



**T.C.
KÜTAHYA DÜMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**

**TEK NOKTA ARTIMLI ŞEKİLLENDİRME İLE ÜRETİLEN AA
5754-H22 ALÜMİNYUM SAC PARÇASININ YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ**

YAŞAR DOĞAN

202122191902

**BİTİRME PROJESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**DANIŞMAN
DR.ÖĞRETİM ÜYESİ MURAT KOYUNBAKAN**

KÜTAHYA, 2024



T.C.
KÜTAHYA DÜMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

**TEK NOKTA ARTIMLI ŞEKİLLENDİRME İLE ÜRETİLEN AA
5754-H22 SAC PARÇASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN
İNCELENMESİ**

YAŞAR DOĞAN tarafından hazırlanan proje çalışması / / tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans **BİTİRME PROJESİ** olarak kabul edilmiştir.

Proje Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi **MURAT KOYUNBAKAN**
Dumlupınar Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. **ALAATTİN KAÇAL**
Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. **VEDAT TAŞDEMİR**
Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi **HAKAN MUMCU**
Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi **MURAT KOYUNBAKAN**
Dumlupınar Üniversitesi

TEK NOKTA ARTIMLI ŞEKİLENDİRME İLE ÜRETİLEN AA 5754-H22 SAC PARÇASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ

YAŞAR DOĞAN

Makine Mühendisliği Bölümü

Lisans Tezi, 2024

Tez Danışmanı: Dr. Murat KOYUNBAKAN

ÖZET

Artımlı şekillendirme, CAD/CAM programlarıyla oluşturulan takım yolu boyunca kesici olmayan bir takım ile sac metallerin plastik deformasyona maruz bırakılarak şekillendirilmesinde kullanılan yeni ve esnek bir yöntemdir. Bu yöntem ile küçük ve orta hacimdeki çeşitli parçalar düşük maliyette elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, CNC dik işleme merkezinde negatif artıslı şekillendirme yöntemiyle, altıgen forma sahip kalıp kullanılarak AA 5754-H22 sac malzeme şekillendirilmiştir. Üretilen her numunenin Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri TR-200 (3200) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Yapılan ölçümlere göre en iyi yüzey pürüzlülük değerinin on nolu deney numunesinde Ra 0.446 μm olduğu saptanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen parametrelerin MİNİTAB 2017 programında tagucci metoduyla analizleri incelenerek, en önemlisinin takım çapı ve adım miktarına bağlı oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CAD/CAM, Maksimum Şekillendirme Açısı, Negatif Artıslı Şekillendirme, Sac Metal,

INVESTIGATION OF THE SURFACE ROUGHNESS OF AA 5754-H22 ALUMINUM SHEET PART PRODUCED BY SINGLE POINT INCREMENTAL FORMING

Yaşar doğan

Mechanical engineering department, Undergraduate thesis 2024

Thesis Supervisor: Dr. MURAT KOYUNBAKAN

SUMMARY

Incremental forming is a new and flexible method used in shaping sheet metals by subjecting them to plastic deformation with a non-cutting tool along the tool path created with CAD/CAM programs. With this method, various small and medium volume parts can be obtained at low cost. In this study, AA 5754-H22 sheet material was shaped using a hexagonal mold with the negative incremental forming method in the CNC vertical machining center. Ra surface roughness values of each produced sample were determined with the TR-200 (3200) surface roughness measuring device. According to the measurements, the best surface roughness value was determined to be Ra 0.446 μm in the test sample number ten. By analyzing the parameters affecting surface roughness using the Tagucci method in the MINITAB 2017 program, it was determined that the most important ones depend on the tool diameter and step amount.

Keywords: CAD/CAM, Maximum Forming Angle, Negative Incremental Forming, Sheet Metal,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan başta danışman hocam Sayın Dr.öğr Üyesi Murat KOYUNBAKAN'a, Sayın Dr.Öğr. Üyesi Hakan MUMCU'ya desteğini hep yanımda hissettiğim ve parça temininde bana yardımcı olan arkadaşım Hakan ÇALI'ya, deneylerin yapımında tezgah ve teçhizat imkanı sağlayan Sayın Doç.Dr. Vedat TAŞDEMİR'e, deney numunelerinin ölçümünde gerekli bilgi beceriyi katan Sayın Dr.Öğr. Üyesi Zafer KAYA'ya teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	İV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	Vİİİ
TABLolar	İX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
BÖLÜM 1	1
1.GİRİŞ	1
1.1 Literatür araştırması	3
BÖLÜM 2	
2. ARTIMSAL ŞEĞİLLENDİRME YÖNTEMİ.....	5
2.1 Tek nokta artımlı şekillendirme (Single point incremental forming-SPIF)	5
2.2 Karşı takım ile artımlı şekillendirme(Incremental forming with counter tool-IFWCT)	6
2.3 İki noktalı artımlı şekillendirme(Two point incremental forming).....	7
2.3.1 Alt destek kalıbı kullanarak artımlı şekillendirme(TPIF-Destek kalıp).....	7
2.3.2 Alt kalıp kullanarak artımlı şekillendirme(TPIF-Kismi Kalıp)	8
2.4 Tek Nokta Artışlı şekillendirmenin avantajları ve dezavantajları.....	9
BÖLÜM 3	
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1 Alüminyum Alaşımları.....	10
3.2 Dökme Alüminyum Alaşımları.....	10
3.4 Malzeme.....	11
3.5 Deney Ekipmanları.....	12
3.5.1 Teknik özellikler	13
3.5.2 Deneysel tasarım ve deneylerin yapılışı.....	15
BÖLÜM 4	18
4. DENEYSEL SONUÇLAR	18
BÖLÜM 5	22
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	22
6.KAYNAKLAR DİZİNİ	23
KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAMI)	24

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1:SPIF yöntemi ile parça üretimi	2
Şekil 2. 1:SPIF-ekipman kesit görünüşü	6
Şekil 2. 2:IFWCT yöntemi ile şekil verme sürecinin şematik görünümü.....	6
Şekil 2.3.1:TPIF (patial die) şematik gösterimi	7
Şekil 2.3.2:TPIF (full die)	8
Şekil 3. 1: Artımlı şekillendirme operasyonunda kullanılan dik işleme merkezi	12
Şekil 3. 2: Hydro oil HD32 ve Ayçiçek yağı görseller	13
Şekil 3. 3 : Ø6 ve Ø10 küresel uç teknik resimleri görselleri	14
Şekil 3. 4 :(a): Ø6, (b): Ø10 takımlar	14
Şekil 3.5.1:CATIA V5R18 Programında oluşturulan deney numunesi tasarımı	15
Şekil 3.5.2:16 adet deney numunesi görselleri	16
Şekil 3.5. 3:TR-200 (3200) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	17

TABLÖLAR

Tablo 3. 1:Alaşımly alüminyum AA 5754-H22 sac malzemenin kimyasal bileşimi	11
Tablo 3. 2:Alaşımly alüminyum AA 5754-H22 sac malzemenin mekanik özellikleri....	12
Tablo 3. 3:VMC-850B CNC Dik İşleme Merkezi Teknik Özellikler.....	13
Tablo 3. 4:Şekillendirme parametreleri.....	17
Tablo 4. 1:Deney planı	18
Tablo 4. 2: Ra (μm) Ortalama pürüzlülük değerleri	19
Tablo 4. 3:Ortalama pürüzlülük değerleri grafiğı Ra (μm).....	19
Tablo 4. 4:Analiz varyans değerleri	20
Tablo 4. 5:S/N rasyonları için ana etki grafiğı.....	21
Tablo 4. 6:S/N Oranı İçin Cevap Tablosu.....	21

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
(Δz)	ADIM, mm
$\emptyset$	Küresel Uç Çapı
(θ)	Duvar açısı
N	Devir sayısı
F	İlerleme
Ra	aritmetik ortalama pürüzlülük değeri
SPIF	Incremental Sheet Forming (Neatıf Artışlı Şekillendirme)
ASŞ	Artırımlı sac şekillendirme

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
mm/dk	Dakikada milimetre
dev/dk	Dakikada devir

1.GİRİŞ

Artımlı şekillendirme yöntemi ile kalıp imalatına ihtiyaç duyulmadan hızlı ve düşük maliyetli prototip parça üretimi yapılabilmektedir. 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. Araç gövdesinin oluşturulmasında sac parça kullanımının ağırlıklı olması, fiziksel doğrulama süreci için hızlı ve düşük adetli üretim yöntemlerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır. 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, 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 sabitlenmiş 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.

Yöntemin CAD geometrisinden direk olarak yararlanılması, benzer 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. 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. Bu konudaki çalışmalara bakıldığında sabit uçlu, takım dönmeden yapılan şekillendirme işleminde yüzey pürüzlülük değeri en yüksek seviyeye ulaşırken, serbest olarak dönebilen küre takım ise en düşük pürüzlülük değerini vermiştir.

Bu çalışmada uygulanacak yöntem literatürde Tek Nokta Artımlı Şekillendime (Single Point Incremental Forming - SPIF) olarak adlandırılan yöntem olacaktır. SPIF tek noktada temas 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 aksel simetrisi olmayan parçalara da form verebilmektedir. Düz AA-5754-H22 alüminyum sac, metal levha üzerine, tutucu plaka ile sabitlenmiştir. Şekil 1. 1 'de görüldüğü gibi CNC dik işleme merkezinde, Ø6' lık ve Ø10 küre uçlu takım kullanılarak altıngen form verme işlemi yapılmak kaydıyla, 16 farklı deney numunesi işlenmiştir. Oluşturulan her bir numunenin yüzey pürüzlülük değerleri TR-200 (3200) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı ile ölçülerek incelenmiştir.



Şekil 1. 1: SPIF yöntemi ile parça üretimi

1.1 Literatür araştırması

P.B.Uttarwar ve çalışma arkadaşları yüzey pürüzlülüğü ve duvar açısının belirlenmesi konusunda çalışma yaparak, yüzey pürüzlülüğünün adım artışına ve ilerleme hızına bağlı olduklarını incelemişlerdir.

Suresh Kurra ve arkadaşları üç farklı çeşitte kanola yağı, SAE-40 yağı ve kanola ile MoS₂ karışımı kullanarak işlenen parçaları YSA, SVR ve GP programlarını kullanarak analiz sonuçlarını inceleyerek çok az hata payları ile yakın sonuçlara ulaşmışlardır.

Al Sabur ve arkadaşları sertleştirilmiş plaka üzerinde yüzü pürüzlülüğü üzerine de topoğrafya analizi yaparak ilerleme ve devir parametrelerin etkisini araştırıp, bu parametrelerin önemini vurgulamışlardır.

Kumar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada takım çapı, adım büyüklüğü ve iş milinin hızının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak takım çapının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, adım boyunun azalması ile azaldığını tespit etmişlerdir.

Murugesan ve arkadaşları yüzey pürüzlülüğü hakkında deneysel olarak araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada kademeli olarak oluşturulmuş ticari yüzeyin kalitesi alüminyum alaşımlı (AA3003-H18) parçalar, takım yarıçapı, adım boyutu ve ilerleme gibi faktörleri oluşturan özellikler, şekillendirme sürecindeki oran, şekillendirme işleminin etkisi kullanılarak yüzey kalitesindeki parametreleri incelemişlerdir.

Külekçi arkadaşlarının yaptığı çalışmada, EN AW 5754 (AlMg3) Alüminyum alaşımının yüzey frezeleme işlenmesinde, devir sayısı, ilerleme kesici elmas uç yarıçapı, talaş derinliği değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak; talaş derinliği, devir sayısı, ilerleme parametrelerinin düşük seçilip, kesici uç çapının büyük seçilmesi durumunda yüzey pürüzlülüğünün daha verimli olması sonucuna varılmıştır.

Shamchi ve arkadaşlarının yaptığı araştırmada AA 5754 H22 sac malzemenin Duvar açısındaki değişimlerin etkileri, ilerleme hızı, iş mili hızı ve yağlama, pratik testlerle inceleyip, duvar açısının 55°' de en yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu neticesine varmışlardır.

Mulay ve arkadaşları 0. 8 mm kalınlığındaki AA 5754 H22 sac malzemeyi spif yöntemiyle dairesel ve konik olarak işleyip, yüzey pürüzlülüğü hakkında adım miktarı ve ilerlemenin etkisinin yüksek olduğu sonucuna vararak %84 oranında yüzey kalitesine ulaşmışlardır.

Deneyisel çalışmalara bakıldığında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen temel faktörler olarak;

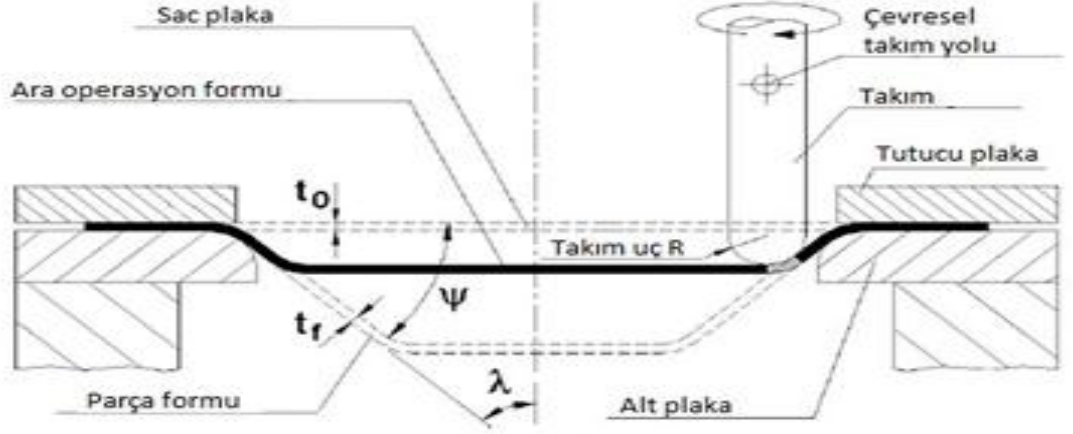
- A) Adım artışı
- B) İlerleme hızı
- C) Takım çapı
- D) Yağ çeşitleri.

2. ARTIMSAL ŞEKİLENDİRME YÖNTEMİ

Basit şekilli takımlar kullanılarak; takımın sac metali ardışık bir şekilde zorlayarak kısmi deformasyon oluşturmaya Artışlı Şekillendirme (Incremental Forming) denir. (Kim and Park, 2002). Artımlı şekillendirme yöntemi, birçok farklı süreçte kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda malzeme deformasyonu lokal ve artımlı olarak yapıldığından, şekillendirme kuvvetleri konvansiyonel süreçlere göre oldukça küçüktür. Artımlı şekillendirme yönteminde kullanılan sac malzemeler (alüminyum, çelik, plastik, vb.) takım (HSS & karbür rijit takım, su jeti vb.) ve temas durumunda (tek nokta temaslı veya iki nokta temaslı) bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

2.1 Tek nokta artımlı şekillendirme (Single point incremental forming-SPIF)

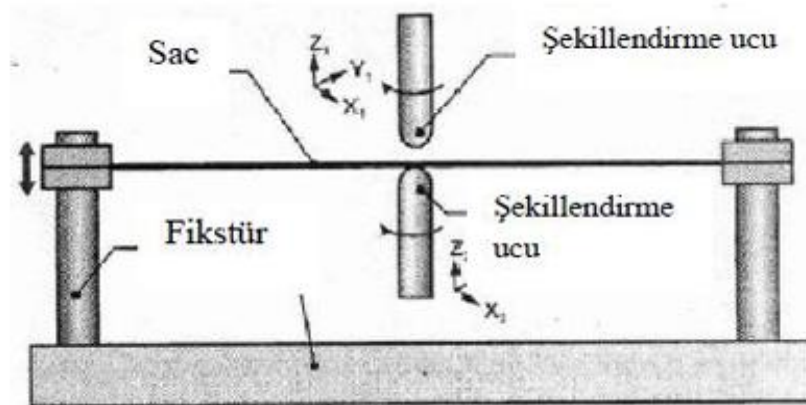
Artımlı sac şekillendirme sürecinde çeşitlilik unsurlarından biri, saca temas eden nokta sayısıdır. Tek takım kullanıldığında temas sayısı tek, karşı takım veya destek, alt kalıp kullanıldığında ise temas noktası iki olabilmektedir. Bu yöntemlerden ilki SPIF tek noktada temas esasına dayanan, kalıp veya 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. Düz sac, detayları Şekil 2. 1’de gösterilen metal levha 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 sürecidir.



Şekil 2. 1:SPIF- ekipman kesit görünüşü

2.2 Karşı takım ile artımlı şekillendirme(Incremental forming with counter tool-IFWCT)

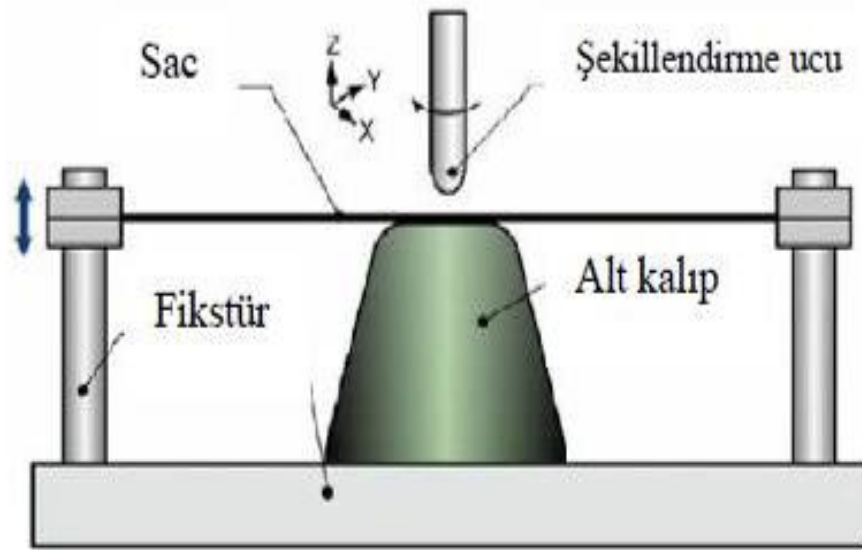
Bu yöntemde, tek nokta temas yönteminden farklı olarak, alt plaka yerine, üstteki takım ile senkronize hareket eden karşı takım vardır. Bu süreçte karşı takım, alt destek kalıbı ya da alt kalıp görevini yerine getirmektedir. Karşı takım, her parça için alt kalıp ya da destek gibi kullanılabilirdiğinden, esnek kalıp (flexible support) olarak da adlandırılır. Süreçte şekillendirme iki takımın hareketiyle sağlandığından dolayı, robot veya ikinci takımın hareketini simule edebilen çok eksenli işleme merkezleri kullanılır. Karşı takım kullanarak şekillendirme yönteminde, sac tutucu plaka Şekil 2.2' deki gibi Z yönünde hareketli veya sabit konumda olabilir.



Şekil 2. 2:IFWCT yöntemi ile şekil verme sürecinin şematik görünümü

2.3.2 Alt kalıp kullanarak artımlı şekillendirme(TPIF-Kismi Kalıp)

Bu yöntemde, alt destek yerine parça formuna göre işlenmiş kalıp kullanılmaktadır. Yöntemde alt kalıp kullanıldığından dolayı, kalıpsız şekillendirme olarak nitelendirilmemesine rağmen prototip ve düşük adetli üretim açısından, kalıbın tek tarafına ihtiyaç duyulması nedeniyle konvansiyonel yöntemlere göre maliyet ve zaman açısından avantaj sağlamaktadır. Form verme işleminde sac, kalıp ve takım arasında kaldığından dolayı, diğer yöntemlere göre geometri doğruluğu açısından daha hassastır.



Şekil 2. 3.2:TPIF

Süreçte, parçaya özel alt kalıp kullanılması, kalıp malzemesi ve üretimi göz önüne alındığında konvansiyonel yöntemlerdeki kadar olmasa da ekstra maliyet oluşturmaktadır. İşçilik maliyetlerinde değişkenlik olmayacağından, kalıp maliyeti, seçilen kalıp malzemesine göre (çelik, alüminyum, plastik, ahşap ya da köpük) değişkenlik göstermektedir. Ayrıca üretim esnekliği, üretilen kalıbın sadece spesifik parça üretiminde kullanılmasından dolayı diğer yöntemlere (SPIF ve TPIF-Kısmi Kalıp) göre düşüktür.

2.4 Tek Nokta Artımlı şekillendirmenin avantajları ve dezavantajları

Tek nokta artımlı şekillendirme avantajları;

- Kalıpların basitleştirilmesiyle şekillendirme maliyeti azaltılmıştır.
- Parçanın CAD dosyası kullanılarak, üretime direkt olarak başlanılabilir.
- Erkek veya dişi kalıp kullanılmadan parça şekillendirilebilir.
- Tasarım değişiklikleri kolay ve hızlı bir şekilde uygulanabilir.
- Yöntem konvansiyonel CNC freze tezgahında uygulanabilir.
- Dikey ilerlemenin küçük adımlarla yapılmasından dolayı, proseste meydana gelen kuvvetler, konvansiyonel proseslere göre daha küçük olmaktadır.
- Parça ebatları, tezgâhın limitleri ile sınırlıdır.
- İyi bir yüzey kalitesi elde edilebilir.

Tek nokta artımlı şekillendirme dezavantajları;

- Negatif şekillendirme yönteminin dezavantajı kenar ve köşelerde kolaylıkla çatlakların oluşmasıdır. Keskin kenar ve köşeler olmadığı takdirde uygulanması kolaydır.
- Konvansiyonel derin çekme operasyonlarına göre daha uzun şekil verme süresi gerekmektedir.
- İmalat süresinin uzun olması, düşük adetli üretim ihtiyaçlarını karşılarken seri üretimde kullanımını kısıtlamaktadır.
- Dik açılı duvarlara, form verilebilmesi için çok-kademeli şekil verme stratejileri kullanılmalıdır.
- Oluşan geri yaylanma, düzeltici algoritmaların kullanımı ile önlenabilmektedir.
- Dış bükey radyus ve büküm kenarlarında, geometrik doğruluk daha az olmaktadır. (Durgun 2017)[1]

3. MATERYAL VE METOT

Deneyler için seçilen malzeme özellikleri ve uygulanan metotla birlikte deney ekipmanlarına değinilmiştir.

3.1 Alüminyum Alaşımları

Saf alüminyumun yumuşak, dayanımının düşük oluşu nedeni ile kullanım alanı sınırlıdır. Bu nedenle alüminyum, mekanik özelliklerini iyileştirmek için alaşım yapılarak kullanılır. Alaşım sayesinde ısıtılmalara de elverişli hale getirilir. Soğuk ve sıcak olarak biçimlendirilmesi kolay, makinede talaş çıkartılması zordur. Makine ile yapılan işlemede yüksek hız ve özel keskin takımlar kullanılır. Alüminyum, alaşım yapılarak kullanım alanı genişleyen, ısıtılma sayesinde de (sertleştirme) 600 N/ mm² dayanıma ulaşabilen bir metaldir. Sertleştirilemeyen alüminyum ise özellikle deniz suyuna dayanıklıdır. Otomat alüminyumu içerisinde %5. 5 bakır, % 0. 5 kurşun ve % 0. 5 bizmut bulunan alüminyum alaşımıdır. Makinede kolayca işlenebilir. Alüminyum alaşımları ikiye ayrılır.

3.2 Dökme Alüminyum Alaşımları

Döküm yapılarak kum ya da madeni kalıplarda elde edilen alaşımlardır. Özellikleri döküm şekline göre değişir. Alüminyum başta bakır, silisyum, mangan ve çinko olmak üzere birçok metal ile alaşım yapar. Mimaride, süslemecilikte, deniz motorları gövde ve blokların yapımında, motor parçalarında ve korozyona dayanım isteyen yerlerde silisyumlu alaşım kullanılır. Manganezle yaptığı alaşımda korozyon direnci açısından üstün özelliklere sahiptir. Çinko ile yaptığı alaşım ise ağır, ucuz, sertlik açısından oldukça iyi, ancak korozyon direnci düşüktür. Dökme alüminyum alaşımlarından, % 11 - 13. 5 silisyum, % 0 - 0. 5 magnezyum içeren dökme alüminyum alaşımı, çok iyi döküm özelliği gösterir. Talaşlı işçiliği iyi ve korozyon direnci yüksektir. Zorlanan ince kenarlı ve çarpmalara dayanıklı parçaların imalatında kullanılır. % 9 - 11 silisyum, % 0. 2 - 0. 4 magnezyum ve % 0 - 0. 5 mangan içeren dökme alüminyum alaşımı, yüksek zorlanmalı, ağır ve titreşimli çalışacak parçalar için

dökülür. Kaynak edilebilir ve korozyona dirençlidir. % 11 silisyum içeren alüminyum alaşımı ise aşınmaya karşı oldukça dirençlidir.

3.3 Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme alüminyum alaşımları, dökme alüminyum alaşımlarından daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Bu üstünlük dövme, haddeleme, çekme ve ısı işlemlerinden sonra oluşur. Bu işlemler alüminyumun yapısını inceltir ve daha homojen bir yapı oluşturur. Dövme alüminyum alaşımları üç aşamada elde edilirler. Döküm yolu ile önce büyük bloklar elde edilir. Daha sonra 300 - 500 °C sıcaklıklarda soğuk veya sıcak çekme, haddeleme ile uygun profiller haline getirilir. Gerekli zamanlarda ısı işlemleri uygulanır. % 3.5 - 4.9 bakır, % 0.2 - 1.9 magnezyum, % 0.3 - 1.1 manganez içeren dövme alüminyum alaşımları otomat tezgâhları için uygundur. % 0.6 - 1.6 magnezyum, % 0.6 - 1.6 silisyum, % 0.2 - 1 manganez, % 0 - 0.3 krom içeren alaşım ise iyi bir korozyon direncine sahiptir. Aynı alaşıma toplam % 1 - 3 kadar kurşun, kalay, bizmut ve kadmiyum katılırsa talaşlı işlemler için uygun hale gelmektedir. % 0.6 - 7.2 magnezyum, % 0 - 0.6 manganez, % 0 - 0.3 krom içeren alüminyum alaşımı dönen parçaların talaşlı işlemleri için uygundur. Özellikle optik ve hassas alet endüstrisinde kullanılır.

3.4 Malzeme

Deneylerde, numune olarak 1 mm kalınlığındaki, 105 x 105 mm boyutlarındaki alaşımlı alüminyum, AA 5754-H22 16 adet sac malzeme kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 3. 1’de ve mekanik özellikleri Tablo 3. 2’de verilmiştir.

Tablo 3. 1:Alaşımlı alüminyum AA 5754-H22 sac malzemenin kimyasal bileşimi

AL-5754 H22 PLAKANIN % KİMYASAL BİLEŞİMİ												
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Diğer	ALÜMİNYUM MİN
0.40	0.40	0.10	0.50	2.6-3.6	0.30	0	0.20	0.15	0	0	0.15	KALAN

Tablo 3. 2:Alaşımlı alüminyum AA 5754-H22 sac malzemenin mekanik özellikleri

MEKANİK ÖZELLİKLER	DEĞER
Yoğunluk	2,66 g/cm ²
Erime noktası	600 C°
Termal genleşme	24 K ⁻¹ .10 ⁻⁶
Elastide Modülü	68000 N/mm ²
Termal İletkenlik	147 W/mK
Elektriksel Direnç	0,049x10 ⁶ Ω.m
Akma Dayanımı min -max	130-180 MPa
Çekme Dayanımı min-max	220-270 MPa
Sertlik Brinell	63 HB
Uzama A50 mm %	8

3.5 Deney Ekipmanları

Deneyler, X/ Y/ Z eksenli Fanuc VMC-850B kontrol paneline sahip, mil hızı 8000 rpm, iş mili motoru 7. 5 Kw olan CNC dik işlememerkezinde yapılmıştır. Deney numunelerin üretildiği CNC dik işleme merkezi görseli şekil 3. 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1: Artımlı şekillendirme operasyonunda kullanılan dik işleme merkezi

3.5.1 Teknik özellikler

Tablo 3. 3:VMC-850B CNC Dik İşleme Merkezi Teknik Özellikler

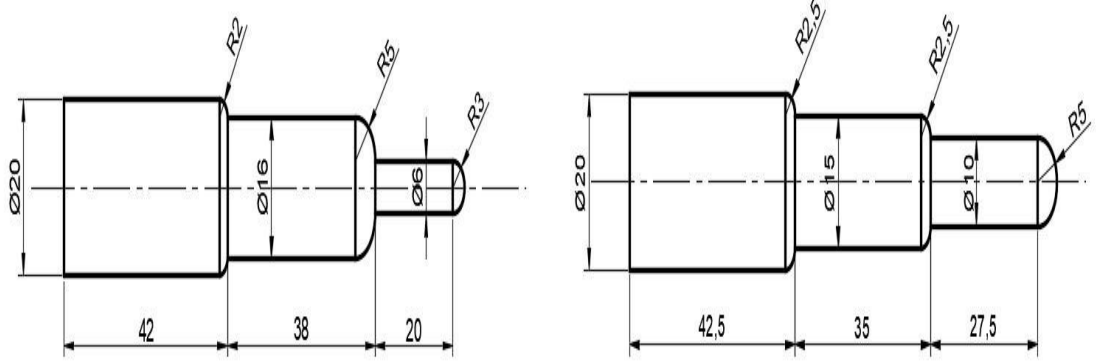
Masa boyutu	mm	1000*500
T-solt(NO.×genişlik× adım)	mm	5*18*100
Mil hızı	rpm	8000
İş mili motoru	kw	7.5
X/Y/Z eksen motoru	mm	15/ 15/ 23
X/Y/Z eksen hızlı besleme hızı	m/dk	48/ 48/ 48
X/Y/Z eksen hızlı besleme hızı	m/dk	24 /24/ 24
Takım Magazin Kapasitesi		16/24 araçlar
Takım Değiştirme Süresi	sn	7/ 2,5 saniye
Elektrik kaynağı gerekli	kva	7.5
Hava basıncı gerekli	bar	5-7
Konumlandırma doğruluğu	mm	±0,005
Yeniden konumlandırma doğruluğu	mm	±0,004
Genel boyut (U × G × Y)	mm	2600x2360x2400

Şekil 3.5.5’ te görselleri verildiği üzere deneylerde ayçiçek yağı ve hydro oil HD32 makine yağı kullanılmıştır.



Şekil 3. 2: Hydro oil HD32 ve Ayçiçek yağı görseller

Artımlı şekillendirme işleminde kullanılan $\varnothing 6$ ve $\varnothing 10$ mm takımlar Şekil 3. 2’de teknik resimleri gösterilmiştir. Takım çapı seçiminde parça minimum radyus değeri referans alınarak iç bükey formları şekillendirilecek doğrultuda seçim yapılmıştır. Deneylerde kullanılan takımların görselleri Şekil 3. 3’te verilmiştir.



Şekil 3. 3 : $\varnothing 6$ ve $\varnothing 10$ küresel uç teknik resimleri görselleri



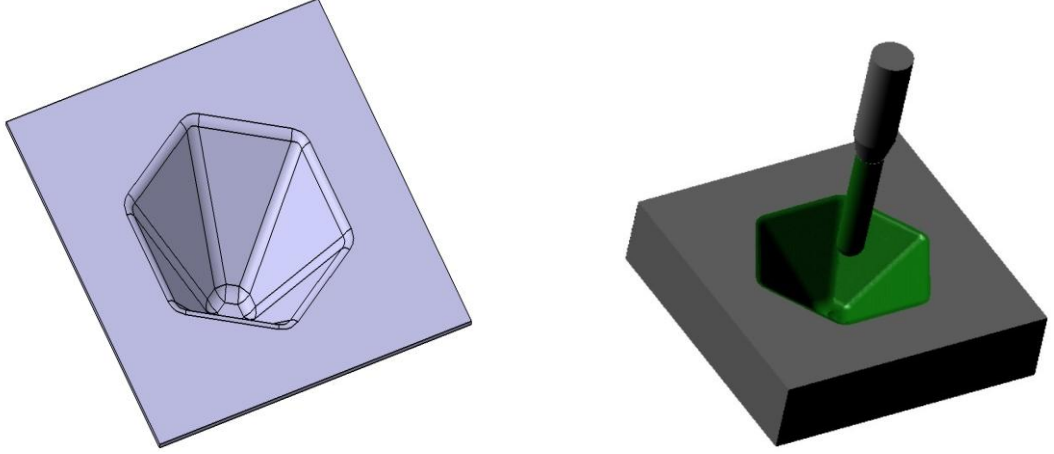
(a)

(b)

Şekil 3. 4 :(a): $\varnothing 6$, (b): $\varnothing 10$ takımlar

3.5.2 Deneysel tasarım ve deneylerin yapılışı

Negatif artımlı şekillendirme ile alüminyum alaşımlı ince sac metalin yırtılmadan şekillendirilebilmek ve yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deneylerin yapılabilmesi için, altıgen form şeklinde katı modeli CAM işlemi için CATIA V5R21 programında Surface Machinig modülünde Z Level komudu kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3. 5.1:CATIA V5R18 Programında oluşturulan deney numunesi tasarımı

Aynı yazılım kullanılarak modelin geometrik özelliğine bağlı olarak takım yolu çıkartılmıştır. Takım yolu olarak kontur dolanma kullanılmıştır. Bu döngüde takım şeklin X-Y düzleminde dolaştıktan sonra z kadar aşağıya inmekte ve tekrar kontur dolaşmaktadır. Bu işlem, deney numunesi tam şeklini alana kadar devam etmektedir.

Çalışmada, Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi metodu kullanılmıştır. Sonuçları analiz edebilmek için S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılmaktadır. Deneylerden elde edilen sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) çevrilerek değerlendirme yapılmaktadır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü deneylerden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılamayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. S/N oranı, üç temel performans karakteristiğine göre saptanmaktadır.

AA-5754 H22 deney numunelerinin Ra yüzey pürüzlülük faktörünün en düşük seviyede istenmesinden dolayı S/N oranı için “daha küçük-daha iyisi” performans karakteristiği seçilmiştir. S/N oranlarının hesaplanmasında kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$S/N_{SB} = \eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

Deney tasarımı ve istatistiksel analizler, Taguchi metoduna göre Minitab 17 yazılımı ile yapılmıştır. Koyunbakan[18]

Şekil 3.5.1’ de gösterilen deney numuneleri tasarım sürecinde CATIA V5R18 programında oluşturulan takım yolları CNC dik işleme merkezine aktarılarak üretilmiştir.



Şekil 3. 5.2: Deney numunesi görselleri

İşleme parametreleri Tablo 3. 4'te verilmiştir. Bu parametrelere göre şekillendirilen deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 3.3.5 'de görülen TR-200 (3200) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı ile Ra değerleri ölçülerek deneyler hakkında sonuçlar ortaya konulmuştur.

Tablo 3. 4:Şekillendirme parametreleri

Şekillendirme parametreleri	Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dak)	Duvar açısı (°)	Yağ	Takım çapı (mm)	Adım miktarı (mm)
Level 1	1000	500	50	ayçiçek	6	0.25
Level 2	1500	1000	55	makine	10	0.5



Şekil 3. 5. 3:TR-200 (3200) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Üretilen numunelerinin deneysel planı tablo 4. 1’ de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1:Deney planı

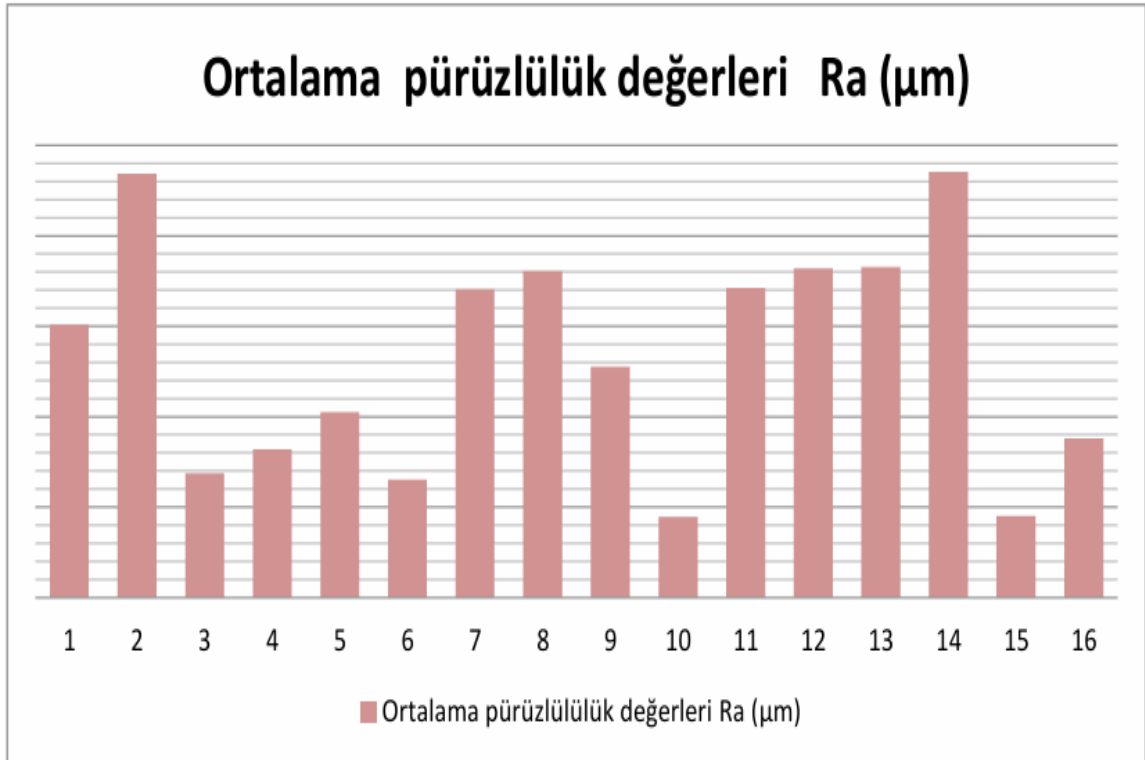
DENEY NO	Devir Sayısı (dev/dk)	İlerleme (mm/dk)	Duvar Açısı (θ)	Yağ	Takım Çapı	Adım Miktarı(mm)
1	1000	500	50	Makine	$\varnothing 6$	0.25
2	1000	500	50	Ayçicek	$\varnothing 6$	0.5
3	1000	500	55	Makine	$\varnothing 10$	0.25
4	1000	500	55	Ayçicek	$\varnothing 10$	0.5
5	1000	1000	50	Makine	$\varnothing 10$	0.5
6	1000	1000	50	Ayçicek	$\varnothing 10$	0.25
7	1000	1000	55	Makine	$\varnothing 6$	0.5
8	1000	1000	55	Ayçicek	$\varnothing 6$	0.25
9	1500	500	50	Makine	$\varnothing 10$	0.5
10	1500	500	50	Ayçicek	$\varnothing 10$	0.25
11	1500	500	55	Makine	$\varnothing 6$	0.5
12	1500	500	55	Ayçicek	$\varnothing 6$	0.25
13	1500	1000	50	Makine	$\varnothing 6$	0.25
14	1500	1000	50	Ayçicek	$\varnothing 6$	0.5
15	1500	1000	55	Makine	$\varnothing 10$	0.25
16	1500	1000	55	Ayçicek	$\varnothing 10$	0.5

Tablo 4. 1 deney planında belirttiği gibi devir sayısı $N=1500$ dev/dk ilerleme $F=500$ mm/dk, duvar açısı $\theta= 50$ derece, takım çapı $\varnothing 10$, adım miktarı $(\Delta z)= 0,25$ mm ve ayçiçek yağı kullandığımız 10 numaralı deney parametrelerine göre, ortalama pürüzlülük değeri (R_a) $0,446 \mu m$ olarak Tablo 4. 2’de görülmektedir. Bu sonuç ulaştığımız en iyi yüzey pürüzlülüğü değeridir.

Tablo 4. 2: R_a (μm) Ortalama pürüzlülük değerleri

Deney no	Ortalama pürüzlülük değerleri R_a (μm)	Deney no	Ortalama pürüzlülük değerleri R_a (μm)
1	1,508667	9	1,276333
2	2,341333	10	0,446
3	0,687333	11	1,709667
4	0,819	12	1,819667
5	1,023333	13	1,82667
6	0,649667	14	2,352
7	1,702667	15	0,450667
8	1,802	16	0,879

Tablo 4. 3: Ortalama pürüzlülük değerleri grafiği R_a (μm)



Tablo 4. 4:Analiz varyans değerleri

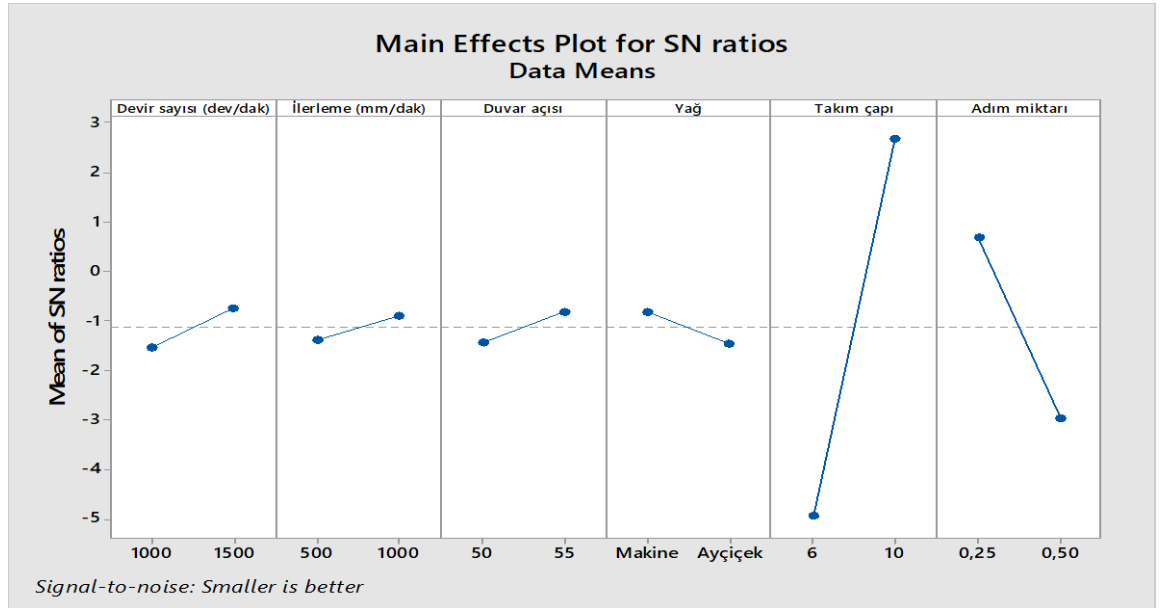
Analiz varyans değerleri							
Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamının karesi	% Etki	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F oranı	P oranı
Devir sayısı	1	2,524	%0.761	2,524	2,524	0,57	0,469
İlerleme	1	0,950	%0.286	0,950	0,950	0,22	0,654
Duvar açısı	1	1,467	%0.442	1,467	1,467	0,33	0,578
Yağ	1	1,606	%0.49	1,606	1,606	0,36	0,561
Takım çapı	1	231,929	%70	231,929	231,929	52,59	0,0000
Adım miktarı	1	53,140	%16.04	53,140	53,140	12,05	0,007
Ölçüm Hatası	9	39,689	%11.979	39,689	0,410		
Toplam	15	331,306	%100				

Minitab 2017 proğramında elde ettiğimiz varyans analizi sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğüne etkiyen parametrelerin yüzdelik etkisi hesaplaması aşağıdaki denklemde belirtilmiştir.

$$\% \text{ Contribution} := (\text{VarComp} / \text{Total Variation}) * 100$$

Tablo 4. 4' de varyans analizleri incelendiğinde, 'en küçük değer en iyisi' kuralına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin % 70 oranla takım çapı ve % 16,04 oranla da adım miktarının olduğu görölmektedir.

Tablo 4. 5:S/N rasyonları için ana etki grafiği



Tablo 4. 5' te görüldüğü üzere, N: 1500 dev/ dak F:1000 mm/dak, Duvar açısı θ : 55° Takım çapı $\varnothing 10$ ve Adım miktarı Δz :0.25 ve kullanılan makine yağı ile yapılan deneylerin en optimum değerlere ulaştığı görülmüştür.

Tablo 4. 6:S/N Oranı İçin Cevap Tablosu

S/N Oranı İçin Cevap Tablosu						
Seviye	Devir sayısı N (Dev/dak)	İlerleme F (Mm/dak)	Duvar açısı (θ) derece	Yağ	Takım Çapı ($\varnothing$) mm	Adım Miktarı (Δz) (mm)
1	-1,5202	-1,3668	-1,4259	-0,806	-4,9304	0,6994
2	-0,7259	-0,8793	-0,8202	-1,4399	2,6842	-2,9455
Fark	0,7944	0,4874	0,6057	0,6336	7,6146	3,6449
Sıra	3	6	5	4	1	2

S/N ortalamalarına ilişkin cevap tablosuna karşılık gelen değerleri Tablo 4. 6' den yorumladığımızda yüzey pürüzlülüğünün optimum düzeyde oluşmasını sağlayan, deney parametrelerinin en önemlisinin takım çapı ve adım miktarının olduğu görülmüştür.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Sac işlemeciliğinde esnek imalat için önerilen incremental şekillendirilebilirlik için yapılan deneylerde değişken adım miktarı ve ilerlemelerde, AA-5754-H22 sac malzemenin şekillendirilmesinde adım miktarının ve küresel ucun etkileri maddeler halinde belirtilmiştir.

- Yapılan deney sonuçlarına göre, negatif artışlı şekillendirme işlemi ile 1 mm kalınlığındaki AA-5754-H22 alüminyum alaşımlı sacın ortalama yüzey pürüzlülüğündeki başarı oranı % 89,4 (R-Sq = 89,4%) olarak belirlenmiştir.
- Deneyler hakkında sonuçlara ilişkin bilgiler elde edilmesi için Minitab 2017 analiz programından yararlanılmıştır.
- Minitab 2017 programı kullanılarak yapılan analizlerde S/N oranları cevap tablosuna bakıldığında, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin başında takım çapı ve adım miktarının öncelikli parametreler olduğu görülmüştür.(Bkz Tablo 4. 5)
- Yüzey pürüzlülüğünün optimum değeri [Ra] 0,446 µm olarak 10 numaralı deneyde çıktığı saptanmıştır.
- Adım miktarının düşük seçilmesi parçanın üretim süresini artırması bir dezavantaj gibi görülse de yüzey pürüzlülüğü kalitesi üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmüştür.
- Takım çapı Ø10 olan küresel uç kullanılarak yapılan deneylerde daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiş olup, şekillendirilecek malzemenin sert, işlenen malzemenin yumuşak olması durumunu göz önünde bulundurduğumuzda, kullanılacak küresel uç farklı bir malzemeyle kaplanabilir.
- S/N oranları cevap tablosunda görüldüğü gibi, deneylerde kullanılan ayçiçeği yağı ve makine yağı arasındaki değerlendirme de makine yağı kullanımının daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Cnc dik işleme merkezinin soğutma sisteminde yoğun olarak Bor yağı ile soğutma yapılması daha iyi sonuç verebilir.

6.KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Durgun, İ. (2017, September). Artımsal Şekillendirme Yöntemi İle Alüminyum Parçaların Şekillendirilmesi. In *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*.
- [2] Al-Sabur, R., Kubit, A., Khalaf, H. I., Jurczak, W., Dzierwa, A., & Korzeniowski, M. (2023). Analysis of surface texture and roughness in composites stiffening ribs formed by SPIF process. *Materials*, 16(7), 2901.
- [3] Uttarwar, P. B., Raini, S. K., & Malwad, D. S. (2015). Optimization of process parameter on Surface Roughness (Ra) and Wall Thickness on SPIF using Taguchi method. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2(9), 781-784.
- [4] Işıktaş, A. (2019). Alüminyum-karbon elyaf sandviç levhaların bükme işlemi sonrası geri esnemelerinin incelenmesi.
- [5] Bulut, C. (2008). *Artımlı şekillendirme ile AA 5754 sacın biçimlendirilmesi ve teorik modellenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [6] Güne , T.. 1990, Pres İşleri Tekniği Bölüm II, Ankara: TMMOBMMO Yayınları, Yayın No: 130.
- [7] Naresh, R., Parameshwaran, R., & Ram, V. V. (2020). 1Department of Mechanical Engineering, Birla Institute of Technology and Science-Pilani, Hyderabad Campus, Hyderabad, India, 2Department of Civil Engineering, Birla Institute of Technology and Science-Pilani, Hyderabad Campus, Hyderabad, India. *Bio-based Materials and Biotechnologies for Eco-efficient Construction*, 203.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAMI)

- [8] Kumar, A., Gulati, V., & Kumar, P. (2018). Investigation of surface roughness in incremental sheet forming. *Procedia computer science*, 133, 1014-1020.
- [9] Mumcu, H. (2009). EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MAXIMUM FORMING ANGLE AND WALL THICKNESS VARIATION ON Al-1050 SHEET METAL IN NEGATIVE INCREMENTAL FORMING. *Technological Applied Sciences*, 4(2), 182-191.
- [10] SAMTAŞ, G., & KORUCU, S. (2019). Temperlenmiş Alüminyum 5754 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu Kullanılarak Optimizasyonu. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 45-60.
- [11] Sertkaya, E. *Aynı kalınlıktaki tek ve çok katmanlı sacların derin çekme özelliklerinin incelenmesi ve karşılaştırılması* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [12] Tamer, M. E. (2014). *Numerical and experimental investigation of incremental sheet forming* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [13] Murugesan, M., Bhandari, K. S., Sajjad, M., & Jung, D. W. (2021). Investigation of Surface Roughness in Single Point Incremental Sheet Forming Considering Process Parameters. *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res*, 10, 443-451.
- [14] Trzepieciński, T., Szpunar, M., Dzierwa, A., & Żaba, K. (2022). Investigation of surface roughness in incremental sheet forming of conical drawpieces from pure titanium sheets. *Materials*, 15(12), 4278.
- [15] Sisodia, V., & Kumar, S. (2018, May). Influence of process parameters on surface roughness in single point incremental forming using dummy sheet. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 361, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.

- [16] Aydın, E. (2023). TAGUCHİ OPTİMİZASYON METODUNUN İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA KULLANIMI: MİNİTAB ÖRNEĞİ. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 28(3), 1049-1068.
- [17] Önal, Ü., Seçgin, Ö., Özsert, İ., Çoban, A., & Cesur, İ. (2024). A New Approach to Multi-Stage Incremental Forming Method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-10.
- [18] Koyunbakan, M., Ünüvar, A., Eskizeybek, V., & Avcı, A. (2021). CETP kompozitlerin ağaç matkabıyla delinme performanslarının deneysel incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 770

NOT:

- Projenin yazımında 1,5 satır aralığı kullanılmalıdır. Bir satır aralığı, yazımda kullanılan yazı boyutunun karakter büyüklüğü kadar boşluğu ifade eder. Şekillerin ve çizelgelerin açıklamaları ile alıntılar, dipnotlar, eşitlikler, dizinler ve kaynaklar listesinin yazımında ise 1 satır aralığı kullanılmalıdır.

Bölümler daima yeni bir sayfa ile başlamalıdır.

- Paragraflar ilk satır soldan 1,25 cm içeriden başlamak üzere “iki yana yaslı” şekilde, 1,5 aralıklı olarak yazılmalıdır.
- Yazımda noktalama işaretlerinden sonra bir karakter boşluk bırakılmalıdır.
- Sayfa yazım düzeni üst kenardan 3 cm, alt kenardan 3 cm, sağ kenardan 2 cm ve sol kenardan 4 cm boşluk bırakılacak şekilde olmalıdır.
- Proje, bilgisayar ortamında gelişmiş bir kelime işlemci programında “Times New Roman” yazı tipi ve “siyah” yazı rengi ile yazılmalıdır. Yazı büyüklükleri ayrıca verilmiştir.
- Kaynakların yazımı APA, Chicago, IEEE, ISO 690, MLA vb. gibi yaygın kaynak yazım stillerinden herhangi biriyle yazılabilir.
-