

AA 2024 ALAŞIMININ ARTIŞLI ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Halil BAYRAM^{1*}, N. Sinan KÖKSAL²

1 Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 05100 Amasya, TÜRKİYE

2 Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

Özet: Ürün ve tüketim hacmi geniş olan sac metal şekillendirme sektörü, ürün başına maliyeti düşürmesi sebebiyle geleneksel sac metal şekillendirme yöntemlerini kullanmaktadır. Ancak sac metal sektöründeki giderek artan ve farklılık gösteren az sayıdaki talepleri daha ekonomik bir şekilde karşılayabilmek için artışlı şekillendirme yöntemi (AŞY) son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada; 1 mm kalınlığındaki AA 2024-T3 levhalarda devir 500 dev/dak, takım çapı 10 mm ve yatay ilerleme 1000 mm/dak ile artışlı şekillendirme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca işlem esnasında kullanılan iki farklı yağında etkisi incelenmiştir. Bu yağ çeşitlerinin farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Üç farklı takım yolu denenmiş olup, bunlardan 0,5 mm dikey ilerlemeli 1. takım yolunda en başarılı sonuç elde edilmiştir. Ürün maliyeti açısından da, 500 adetin altındaki üretimlerde, AŞY kalıpla üretim yöntemine göre daha ekonomiktir.

Anahtar Kelimeler: Artışlı Şekillendirme Yöntemi, AA 2024, Alüminyum Alaşımları

INVESTIGATION OF INCREMENTAL SHEET FORMABILITY OF AA 2024 ALLOY

Abstract: Sheet metal forming industries which have a large product and consumption volume use conventional sheet metal forming techniques due to low production cost per unit. However, in order to afford increasing economical demands and demands which has few differences in more economical way, incremental sheet forming (ISF) stand out in recent years in the sheet metal industry. In this study, incremental sheet forming has been performed by 500 RPM as the spindle speed, 10 mm as the tool diameter, 1000 mm/min as the feed rate with AA 2024-T3 sheets which are 1 mm thickness. In addition, two different lubricant kinds used in the process are investigated. It has been seen that these lubricant kinds haven't done any differences. Three different tool paths have been tried and best result has been achieved with the first tool path which has 0.5 mm step down values. From the point of the product cost, under number of 500 manufacturing, ISF is more economic than molding.

Keywords: Incremental Sheet Forming, AA 2024, Aluminium Alloys

1.GİRİŞ

Geleneksel sac metal şekillendirme yöntemlerinin maliyet ve zaman yönünden parçaya bağımlılığı yüksektir. Sac metal şekillendirme yönteminde artan parça çeşitliliği esnek imalat gereksinimlerinin doğmasına neden olmuştur. AŞY bu esnek imalatı zaman ve maliyet yönünden ekonomik bir şekilde karşılayabilen yöntemlerden biridir. Sac metal parça üretiminde en çok tercih edilen yöntem kalıpla üretimdir. Özellikle ürün hacmi yüksek olan üretimlerde birim parça üzerine düşen maliyet azalacağından dolayı bu yöntem oldukça verimlidir. Ancak son zamanlarda müşterilerin artan özel ve az sayıdaki taleplerini daha ekonomik bir şekilde mal edebilmek için yeni üretim yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Bu yöntemlerin başında ise Artışlı şekillendirme yöntemi gelmektedir.

Artışlı şekillendirme yöntemi fikri ilk olarak 1967 yılında ortaya atılmıştır fakat Computer Numerical Control (CNC) freze ve katı modelleme imkanı olmayışından dolayı o yıllarda kullanılamamıştır. Bu yöntem için ilk olarak ‘dieless’ terimi adı altında patent alınmıştır [1].

Artışlı şekillendirme yöntemi ürün hacmi düşük üretimleri yeni parça ve makinelere ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirebilmesiyle dikkatleri üzerine çekmiştir. Bu çalışmanın temel odağı ise Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (BSK) daha yaygın kullanımıyla CNC makinelerini artışlı şekillendirme yönteminde kullanma gibi büyük bir avantaja çevirmektir. Artışlı şekillendirme yöntemi için bir CNC dik işleme merkezi, yapılacak şeklin negatif yada pozitif şablonu, şekillendirme işlemi boyunca levhayı sabit tutabilmek için bir levha tutucu kalıp ve şekillendirmeyi gerçekleştirecek olan iş miline takılmış uygun boyutta bir takım yeterlidir. Parçanın karmaşık geometrisi ve boyutsal dayanıklılığını sağlayabilmek için parçanın altına konulan kalıp malzemesi çelikler, polimerik malzemeler, termoset

reçineler ve sert ağaçlar gibi malzemeler olabilir [2].

Artışlı şekillendirme yöntemi hem bu yöntem için özel olarak tasarlanmış makinelerde hem de birçok imalat olanağı sağlayan CNC freze tezgâhlarında uygulanabilir. Ayrıca artışlı şekillendirme yöntemi tek noktalı artışlı şekillendirme yöntemi(SPIF: Single Point Incremental Sheet Forming) ve iki noktalı artışlı şekillendirme yöntemi (TPIF: Two Point Incremental Sheet Forming) olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Sırasıyla pozitif şekillendirme ve negatif şekillendirme olarak da adlandırılırlar. Artışlı şekillendirme yönteminde kullanılan takımlar yarım küre ve bilyeli olarak farklı şekillerde kullanılır. Takımın boyutsal özellikleri verilen geometriye göre belirlenir. Bilyeli takımlarda çok dik açılı şekillendirme işlemlerinde takımın sap kısmının şekil verilen malzemeye temas etmemesi için bilye şeklindeki baş kısmından küçük olması istenir. Ayrıca sürtünmeyi azaltmak ve takım ömrünü uzatmak için takımlara kaplama yapılabilir [3]. Takımların kafa çapları 6 mm ‘den başlar ve büyük parçalar için 100 mm ‘ye kadar çıkabilir. Buna ek olarak takım çapı seçilirken elde edilmek istenen geometrinin en düşük içbükeyine bakılır [1].

Artışlı şekillendirme yönteminde takım yolu; boyut doğruluğuna, şekillenebilirliğe, yüzeylerin son haline, kalınlık değişimine ve işlem süresine doğrudan etki eder. Spiral takım yolu diğer takım yollarına göre daha üniform bir kalınlık dağılımına sahiptir. En yaygın kullanılan takım yolu ise geleneksel frezeleme takım yoludur. Takım yolunun yanı sıra takım çapı, dikey adım boyutu, eğim açısı, yağlama ve takım hızı yüzey kalitesinde etkili olan parametrelerdir [4].

Şekillendirilebilirlik sınır diyagramı şekillendirmenin sınır limitlerini belirleyen en yaygın faktördür. Bu faktör güvenli ve riskli bölgeleri gösterir. SPIF’ yi etkileyen en önemli faktörler malzeme tipi, malzeme kalınlığı, oluşturulan şeklin geometrisi, takım boyutu

(çapı) ve artışlı şekillendirme tipi olarak tespit edilmiştir. Ham ve Jeswiet'in deneysel çalışmaları şekillendirilebilirliğin tüm kritik faktörlerinde yeni sonuçlar sunmuştur [5].

Artışlı şekillendirme yönteminin deformasyon mekanizması özel hazırlanmış bakır levhalar ile deneysel yollarla incelenmiştir. Artışlı şekillendirme yönteminin gerilme dağılımlar her iki yöntem içinde (SPIF ve TPIF) ölçülmüştür. Bu ölçümler SPIF ve TPIF'nin gerilme, takımın dikey düzlemdeki kaymasını ve takımın paralel düzlemdeki kaymasının deformasyon mekanizmalarını göstermektedir. Artan gerilme ve takım yönündeki dikey kayma, sinüs yasası tahminini ve SPIF ve TPIF için ölçülen duvar kalınlığı arasındaki farkları açıklar. SPIF ve TPIF'nin gözlemlenmiş mekanizmalarının daha önce varsayılan saf kayma mekanizmalarından farklılık gösterdiği kabul edilmiştir [1].

Ambrogio vd [6] magnezyum alaşımlarının sıcak artışlı şekillendirilebilirliğini araştırmıştır. Isıtma işlemini sürekli bir akım sağlayarak gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak ise çeşitli alaşımlar üzerinde yaptığı deneylere dayanarak sıcak artışlı şekillendirme yönteminin soğuk olana göre daha iyi bir performans sağladığını belirtmiştir.

Bulut [7], AA 5754 malzemesi kullanarak dikey ilerleme, takım kaplaması, yağlama ve takım çapı parametrelerini kullanarak bir çalışma yapmıştır. Simülasyon programlarıyla parçanın simülasyonunu yapmış ve bunu deney sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Takım çapı olarak 10 mm, dikey ilerleme olarak 0,7 mm ve takım kaplaması olarak TiAlN kaplamasının artışlı şekillendirme işlemi için uygun olduğunu belirtmiştir. Kullanılan yağ olarak ise makine ve gres yağının bor yağına göre daha elverişli olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada, geleneksel sac metal şekillendirme yöntemleri ve artışlı şekillendirme yöntemi ile ilgili literatür taramaları yapılmıştır. Yapılan bu taramalar ışığında optimum deney parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerin uygulamaları

yapılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında ise deney numuneleri 3 boyutlu lazer tarama yöntemi ile ölçülmüş ve geometrik doğrulukları incelenerek yorumlanmış, ideal artışlı şekillendirme için bulunan deney parametreleri belirtilmiştir. Ayrıca artışlı şekillendirme yönteminin fiyat avantajını belirlemek için firmalardan fiyat teklifleri alınıp ve bu fiyatlar geleneksel sac metal şekillendirme yöntemlerinin fiyatlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Materyal

Artışlı şekillendirme yönteminde alüminyum alaşımlarıyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde ağırlıklı olarak AA 5754 malzemesi kullanılmıştır. Bu yapılan çalışmada ise artışlı şekillendirme yöntemine farklı bir açıdan bakabilmek için ısıl işlem kabiliyeti olan 2xxx alüminyum alaşımı serisinden AA 2024-T3 temper hali kullanılmıştır. Deney numunesinin boyutları 200x200x1 mm' dir. AA 2024' ün literatürdeki kimyasal bileşimi Çizelge 1.' de, çalışmada kullanılan AA 2024' ün kimyasal bileşimi Çizelge 2.' de verilmiştir.

Çizelge 1. AA 2024' ün Kimyasal bileşimi [8].

Element	%
Cu	3.8-4.9
Mg	1.2-1.8
Si	0.5
Mn	0.3-0.9
Cr	0.1
Zn	0.25
Ti	0.15
Fe	0.5
Al	Kalanı

Çizelge 2. Denede kullanılan AA 2024 numunesinin spektral analiz sonuçları

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Pb	Al
%	0.073	0.102	4.59	0.54	1.46	0.020	0.009	0.009	93.141

2.2 Metot

2.2.1 Takım Çapı

Artışlı şekillendirme yönteminde, takım çapının şekillendirmeye etkisini sabitlemek için 10 mm'lik çaplarda takımlar kullanılmıştır.

2.2.2 Takım Kaplaması

Denede çapı 10 mm olan kaplamasız karbür takım kullanıldı. Ancak parametrelerin birinde yaşanan yırtılmayı ortadan kaldırmak için krom nitrür kaplamalı takım kullanılarak kaplamanın artışlı şekillendirme yöntemine olan etkisi kısmen gözlemlendi.

2.2.3 Yatay İlerleme

Artışlı şekillendirme yöntemiyle ilgili yapılan literatür araştırmasında 1000 mm/dak yatay ilerlemenin optimum değer olduğu görülmüş ve bu değer kullanılmıştır [1].

2.2.4 Takım Devri

Yapılan çalışmada devir olarak 500 dev/dk sabit tutuldu. Bu değeri belirleme aşamasında ise öncelikle daha önce yapılan çalışmalara bakıldı. Bu çalışmalar gölgesinde 0, 50, 500, 600, 675, 750 ve 1000 dev/dk değerleri denendi. Bu denemelerde ise 500 ve 600 dev/dak değerleri dışında başarı sağlanamadı. Sonuç olarak gözle yapılan muayene sonucu AA 2024 malzemesi için 500 dev/dk optimum değer olarak kabul edildi.

2.2.5 Takım Yolu

Modeller için NX Unigraphics CAM programında farklı takım yolları denenerek, takım yolunun artışlı şekillendirme yöntemi üzerine etkisi incelenmek amaçlanmıştır. Bu

takım yolları ise dikey ilerlemeyi spiral şeklinde yapan ve dikey ilerlemeyi daima aynı noktadan tek seferde verip yatayda sabit olarak bir turu tamamlayıp tekrar aynı yerden dikey ilerleme yapan şeklinde olmak üzere iki tanedir. Deneyle esnasında yırtılan bir parça için üçüncü bir takım yolu kullanarak alternatif bir takım yolu denenmiştir. Bu yeni takım yolu ise daha önceki iki takım yolunun karışımı şeklinde belirlenmiştir. Denenen yeni takım yolunda yırtılma ortadan kalkmış ve diğer takım yollarıyla karşılaştırma yapılmıştır.

2.2.6 Dikey İlerleme

Şekillendirme esnasında şeklin yüzeyinin düzgün çıkması ve numunede yırtılmaları minimuma indirmesi için 0,2, 0,3, 0,5 ve 0,7 mm değişik dikey ilerleme parametreleri denenmiş ve 0,2 mm ve 0,5 mm dikey ilerleme parametrelerinin artışlı şekillendirmeye etkilerini görebilmek için deney parametreleri olarak seçilmiştir.

2.2.7 Yağlama

Yağlamanın artışlı şekillendirmeye etkisinin araştırılması ve sac plaka ile takım arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek için iki farklı yağlama tercih edilmiştir. Bunlardan ilki geleneksel talaşlı imalat soğutma sıvısı olan bor yağı emülsiyonudur. İkinci seçenek olarak ise sıvama yağı seçilmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Artışlı Şekillendirme deneyleri Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu Meslek Yüksekokulu Atölyesinde bulunan First MCW300 CNC freze tezgâhında yapılmıştır. Seçilen parametrelere göre deneyin yapılabilmesi için; artışlı şekillendirme için özel imal edilmiş olan

tutucu kalıp komparatör ile paralelliği sağlanıp tezgâha bağlanmıştır. Kalıba bağlanacak şekilde (200x200x1 mm) lazer kesim yapılan AA 2024-T3 numuneler 8 adet M10 cıvata yardımıyla şekillendirme esnasında en ufak bir kayma olmaması için iyice sıkılarak numune sabitlendi. Modellenen parça simetrik olduğu için tutucu kalıba bağlanırken hadde yönüne bakılmaksızın bağlanmıştır [2].

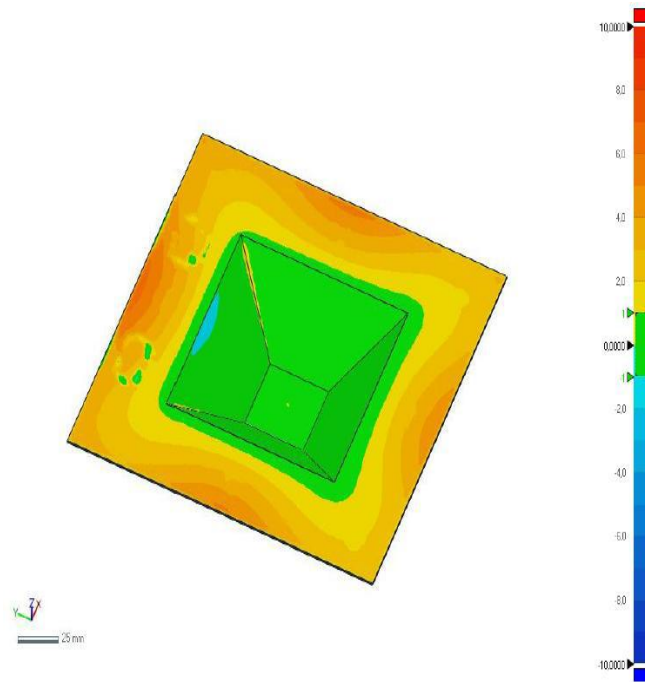
İlk olarak yağlama parametresi sabit tutulmuş ve sıvama yağı seçilmiştir. Sabit tutulan yağ parametresi eşliğinde dikey ilerleme parametreleri 0,2 mm, 0,3 mm, 0,5 mm ve 0,7 mm sırasıyla denenmiş ve 0,7 mm' de yırtılmalar gözlemlenmiştir. Bu işlemden bittikten sonra takım yolu değiştirilip ikinci takım yoluyla tüm işlemler tekrarlanmıştır. Alınan başarılı sonuçlara müteakip yağlama faktörü değiştirilerek tüm parametreler bor yağı kullanarak gerçekleştirilmiştir. İkinci yağlama faktöründe de gözlemlenen olumlu sonuçlar neticesinde tüm parametreler her biri

üçer tekrar olmak üzere denenmiştir. İkinci takım yolunun 0,5 mm dikey ilerleme deneyinde yaşanan yırtılmayı gidermek için üçüncü bir takım yolu ve kaplamalı takım denenmiş, bu alternatif çözümlerden yeni takım yolu başarı gösterirken krom nitrür kaplamalı takım yırtılmaların önüne geçememiştir.

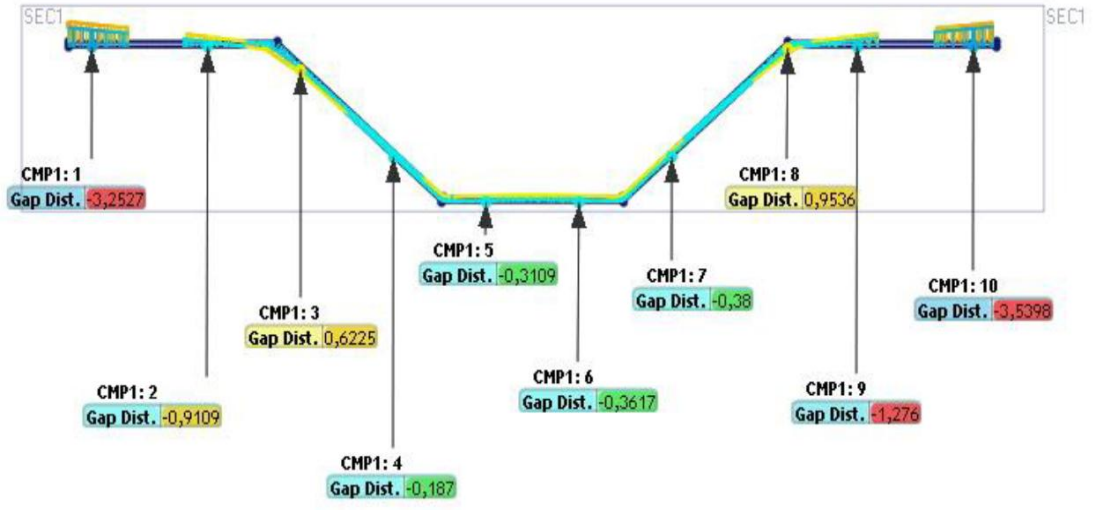
4. TEST VE ÖLÇÜM

4.1 3 Boyutlu Lazer Tarama

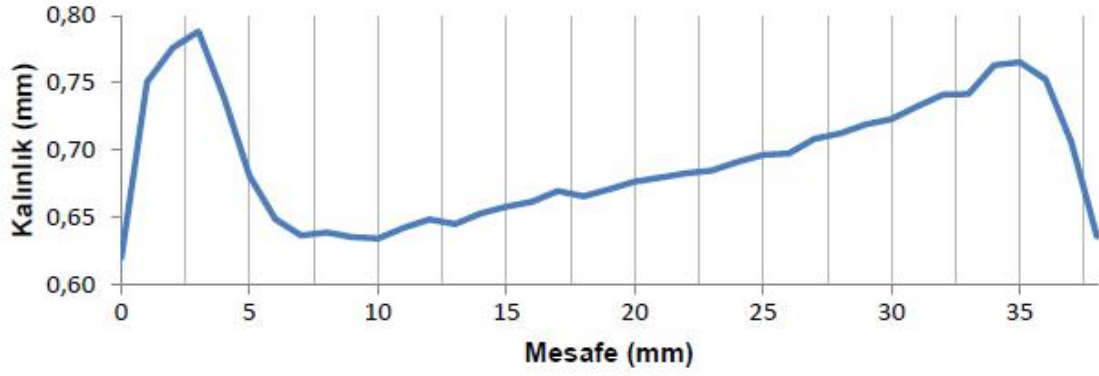
Artışlı şekillendirme yöntemiyle şekillendirilen numunelerin 3 boyutlu lazer tarama yöntemiyle katı modelleri elde edilmiştir. Elde edilen bu katı modeller ile numunelere verilmek istenen geometriler karşılaştırılarak numunelerin geometrik doğrulukları incelenmiş ve ayrıca kalınlık dağılımlarına da bakılmıştır.



(a)

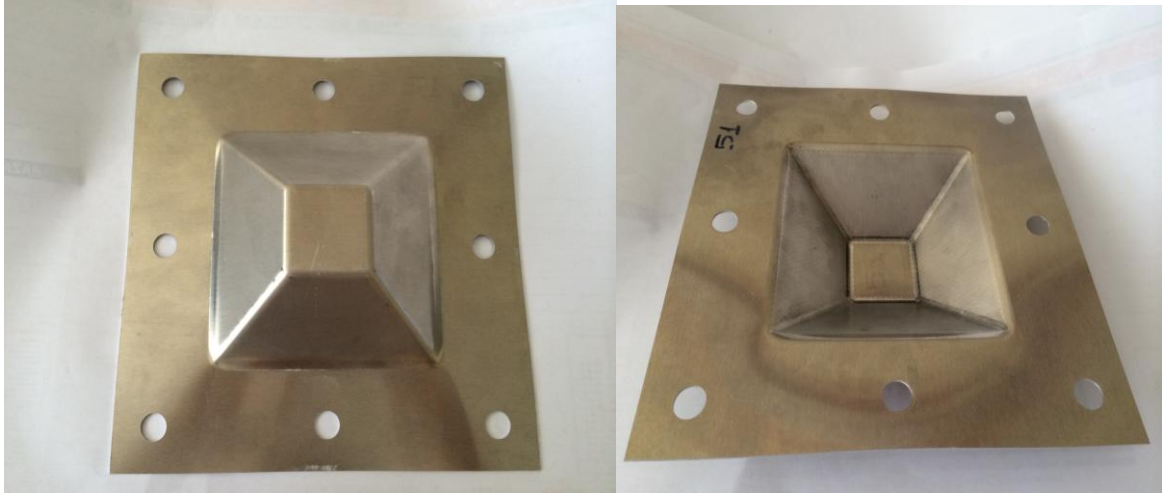


(b)

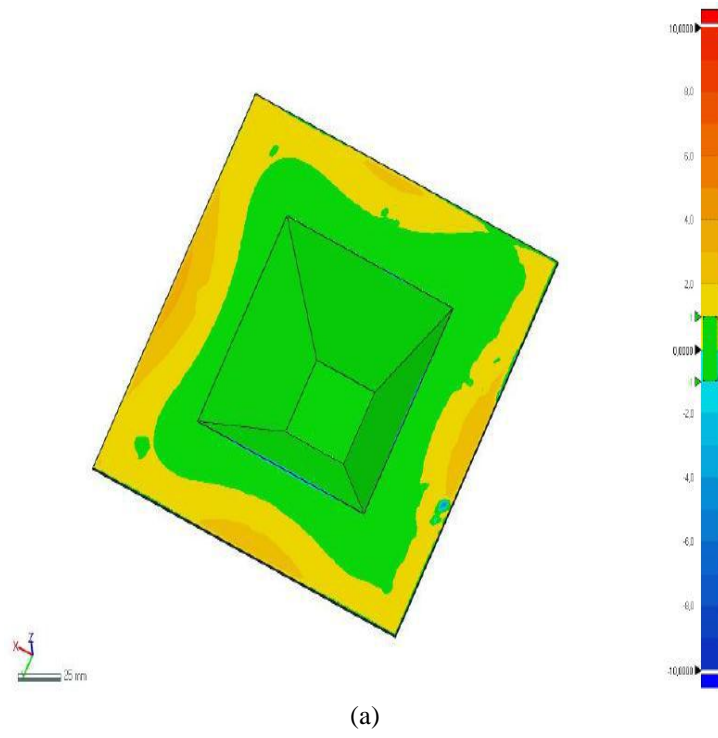


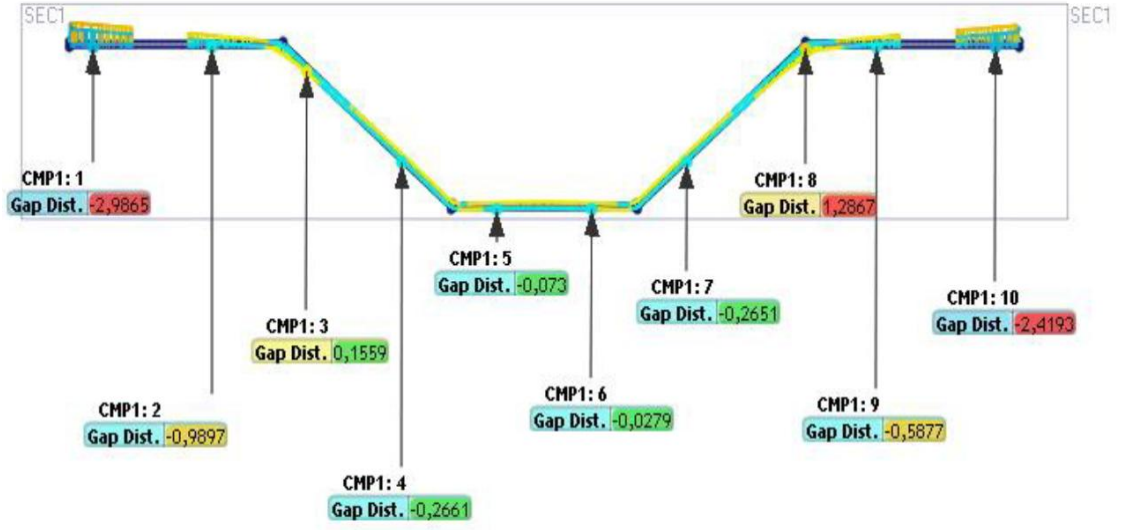
(c)

Şekil 1. Sıvama yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 1. takım yolu parametrelerine sahip numunenin (a-b) Geometrik tamlık sonuçları (c) Eğik bölge kalınlık dağılım sonuçları ve numunedeki yerleri

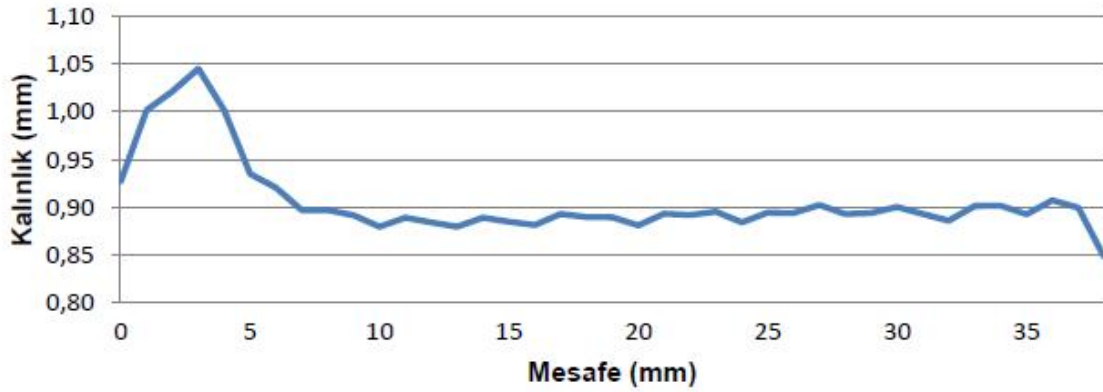


Şekil 2. Sıvama yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 1. takım yolu parametrelerine sahip numunenin g6r6n6şleri



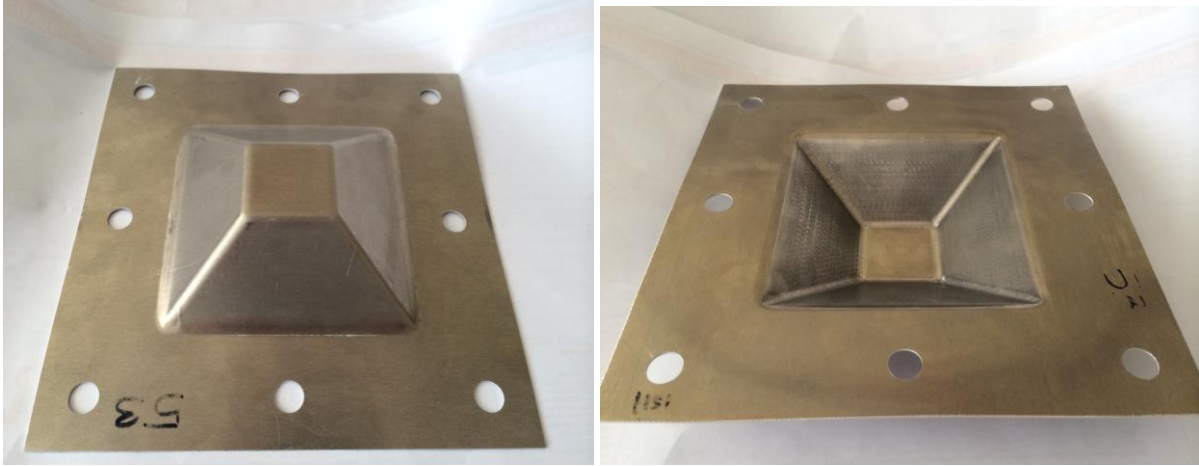


(b)



(c)

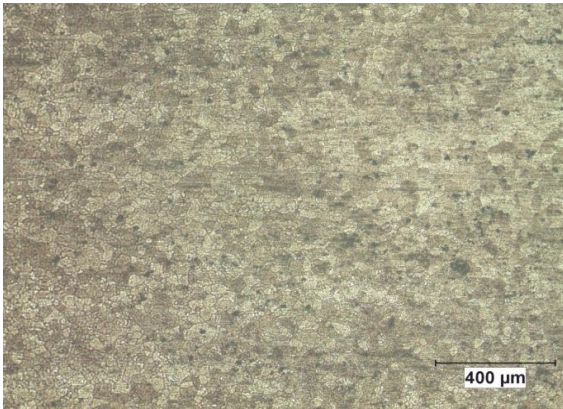
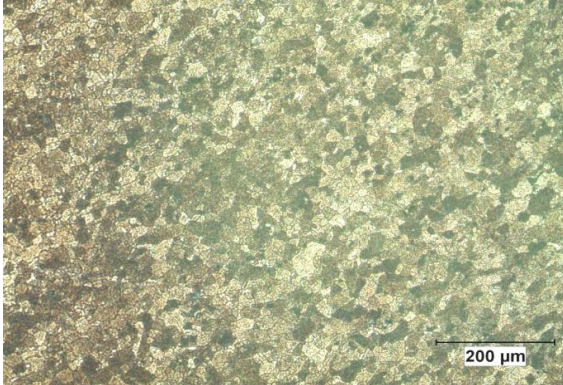
Şekil 3. Bor yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 2. takım yolu parametrelerine sahip numunenin numunenin (a-b) Geometrik tamlık sonuçları (c) Eğik bölge kalınlık dağılım sonuçları ve numunedeki yerleri



Şekil 4. Bor yağı, 0,5 mm dikey ilerleme ve 2. takım yolu parametrelerine sahip numunenin görüntüleri

4.2 Metalografik İnceleme

Numunelere metalografik inceleme yapılarak içyapıları incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucu elde edilen içyapı resimleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. İçyapı görüntüleri

5. FİYAT ANALİZİ

Basit bir geometriye sahip olan deney numuneleri için Manisa Muradiye orta ölçekli sanayi bölgesinde yapılan fiyat araştırması sonucu ortalama 5000 TL kalıp maliyeti teklif edilmiştir. Aynı geometri, artışlı şekillendirme yöntemiyle ortalama 20 dakikada imal edilmektedir. Takım maliyeti ortalama 80 TL, CNC tezgâhının 20 dakika işletme ücreti ise 10 TL civarındadır. Geleneksel kalıpla üretimde bir adet işletme ücreti ise 2 kuruş olarak belirlenmiştir. Her iki yöntemde diğer masraflar göz ardı edilmiştir.

Çizelge 3. Maliyet dağılım çizelgesi

	Artışlı Şekillendirme Yöntemi	Kalıpla Üretim
Kalıp Maliyeti	-	5000 TL
Takım Maliyeti	80 TL	-
Parça Başına İşçilik Ücreti	10 TL	0,02 TL
1 Adet Üretim İçin Toplam Maliyet	90 TL	5000,02 TL

6. SONUÇLAR

Deneylerde bor yağı ve sıvama yağı kullanılmıştır. Bu iki yağlama arasında kullanılan takım yolu ve dikey ilerlemenin etkili bir faktör olduğu ve her yağın hemen hemen aynı oranda başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Takım yolu olarak 3 farklı yol izlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 1. takım yolunun birçok değişken için en başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. 2. ve 3. takım yolları ise başarılı olmakla beraber geometrik doğruluk ve kalınlık dağılımında 1. takım yolu kadar etkin olamamışlardır.

Dikey ilerlemenin artışı şekillendirme yöntemine etkisini görebilmek için aynı şartlar altında yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında 0,5 mm dikey ilerleme parametresinin 0,2 mm' ye göre çok daha fazla geometrik doğruluk ve kalınlık dağılımı sergilediği gözlemlenmiştir.

Yapılan fiyat araştırmasına göre yaklaşık 500 adet altındaki üretimlerde artışı şekillendirme yöntemi kalıpla üretim yöntemine göre daha ekonomiktir. Ancak adet sayısı 500' e yaklaştıkça artışı şekillendirme yöntemi fiyat avantajını kaybetmektedir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Celal Bayar Üniversitesi (BAP 2014-078) Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Nimbalkar D.H. “Review of Incremental Forming of Sheet Metal Components” Int. Journal of Engineering Research and Applications Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.39-51.

[2] Ceretti, E., Giardini, C., Attanasio, A., “Experimental and simulative results in sheet incremental forming on CNC machines”, Journal of Materials Processing Technology, 152:176-18, (2004).

[3] Le Van Sy, “Modeling of Single Point Incremental Forming Process For Metal and

Polymeric Sheet” PhD thesis University Of Pauda-2009.

[4] Jeswiet, J., Micari, F., Hirt, G., Bramley, A., Dufloy, J., Allwood, J. “Asymmetric Single Point Incremental Forming of Sheet Metal” CIRP Annals manufacturing technology, 54(2),623-649 (2005).

[5] Ham, M., Jeswiet, J. “Single Point Incremental Forming and the Forming Criteria for AA3003” Annals of the CIRP Vol. 55/1/2006

[6] Ambrogio, G., Filice, L., Gagliardi, F., “Formability of lightweight alloys by hot incremental sheet forming” Materials and Design 34, 501–508, (2012)

[7] Bulut, C. “Artışlı Şekillendirme ile AA 5754 Sacın Biçimlendirilmesi ve Teorik Modellenmesi” Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi, 2008.

[8] Liu, Z., Chong, P.H., Butt, A.N., Skeldon, P., Thompson, G.E. “Corrosion mechanism of laser-melted AA 2014 and AA 2024 alloys” Applied Surface Science 247, 294–299, (2005).

Geliş Tarihi:18.09.2014

Kabul Tarihi:12.02.2015