pürüzlülüğü ve takıma gelen yüklerinin incelendiği çalışmalar yer almaktadır. Sabit uçlu, takım dönmeden yapılan şekillendirme işleminde yüzey pürüzlülük değeri en yüksek seviyeye ulaşırken, teflon kaplı yataklanmış serbest olarak dönebilen küre takım ise en düşük pürüzlülük değerini vermiştir. Takım çapı ve açılal adımıdaki artışın, şekillenebilirliği azaltıcı yönde etkilediği, takım ile sac arasındaki temas şeklinin ise etkili olmadığını tespit edilmiştir [9-12].

Bu çalışmada uygulanacak yöntem literatürde Tek Nokta Kontak (Single Point Incremental Forming - SPIF) olarak adlandırılan yöntem olacaktır. SPIF tek noktada kontak esasına dayanan, kalıp veya destek gerektirmeyen yöntemdir. Tek nokta ile form verme işlemi, sac sıvama (spinning) ve gerdirmeli form (stretch forming) verme tekniklerinin kombinasyonuna ilave olarak eksenel simetrisi olmayan parçalara da form verebilmektedir [10]. Düz sac, detayları Şekil 1’de gösterilen metal karkas üzerine, tutucu plaka ile sabitlenir. CNC dik işleme merkezi ya da frezede, küre uçlu takım kullanılarak form verme işlemi yapılır. SPIF yönteminde, sac altında destek ya da kalıp kullanılmadığından en az maliyetli ASŞ prosesidir.



Şekil 1. SPIF yöntemi ile parça üretimi için kullanılan ekipmanın kesit görünüşü [11]

2.Deneysel Çalışma

Bu çalışmada AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarından 6016 alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum

alaşımli levhalar 1 mm kalınlığında olup kimyasal bileşimi Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan 6016 levhaların kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
1,03	0,17	0,08	0,08	0,32	0,01	0,01

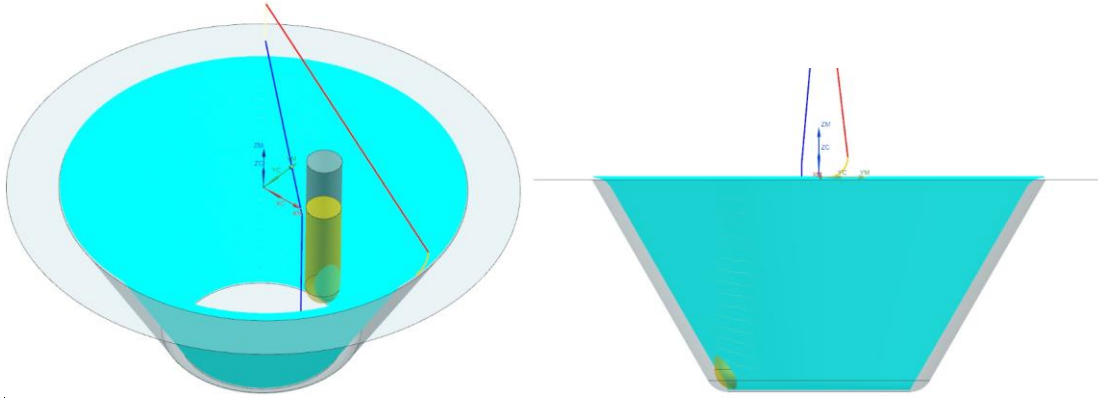
Çalışma kapsamında kullanılacak alüminyum malzemenin teknik özelliklerinin tespiti için öncelikle çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çekme testleri ZWICK 150 model çekme testi cihazında 250 mm ölçüm boyundaki numune üzerinden 20 mm/dak çene hızında uygulanmıştır. Çekme testi 3 kez tekrarlanarak ortalama mekanik özellik değerleri hesaplanmıştır. Yapılan bu testler sonucunda levhanın çekme testleri sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 6016 alaşımlı levhanın çekme testi sonrası mekanik özellik bilgileri

Akma Dayanımı (σ_A) [MPa]	Çekme Dayanımı (σ_C) [MPa]	Uzama (ϵ) [%]
120	230	24

Artımsal şekillendirme yöntemi ile CNC dik işleme merkezinde parça üretimini gerçekleştirebilmek için öncelikle takım yolunun oluşturulması gerekmektedir. Takım yolunun oluşturulması aşamasında ise takım yolu stratejisi (yöntem), işleme payı (stock), derinlik adımı (Δz), devir, ilerleme, takım çapı ve tip bilgilerinin tanımlanması gerekmektedir. Takım yolu oluşturma stratejisi, free form yüzeylerin işlenmesi için CAM programlarında genel olarak kaba ve finish operasyonlar olmak üzere sınıflandırılır. Birçok programda benzer stratejiler farklı isim ve alt operasyon seçenekleri ile birlikte sunulmaktadır.

Bu çalışmada Unigraphics NX 7.5 sürümü CAM modülü kullanılarak takım yolu oluşturulmuştur. Surface area helicel method (finish yüzey) yöntemi kullanılarak parça üretimi planlanmıştır. Bunun için finish işlemlerinde kullanılan yöntemlerden biri olan Surface Area yönteminde Drive Method olarak Helical seçildiği taktirde seçilen yönde takım hiç kalkmadan helisel bir ilerleme yapabilmektedir (Şekil 2). Yapılan program ile koni şeklinde üretilecek olan parçanın geniş kısmı 172 mm ve dar kısmı da 79 mm çapındadır. 80 mm derinliğindeki bu parçanın üretimi için 160 helisel dönme (number of stepovers) söz konusudur. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesinde 15mm çapında takım kullanılacaktır. Takımın ucu 7,5mm yarı çapında küre şeklindedir.



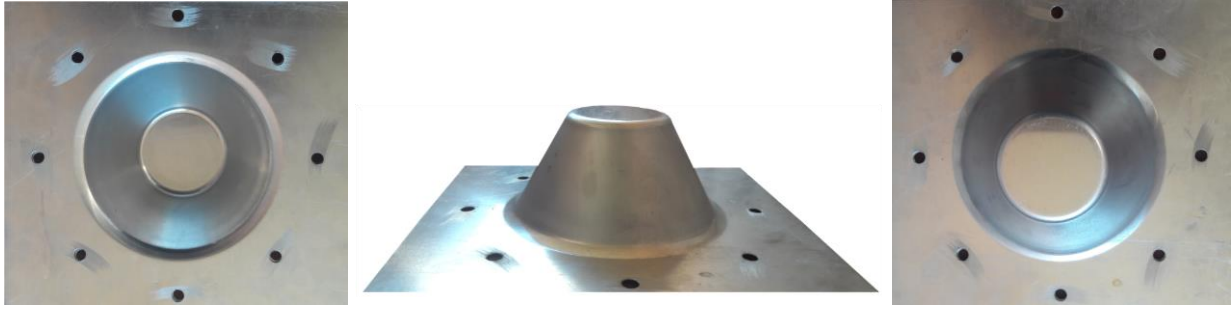
Şekil 2. Parça üretimi için takım yolu oluşturulması

Takım yolu belirlemesinden sonra parça üretimi için gerekli olan tutucu plakalardan oluşan CNC dik işleme merkezi tablası üzerinde sac plakayı tutacak bir aparatın üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Sac plaka aparatta alt ve üst tutucu plakalar arasına konumlanarak cıvatalı bağlantı ile sabitlenmiştir.



Şekil 3. Sac parça tutucu aparatın görseli

Belirlenen takım yoluna uygun olarak alüminyum levhaya şekil verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretim yaklaşık 8dk içerisinde gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında parçada yırtılma görülmemiştir.



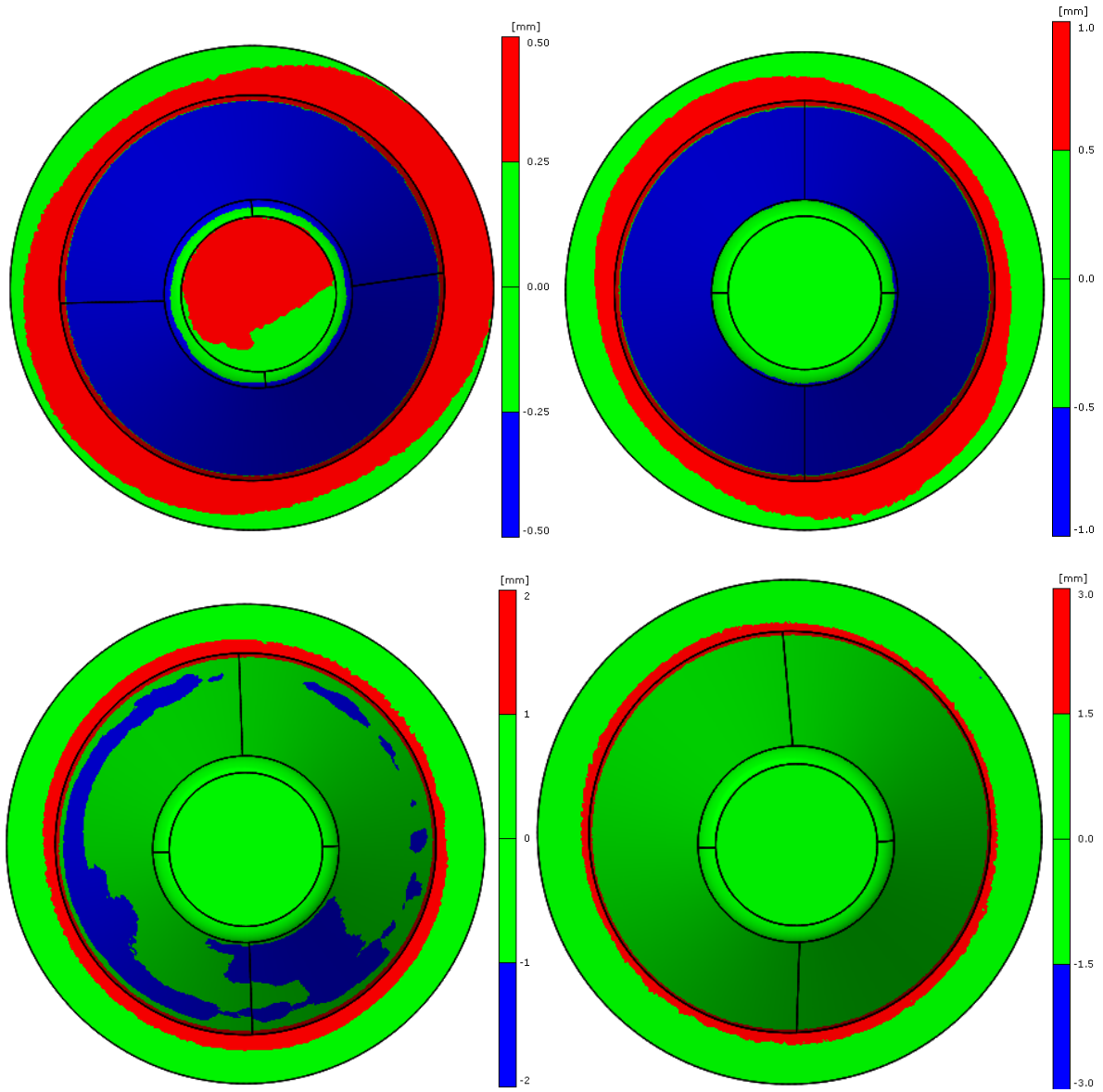
Şekil 4. Üretilen alüminyum parçanın görseli

3.Deney Sonuçları ve Tartışma

Artımsal şekillendirme yöntemi ile CNC dik işleme tezgâhında alüminyum levhanın üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Parçada fiziki bir problem gözlemlenmemiştir. Boyutsal ölçüm karşılaştırması için ise parçanın ATOS cihazı ile tarama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Ölçüm sonuçları farklı tolerans aralıklarında değerlendirilerek verilmiştir. Tarama sonuçlarından da görülebileceği gibi sapmanın en yüksek olduğu bölge koninin geniş tabanında gerçekleşmiştir. Bu bölge düz sacın ilk deformasyona uğradığı bölgedir. Eğer işlem sonrasında parçanın bu bölgesini kesilerek parçadan uzaklaştırılmayacak yani parçanın bir parçası olacak ise kullanılan takımının çapının daha küçük seçilmesi gereklidir. Burada kullanılan takım çapı 15 mm olduğu için bu bölgede sapma yüksek çıkmıştır. Ayrıca bu bölgedeki hassasiyet için sacı tutmak için oluşturulan çerçeve ölçüleri ve formu da belirleyici olmaktadır.

Takımın temas etmediği koninin uç kısmının ölçüsel olarak en doğru bölge olduğu görülmektedir. ASS işlemi gerçekleşirken yakın çevresinden şekillendirilen bölgeye bir malzeme akımı olmadığı için bu bölgede ölçüsel değişiklik oluşturacak bir etki işlem süresince oluşmamaktadır. Bu durumu sac levhanın dış çevresel ölçülerine bakılarak ta görülebilmektedir. Deformasyon sadece takımın temas ettiği bölgelerde olmaktadır. Şekillendirilen bu bölgede sac malzeme incelirken temasta olmadığı bölgelerde incelmemesinden de anlaşılabilmektedir.

Şekil 5'deki 3.ölçüme bakıldığında işlem sonrasındaki parçada oluşan geri yaylanma durumu da gözlemlenebilmektedir. Bu geri yaylanma durumu parçanın kullanılacağı yer düşünüldüğünde eğer istenilen tolerans değerlerinin dışında ise takım çapı, ilerleme hızı, ilerleme adımı gibi parametrelerin değiştirilmesi ile optimize edilecektir. Bu değerler düşürüldüğünde geri yaylanma miktarı azalacak ama buna karşı parça üretim süresi artacaktır.



Şekil 5. Üretilen parça ölçüm raporu

4. Sonuçlar

Artımsal şekillendirme yöntemlerinden biri olan tek nokta temaslı artımsal şekillendirme yöntemi, kalıp gerektirmemesi, CAD dosyası kullanılarak direk üretime geçilebilmesi, konvansiyonel yöntemlere göre daha fazla şekillendirmenin gerçekleştirilebilmesi ve tasarım değişikliklerinin kolaylıkla uygulanabilmesini sağlayan üstünlüklere sahiptir. Fakat konvansiyonel yöntemlere göre daha fazla parça üretim süresi gerektirmesi ve bazı geometrilere yaşanan zorluklar nedeni ile seri üretim yerine az sayıda parça üretiminde kullanılması uygundur.

Yapılan bu çalışmada da görüleceği gibi artımsal şekillendirme yöntemi ile alüminyum levhalar başarı ile şekillendirilebilmektedir. Oluşan geri esnemeler dikkate alınarak uygun bir takım yolu belirlenmesi ile boyutsal olarak başarılı bir parça üretmek mümkün olacaktır. Konvansiyonel yöntemlerdeki gibi yüzey geliştirme çalışmalarında parça geometrisi dışında ilave alanlar oluşturularak boyutsal doğruluk artırılabilir.

Konvansiyonel yöntemlerdeki gibi yüzey geliştirme çalışmasında nihai parça için gerekli yüzeyler düşünülerek ölçüsel sapma alanlarının bu yüzeyler dışında olmasına dikkat etmek gereklidir. Bu çalışmadaki koninin alt geniş kenarındaki sapma bölgesi eğer parçanın dışında kalıyor ise üretilen parçanın kullanılmasında bir problem teşkil etmeyecektir. Yok bu bölge nihai parça içerisinde ise işlenen parçanın konu yüksekliği uzatılmalı ya da takım çapı ve tutucu üzerindeki form geliştirilmelidir.

Daha fazla hassasiyet istenilmesi durumunda ise kalıbın tek tarafının imal edilerek şekillendirme çalışması gerçekleştirilebilmektedir. Bu durumda maliyet artmak ile birlikte kalıbın her iki tarafı imal edilmediği için yöntem hala maliyet ve ilk paranın elde edilmesi süreci açısından cazibesini koruyacaktır.

Burada unutulmaması gereken bir diğer nokta da şekillendirilen bölgedeki kalınlık değişimidir. Nihai olarak elde edilmek istenen kalınlık dikkate alınarak bu sorunda çözülebilecektir. Şekillendirilen bölgedeki sacın hacimsel miktarı şekillendirme sonrasında da aynı kalmaktadır. Sacın yüzey alanındaki değişim miktarı göz önüne alınarak kalınlık değişimi kolaylıkla hesaplanabilir.

Bu çalışma ile otomotiv sektöründe yaygın kullanım alanı bulmaya başlayan alüminyum 6016 alaşımı kullanılarak az sayıdaki parça üretiminde artımsal şekillendirme yöntemi başarı ile kullanılabilir.

Unutulmamalıdır ki artımsal şekillendirme ile ilk parçanın üretim süresi diğer yöntemlere göre çok kısadır. Bu nedenle özellikle ürün geliştirme sırasında ihtiyaç duyulan doğrulama parçalarının üretilmesinde rekabetçi bir yöntem olarak artımsal şekillendirme yöntemi tercih edilebilecektir. Ayrıca az sayıda araç üretimi için de kalıp gerektirmemesi nedeni ile rekabetçiliğini sürdürecektir bir yöntemdir.

4.Referanslar

- [1] Hirsch, J., “Light Metal World”, Light Metal Age, 124, 1999
- [2] Sakin, A., Durgun, I., “Sayısal Kontrollü Artımlı Şekillendirme Tekniği İle Plastik Parça Üretimi”, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt: 55, Sayı: 650, Sayfa: 23-28, 2013
- [3] Sakin, A., Durgun, I., “Sac Parça Üretiminde Sayısal Kontrollü Şekillendirme Yönteminin İncelenmesi”, Mühendis ve Makine, Cilt: 52, Sayı: 615, Sayfa: 62-68, 2011
- [4] Kleiner, M., Curbach, M., Tekkaya, E., Ritter, R., Speck, K., Trompeter, M., “Development of Ultra High Performance Concrete Dies for Sheet Metal Hydroforming”, Production Engineering Research Development, DOI: 10.1007/s11740-008-0099-z, Vol: 2, Pages: 201-208, 2008
- [5] Müller, H., Sladojevic, J., “Rapid Tooling Approaches for Small Lot Production of Sheet Metal Parts” Journal of Materials Processing Technology, DOI: 10.1016/S0924-0136(01)00749-X Vol: 115, Pages: 97-103, 2001
- [6] Bate, P. S., Shaw, G. R., Hancock, M. A., S. Jones, Barrett, D., McDonagh, V. N., Ponton, C. B., “Superplastic Forming With Ceramic Lost-Wax Dies”, Journal of Material Processing Technology, DOI: 10.1016/0924-0136(95)85009-0 Vol: 47, Pages: 361-373, 1995
- [7] Sakin, A., Durgun, I., “Sayısal Kontrollü Sac Şekillendirme Uygulamaları”, 12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu, Bursa, Türkiye, Bursa, Mayıs 2011
- [8] Tizsa, M., Panity, I., Kovács, P. Z., “Experimental and Numerical Study of a Milling Machine-Based Dieless Incremental Sheet Forming”, International Journal of Material Forming, DOI: 10.1007/s12289-010-0931-9, Vol: 3, Pages: 971-974, 2010
- [9] Durante, M., Formisano, A., Langella, A., “Observations on the Influence of Tool-Sheet Contacy Conditions on an Incremental Forming”, Journal of Materials Engineering and Performance”, DOI: 10.1016 / j.jmatprotec. 2010.07.006, Vol: 20, Pages: 941-946, 2011
- [10] Dai, K., Wang, Z. R., Fang, Y., “CNC incremental sheet forming of an axially symmetric specimen and the locus of optimization”, Journal of Materials Processing Technology, DOI: 10.1016/S0924-0136(00)00423-4, Vol.102, Pages: 164-167, 2000
- [11] Câmara, J.L.P.B., “Single Point Incremental Forming”, Technical University of Lisbon, MSc. Thesis, Page: 3-13, 2009
- [12] Durgun, I., “Evaluation of Geometric Accuracy and Thickness Variation in Incremental Sheet Forming Process”, DOI: 10.3139/120.110453, Journal of Materials Testing, Vol: 55, No: 5, Pages: 386-395, 2013