

AL 5005-H24 ALAŞIMININ CNC TORNADA İNKREMENTAL ŞEKİLLENDİRİLME
YÖNTEMİ İLE ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Güven TOKDEMİR

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Muammer GAVAS
Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan MUMCU

Mayıs - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Güven TOKDEMİR'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "AL 5005-H24 ALAŞIMININ CNC TORNADA İNKREMENTAL ŞEKİLLENDİRİLME YÖNTEMİ İLE ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

.... / / 2020

Prof. Dr. Şahmurat ARIK

Enstitü Müdürü, Lisansüstü Eğitim Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Anabilim Dalı Başkanı, İleri Teknolojiler Bölümü

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Danışman, Makine Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Hakan MUMCU

Ortak Danışman, Makine Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur KÖKLÜ

Makine Mühendisliği Bölümü, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN

Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %14 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Danışman

Prof. Dr. Muammer GAVAS

Öğrenci

Güven TOKDEMİR

Ortak Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hakan MUMCU

AL 5005-H24 ALAŞIMININ CNC TORNADA İNKREMENTAL ŞEKİLLENDİRİLME YÖNTEMİ İLE ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Güven TOKDEMİR

İleri Teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, 2020

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muammer GAVAS

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan MUMCU

ÖZET

Son yıllarda, inkremental sac şekillendirme yöntemleri üzerinde çok sayıda araştırma ve çalışmalar yapılmasına rağmen, endüstriyel uygulamalarda istenilen seviyeye gelinememiştir. İnkremental şekillendirme yöntemi, üretim teknikleri kapsamında geliştirmeye açık, prototip üretim yöntemleri açısından gelecek vaat eden tekniklerdir. Daha önceki çalışmalarda ağırlıklı olarak CNC frezede deneylerin ve üretim yöntemlerinin gerçekleştirildiğini görülmektedir. Bu çalışmada malzeme olarak Al 5005 alaşımı seçilmiştir. Çünkü daha önceki yapılan çalışmalarda Al 5005 sac levhaların inkremental şekillendirilmesi ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada CNC torna tezgahında negatif inkremental şekillendirme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekillendiren 1mmlik Al 5005-H24 sac levhasının, takım yolu etkisi, devir ve adım miktarının levhadaki et kalınlık değişimleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Farklı takım yolları stratejileri denenmiş ve derinlik arttırılmaya yönelik deneyler yapılmıştır. Çeşitli duvar eğim açıları arasında deneyler yapıldı 30 mm yüksekliğine kadar olan kesik koni formundaki levhalar araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre maksimum duvar eğim açısı θ_{max} : 64° bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: CNC Torna, Maksimum Duvar Açısı, Negatif İnkremental Şekillendirme.

INVESTIGATION OF SHAPABILITY PROPERTIES OF AL 5005-H24 ALLOY BY CNC INCREMENTAL SHAPING METHOD

Güven TOKDEMİR

Advanced Technologies, M.S Thesis, 2020

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muammer GAVAS

Thesis Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Hakan MUMCU

SUMMARY

In recent years, although a lot of research and studies have been done on increasing sheet metal forming methods, the desired level has not been reached in industrial applications. Incremental shaping method, which is open to development within the scope of production techniques, are promising techniques in terms of prototype production methods. In previous studies, it is seen that experiments and production methods were carried out predominantly in CNC milling. Al 5005 alloy was chosen as the material in this research. Because, in previous studies, there is no study related to increasing forming of Al 5005 sheet metal. In this study, it was carried out by using negative incremental shaping method on CNC lathe. The effects of the forming 1mm Al 5005-H24 sheet plate on the tool path effect, speed and step amount on wall thickness changes and surface roughness were investigated. Different tool path strategies have been tried and experiments have been conducted to increase depth. Experiments were carried out between various wall inclination angles. Cut cone-shaped plates up to 30 mm in height were investigated. According to the experimental results, the maximum wall inclination angle θ_{max} : 64° was found.

Keywords: CNC Lathe, Maximum Wall Angle, Negative Incremental Shaping.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında emeği bulunan, bilgi ve donanımlarını benden esirgemeyen ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Dr. Muammer GAVAS'a, ve çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan MUMCU'ya, çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	6
2.1. Döverek Şekillendirme	7
2.1.1. Haddeleme	7
2.1.2. Dövme	7
2.1.3. Ekstrüzyon.....	8
2.2. Basma ve Çekme Şartlarına Göre Şekillendirme.....	8
2.2.1. Derin çekme	8
2.2.2. Sıvama	10
2.3. Bükerek Şekillendirme	10
3. İNKREMENTAL ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİ.....	12
3.1. Negatif İnkremental Şekillendirme.....	13
3.2. Karşı Takım Kullanarak Sayısal Kontrollü Şekillendirme	14
3.3. İki Noktalı İnkremental Şekillendirme	14
3.3.1. Tam kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme	15
3.3.2. Kısmi kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme.....	15
3.4. Çok Aşamalı İnkremental Şekillendirme	16
3.5. İnkremental Şekillendirme Yöntemiyle Elde Edilen Ürünler.....	16

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	18
4.1. Denejde Kullanılacak Malzeme.....	18
4.2. Denejde Kullanılacak Kalıbın ve Malzemenin Hazırlanması.....	19
4.3. Denejde Kullanılacak CNC Tezgahı.....	20
4.4. Şekillendirme Takımı.....	20
4.5. Yağlama.....	21
4.6. CNC Programlama.....	22
4.7. Deneysel İşlemler.....	23
4.7.1. Et Kalınlığı Ölçümleri.....	31
4.7.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	36
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	42
5.1. Sonuçlar.....	42
5.2. Öneriler.....	43
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	444
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Haddeleme yönteminin üretim aşamaları	7
2.2. Derin çekme yöntemiyle üretilmiş kaplar	9
2.3. Derin çekme işleminin dört safhası	9
2.4. Sıvama işlemi aşamaları	10
2.5. V-bükme ve kenar bükme işlemleri	11
3.1. a) Negatif inkremental şekillendirme, b) pozitif inkremental şekillendirme	13
3.2. Negatif inkremental şematik gösterimi	13
3.3. Karşı takım kullanarak inkremental şekillendirme	14
3.4. Tam kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme	15
3.5. Kısmi kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme	16
3.6. ISF işlemi ile yapılan toplama arabanın kaput paneli	16
3.7. a) Orijinal manifold ısı kalkanı, b) ISF İle üretilen ısı kalkanı	17
3.8. Otomotiv bölümünün yeniden şekillendirilmesi; a) Seri üretim otomobil, b) İŞY ile sınırlı sayıda üretilen otomobil	17
3.9. İmlant sanayinde kullanılan örnekler; a) Çene ve yüz implantlarında kullanılan kranial plakası, b) Diş plakası	17
4.1. Deney numunesinin hazırlanışı	19
4.2. Deney numunesinin kalıba bağlanması	20
4.3. Sertleştirilmiş kademeli küresel uçlu şekillendirme takımı	20
4.4. Deney numunesinin yağlanması	21
4.5. Takım yolu dışarıdan merkeze gösterimi.	23
4.6. 1 nolu deneyin; a) ön görünümü, b) arka yüzey görünümü	24
4.7. 2 nolu deneyin; a) ön görünümü, b) arka yüzey görünümü	24
4.8. İnkremental şekillendirme yöntemi işlem sırasındaki görünümü	25
4.9. Takım yolu merkezden dışarıya doğru gösterimi	25
4.10. Takım yolu merkezden dışa doğru verilen 4 nolu deney gösterimi	26
4.11. Deney 7'nin arka yüzey görünümü 65° eğim açısında yırtılması	27
4.12. Deney 8'in arka yüzey görünümü 65° eğim açısında yırtılması	27
4.13. Takım yolu yırtılmanın olduğu yere doğru kesiştirilmesinin şematik gösterimi	28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.14. Takım yolunun yırtılmanın olduğu bölgede kesiştirilme işleminin gerçekleştirildiği 9 nolu deney çalışması ön yüzeyi	28
4.15. Takım yolunun yırtılmanın olduğu bölgede kesiştirilme işleminin gerçekleştirildiği 9 nolu deney çalışması arka yüzeyi.....	29
4.16. Duvar eğim açısı 64° de yapılan 13 nolu deneyin gösterimi.	30
4.17. 10, 12 ve 13 nolu deneylerin gösterimi.	30
4.18. Duvar eğim açısı 60° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü.	32
4.19. 60° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemenin kalınlık analizi.	32
4.20. Duvar eğim açısı 62° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü.	33
4.21. 62° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemenin kalınlık analizi.	33
4.22. Duvar eğim açısı 60° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü.	34
4.23. 64° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemenin kalınlık analizi.	34
4.24. 60°, 62° ve 64° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemelerin kalınlık analizi.	35
4.25. 60° eğim açısıyla işlenen 18 nolu deneyin gösterimi.	36
4.26. TESCON TR-200 Yüzey pürüzlülük cihazıyla numunelerimizin Ra değerlerinin ölçümü.	36
4.27. Takım yolu merkezden dışarıya doğru olan 22 nolu deney gösterimi.....	37
4.28. 19 nolu deneyde Ra: 0,662 µm çıkan parça gösterimi.	38
4.29. 21 nolu deneyde Ra: 0,112 µm çıkan deneyin gösterimi.	39
4.30. İlerleme hızı 15 m/dk verilen 23 nolu deneyin ön görünümü.	39
4.31. Yığılmayı önlemek amacıyla takım yolunun dışarıdan verilmesinin gösterimi.	40
4.32. Takım yolu yardımıyla çapakları alınan 24 nolu deneyin gösterimi.	40
4.33. Takım yolu yardımıyla çapakları alınan 24 nolu deneyin mihengir ile yükseklik ölçümü.	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Alaşımli alüminyum Al 5005-H24 sac malzemenin kimyasal özellikleri	18
4.2. Alaşımli alüminyum Al 5005 sac malzemenin mekanik özellikleri	19
4.3. Deney numunelerinin istatistiksel verileri	31
4.4. 60° eğim açısında farklı devir hızı, adım ölçüleri ve yüzey pürüzlülükleri	37
4.5. 60°,62° ve 64° yüzey pürüzlülüğüne etkisi	41



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

°	Derece
Δz	Adım Miktarı
Θ	Açı

Açıklama**Kısaltmalar**

Al	Alüminyum
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
ISF	Incremental Sheet Forming
ISP	Incremental Single Point
İŞY	İnkremental Şekillendirme Yöntemi
TPIF	Two Point Incremental Forming

Açıklama

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde daha az üretim zamanı ile kaliteli ürün, daha az kurulum maliyeti ve herhangi bir parça karmaşıklığına daha esnek olabilen yeni uygulama yöntemleri aranmaktadır. Son birkaç on yılda, ürün üreticileri arasındaki rekabet giderek daha da sertleşmektedir. Özellikle Müşterilerin ihtiyaçları nedeniyle, üreticilerin ve tedarikçilerinin yeni ürünler üretmeleri ve mümkün olan en kısa sürede iyileştirmeleri gerekmektedir. Örneğin; 20. yüzyılda otomotiv üreticileri yaklaşık 7 ila 10 yıl içinde yeni bir araba modeli başlatıyorlarsa, şimdi, 21. yüzyılda, yaklaşık 4 yıl içinde yeni modeller başlatmaktadırlar. Endüstrinin şu anda esnek üretim süreçlerine odaklanmasının sebebi, ürünlerin küçük partiler halinde üretilmesi ve minimum üretim maliyetinin amaçlanmasıdır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar, müşteri taleplerini karşılamak için yeni süreçler ve yöntemler, düşük maliyetli ve küçük imalatlar için yenilikçi ve esnek süreçleri düşük maliyetle ve tasarımdan üretime daha az zamana odakladı. Metal şekillendirmede en çok kullanılan işlemlerden biri artışlı şekillendirme diğer bir adıyla inkremental şekillendirme yöntemidir (İŞY).

İnkremental şekillendirme yöntemi yeni ürünlerin geliştirilmesi için zaman ve maliyetlerin azaltılmasını sağlar ve küçük hacimli üretim için ve ayrıca prototip üretimi için uygundur. Kalıpsızdır ve ayrıca pres makinalarına ihtiyaç duyulmaz (Nasulca ve Oancea, 2017).

Amaç

Bu tezin amacı inkremental şekillendirme yöntemi kullanılarak Al 5005 alaşımının CNC tornada şekillendirilebilirliğini araştırmaktır. Al 5005 alaşımı CNC tornada işlenecek biçimde bağlama imal edilmiştir. Bu kalıba Alüminyum levhalar bağlanarak farklı takım yolları, ilerlemeler ve devir parametreleri kullanılarak birçok deney yapılmıştır. Bu deneylerle amacımız Alüminyum alaşımının duvar kalınlığı, yırtılma açısı ve şekillendirilebilirlik gibi birçok sonucu elde etmektir.

Tezin Faydaları

Bu tez çalışması CNC tornada inkremental şekillendirme yönteminin uygun olup olmadığını bize göstermektedir. Alüminyum alaşımları prototip parçaların kalitesini arttırmasında önemli bir rol oynamıştır. Bu tez Al 5005 üzerinde inkremental şekillendirme denemesinin ilk girişimidir. Dahası, bu proje gelecekte tıbbi implant, uzay, havacılık sanayinde ve otomobil uygulamaları için inkremental tabaka oluşturma araştırmasına ve geliştirmesine izin verir.

Tezin Organizasyonu

Bu tez, çalışmanın genel bir girişini, amacını ve faydalarını veren bölüm 1'den başlayarak 5 bölüme ayrılmıştır. Bölüm 2, sac şekillendirme yöntemlerini anlatır. Bükerek, derin çekme, sıvama, çok noktalı derin çekme yöntemleri hakkında genel bilgi verir. Bölüm 3, inkremental biçimlendirme işlemleri uygulamaları ve tek noktalı inkremental biçimlendirme ve çok aşamalı stratejilerin daha ayrıntılı bir incelemesi yapılmıştır. Bölüm 4, deneysel çalışma hakkında, yani deneysel kurulum ve onun ayrıntılı açıklaması hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir. Bölümün sonunda, parçaları incelemek için kullanılan metodoloji gösterilmektedir. 5. Bölüm, her bir deneyden elde edilen nihai sonuçları ayrıntılı bir açıklama ile sağlamakta ve sonuçlar arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Son olarak, çalışmanın sonucunu sunmakta ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Literatür Araştırması

Tokuhiro ve arkadaşları CNC tornada kalıpsız makaslama ve inkremental yöntem kullanılarak tek tip kalınlıklı duvarlara sahip silindir imalatına yönelik bir araştırma yapmışlardır. Çok amaçlı elastomer kullanılarak kalıpsız eğirme ile silindire dikey duvarlı ürünler imal etmek mümkün olduğu kanıtlanmıştır. Bu tekniği pratik kullanıma sokmak için bir alüminyum alaşımı (A5052-O) levha kullanarak silindirin duvar kalınlığını kontrol etmek için deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerinim veri tabanı, sabit proses parametreleri kullanılarak oluşturulan silindirler için birleştirildi ve daha sonra bu tekniğin deformasyon özellikleri analiz edilmiştir (Tokuhiro vd., 2018).

Mulay ve arkadaşları bu çalışmada AA5754 H22 alüminyum ve DC04 çelik levhalar için yüksek hızlı inkremental levha şekillendirme teknolojisinin performans değerlendirmesi yapılmıştır. Deneyler CNC freze tezgâhında yapılmıştır. Daha yüksek verim elde etmek için deneylerin yüzey pürüzlülüğü, kalınlık dağılımı ve mikro sertlik testleri yapılmıştır. Sac malzemelere farklı duvar eğim açıları ve farklı adım parametreleri verilerek deneyler yapılmış ve AA5754-H22 malzemesi için maksimum duvar eğim açısı 62.58° bulunmuştur. DC04 Çelik sacının ise maksimum duvar eğim açısı 70° bulunmuştur. Adım derinliğinde hafif bir artış yapıldığında dalgalı yüzeylere yol açtığı grafiklerle gösterilmiştir ve kalınlık dağılımı sinüs yasasıyla tahmin edilmiştir (Mulay vd., 2018).

Nasulea ve Oancea bu makalede, proses parametreleri ve etkileri, duvar kalınlığı dağılımı, geri yaylanma etkisi, şekillendirilebilirlik, yüzey kalitesi ve mevcut ana araştırma yönleri açısından inkremental tabaka oluşturma teknolojilerinin mevcut durumunu sunmayı

amaçlamaktadır Araştırmacılar tarafından araştırılan ana konular tartışıldı ve ISF(Incremental Sheet Forming)'deki her bir konunun sonuçları sunulmuştur. Şekillendirme aracı, takım parametreleri ve takım yolu, deforme olan malzemeler, yüzey pürüzlülüğü, duvar kalınlığı dağılımı, geri yaylanma ve doğruluk, şekillendirilebilirlik, stres ve gerinim ve ISF'deki kuvvetler araştırılmıştır. FEM simülasyonu ISF'de kullanılabilirliği anlatılmıştır. ISF süreçleri belirli bir standartı yoktur. Bunun için araştırılmaya ve geliştirilmeye açık bir sektör olduğundan bahsedilmiştir (Nasulea ve Oancea, 2017).

Ambrogio ve arkadaşları bu çalışmada titanyum ve alaşımlarının protez ve özel yapım gerektiren parçaların üretim yolları anlatılmıştır. İşlenen Ti alaşımları karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Böylece araştırılan süreçlerin özelliklerini ve protezlerin fizibiliteyi hakkında bilgi vermektedir. Esneklik, ucuzluk ve zamana göre analizler yapılmış, acil olarak yapılması gereken protezlerin üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Ambrogio vd., 2017).

Durgun çalışmasında otomotiv sektöründe yaygın kullanım alanı bulmaya başlayan Al 6016 alaşımı kullanılarak az sayıdaki parça üretiminde artımlı şekillendirme yöntemi başarı ile kullanılabilirliğini kanıtlamıştır. İnkremental şekillendirme uygulamalarında genellikle kalıp kullanılmamaktadır. Fakat bazı durumlarda sacın geri yaylanma etkisini azaltmak için tek taraflı kalıp kullanıldığını gösterilmiştir. Yapılan deneylerden edilen parçadaki geometrik sapmalar incelenerek oluşan geri yaylanma durumu incelenmiştir (Durgun, 2017).

Durgun ve Sakin bu çalışmada kalıpsız, erkek ve dişi kalıplı olmak üzere farklı teknikler ve farklı takım yolu parametreleri denenerek araçlarda kullanılan ön çamurluk sacının ½ ölçekli geometrisinin üretilmesini amaçlamışlardır. Kalıplı şekillendirme denemelerinde ağırlıklı olarak dişi kalıp ile form verme işlemi üzerinde çalışılmıştır. Erkek kalıp ile yapılan çalışmada ise sacın sürekli olarak gergin olması gerekmektedir. Her Δz seviyesinden sonra sac tutucu plakanın ağırlığı ve aşağı yönde hareketi sayesinde parça başarılı bir şekilde üretilmiştir. Elde edilen geometri oldukça iyi seviyededir. Dişi kalıpla şekillendirme ile karşılaştırıldığında ise, Δz level algoritmasının bu yöntem için kullanılması üretim süreleri açısından önemli derecede avantaj sağlandığı tespit edilmiştir (Durgun ve Sakin, 2016).

Azevedo ve arkadaşları bu çalışma, SPIF işleminde kullanılan yağlama türlerinin, özellikle Al 1050 ve DP780 çelik sacların yüzey kalitesine etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Yüzey kalitelerini ölçmek için testler yapılmıştır. Alüminyumla çelik levha karşılaştırıldığında Al 1050 sacında verimli sonuçlar vermesine karşın DP780 çelik levhasında zıt eğilimler gözlemlenmiştir. İnkremental şekillendirme işleminde greslerin alüminyum üzerinde verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Azevedo vd., 2015).

Ambrogio ve arkadaşları CNC freze makinesinde gerçekleştirilen inkremental şekillendirme yönteminin güç talebi ölçmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar, CNC torna tezgahlarında gerçekleştirilen inkremental biçimlendirme işlemleriyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İnkremental işlemlerde tasarrufa ve iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. En verimli çözümü bulmak için çalışma döngüsü, zaman çalışması, ve enerji verimi üzerinde analizler yapılmıştır (Ambrogio vd., 2014a).

Ambrogio ve Gagliardi CNC tornada farklı termal özelliklere sahip iki hafif alaşım AA5754 ve Ti6Al4V incelenmiştir. Bir alüminyum ve bir titanyum seçilmiştir. Levhannın sıcaklık eğilimini tahmin etmek için yinelemeli algoritma uygulanmıştır. ISF'deki sıcaklık artışı olgusunu haklı çıkarmak için yapılan fiziksel hipotezi ve işlem sırasındaki sıcaklık tahmininin güvenilirliğini doğrulayan tatmin edici sonuçlar bulunmuştur. Tabakalar üzerindeki sıcaklık değişimi termal kamera ile ölçülmüştür. Ti6Al4V malzemesi AA5754'den daha fazla plastik deformasyon göstermiştir. Aynı işlemler titanyum malzemeye uygulandığında alüminyuma göre iki kat daha fazla sıcaklık artışı olduğu gözlemlenmiştir (Ambrogio ve Gagliardi, 2015).

Amborigo ve arkadaşları AA6082 tabakalarının yüksek hızlı inkremental biçimlendirmenin malzeme özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Takım hızının malzeme davranışı üzerindeki etkisinin belirlenmesi için deneysel araştırmalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda malzemenin içyapısının yüksek hızdan etkilenmediği anlaşılmıştır (Amborigo vd., 2014b).

Neagoe'nun makalesinin temel amacı, CNC torna tezgahı üzerinde inkremental şekillendirme işlemi ile yapılan kesik konik parçaların üretiminde yüzey kalitesi parametrelerini değerlendirmektir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ilerleme ve koni açısına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Koni açısının $\Psi = 30^\circ$ de olduğunda en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir. Genel olarak CNC torna üzerindeki ISF'nin hafif çelik DC04Am'deki içi boş konik parçaların imalatında küçük parti üretimi için belirli bir avantaj ile başarılı bir şekilde kullanılabileceği araştırılmıştır (Neagoe, 2013).

Moayedfar ve arkadaşları bu çalışmasında iş mili hızı, takım malzemesi gibi bazı işlem değişkenlerinin etkisini araştırılmış ve uygun bir mil hızının ve takım ilerleme hızının, yüzey kalitesini ve penetrasyon oranını iyileştirdiğini gösterilmiştir. Deney sırasında, ilerleme hızı kademeli olarak arttığında yüzey kalitesinin arttığı, ancak çok yüksek ilerleme hızında sürtünme ve titreşim kusurları nedeniyle yüzey kalitesinin bozulmasına neden olduğu da gözlemlenmiştir. İnkremental şekillendirme işleminde soğutma sıvısı tavsiye edilmemektedir, çünkü işleme

esnasında soğutucusu ince sac metale reaksiyona girer ve onu kırılğan hale getirdiği gözlemlenmiştir (Moayedfar vd., 2013).

Tamer ve arkadaşları bu çalışmada temel amaçları, iki basit geometriyi (kesik koni ve kesik kare piramit) artışı şekillendirme yöntemiyle üretmek üzere tasarlanmış olan takım yollarının sayısal analizlerinin aynı takım yolları kullanılarak yapılan imalat sonrası elde edilen sonuçlarıyla karşılaştırılmasıdır. Buradan yola çıkarak, çalışmada kullanılan yöntem olarak sonlu eleman yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu iki parça sonlu elemanlar simülasyonları ile gerçek imalat sonucunda elde edilen ölçümler karşılaştırılmıştır. Kesik kare piramit ve kesik konik parçaları üzerinden deneyler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu kapalı adım sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen veriler optik ölçüm sonuçları ile neredeyse birebir uyumlu çıkmıştır (Tamer vd., 2013).

Mumcu bu çalışmasında, Al-1050-H14 sacda yırtılma olmadan oluşturulan kesik piramit geometrisinde maksimum şekillendirme açısı deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, şekillendirilmiş metalin et kalınlığı değişimleri de ölçülmüştür. Deneysel çalışmalarını negatif dikey şekillendirme kullanılarak CNC dikey freze tezgahında gerçekleştirmiştir. Levhada yırtılma olmadan maksimum şekillendirme açısını $\theta_{max} = 61^\circ$ olarak elde etmiştir. İşlem yapılan yüzeylerde minimum duvar kalınlığı 0,18 mm bulunmuştur (Mumcu, 2009).

Jeswiet ve arkadaşları bu araştırmada prototip sac levha parçaları oluşturmak veya düşük hacimli üretim çalışmaları yapmak isteyen tasarımcılar ve üreticiler için yönergeler oluşturmuşlardır. Son gelişmelere göre geleneksel şekillendirme yöntemlerinde yapılan değişiklikleri açıklamaktadırlar. Pahalı kalıplara gerek kalmadan CNC teknolojisini kullanarak asimetrik parçalar oluşturmaya yönelik çalışmalara odaklanılmıştır. Asimetrik inkremental sac şekillendirme, sac metal şekillendirmede devrim yapma potansiyeline sahip ve tüm üretim aşamalarında kullanılabilirliği anlatılmış ve bu yöntemin doğuşu ve mevcut durumu hakkında bilgi vermişlerdir (Jeswiet vd., 2005).

2. ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMLERİ

Her imalat metodunun sınırlılıklarının olması nedeniyle her çeşit makine parçası her imalat metodu ile şekillendirilemez. Makine parçalarının istenilen metalden istenilen şekil ve ölçüde üretilmesi için temel yöntemlerden bir tanesi de plastik şekillendirme.

Malzemelerde kalıcı şekil değişimi sağlayacak biçimde kuvvet uygulanarak yapılan şekil vermeye plastik şekil verme veya plastik deformasyon olarak adlandırılır. Plastik deformasyon iki temel esas üzerinde gerçekleşir, biri elastik diğeri plastik deformasyondur. Elastik deformasyon geçici şekillendirme olup kuvvetin kaldırılmasıyla malzeme eski haline dönmektedir. Plastik deformasyon ise kalıcı şekillendirme olup kuvvetin kaldırılmasıyla malzeme eski haline dönmemektedir. Plastik şekillendirme elastik şekillendirme ile başlamaktadır (Gavas, 2015: 153).

Plastik şekillendirme teknikleri uygulanan gerilmenin yönüne bağlı olarak ana gruplara ve daha sonrada daha alt gruplara ayrılabilir.

1. Döverek şekillendirme
 - Haddeleme
 - Kapalı ve açık kalıpta şekillendirme
 - Damgalama
 - Ekstrüzyon
2. Basma ve çekme şartlarına göre şekillendirme
 - Sıyırma
 - Derin çekme
 - Flanş yapma
 - Sıvama
 - Kulaklama
3. Bükerek şekillendirme
 - Kalıbın doğrusal hareketi ile eğme
 - Kalıbın dönme hareketi ile eğme
4. Çekerek şekillendirme
 - Uzatarak şekillendirme
 - Gererek şekillendirme
 - Genişleterek şekillendirme

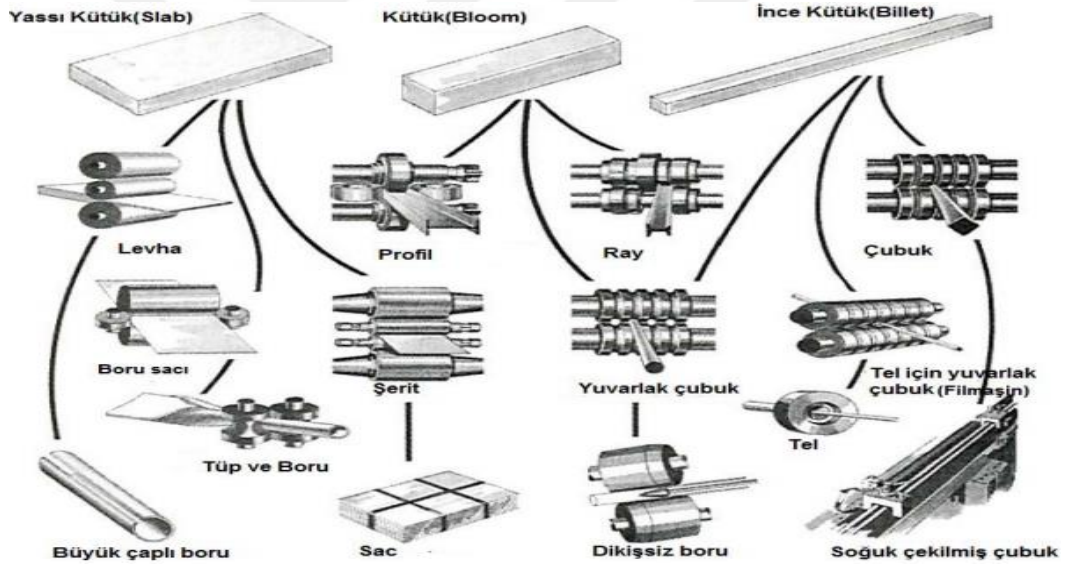
5. Kaydırma (makaslama) yöntemiyle şekillendirme

- Deplasman
- Burma

2.1. Döverek Şekillendirme

2.1.1. Haddeleme

Haddeleme malzemelerin döner baskı uygulayan merdanelerin arasından geçirilerek istenilen kesitte ve genelde uzun boylu parçaların elde edilmesidir. Genelde sıcak olarak yapılır bu nedenle deformasyon sertleşmesi meydana gelmez. Burada malzemenin boyu uzarken eni de bir miktar artmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi haddeleme yönteminin üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Haddeleme yönteminin üretim aşamaları (Gavas, 2015: 155).

2.1.2. Dövme

Metallerde istenilen şekli vermek için çekiç, pres vb. takım ve makineleri kullanarak yapılan şekillendirme işlemidir. Genelde sıcak olarak yapılır. İşlemin yapılması sırasında faydalanılan gereçlere göre dövme işlemi açık ya da kapalı kalıplarlar da yapılabilir.

2.1.3. Ekstrüzyon

Bir iş parçasının (Metal bir bloğun) bir kalıptan zorlayarak geçirilerek istenen kesitte ve uzun boylu bir malzemenin elde edilmesi işlemidir. Genel olarak karmaşık kesitli ve uzun boylu yarı mamul parçaların üretiminde kullanılır. Yüksek mukavemete sahip metallerin plastik deformasyonu en kolay şekilde sıcak işlemle yapıldığından ekstrüzyon da genelde sıcak olarak yapılır (Gavas, 2015:159). Diş macunu tüpüne uygulanan basınç ile diş macununun akıtılması işlemine benzemektedir.

Çeşitli yönlerden incelendiğinde ekstrüzyon işleminin birçok çeşidi vardır. Bunlar:

- Direk ekstrüzyon
- İndirek ekstrüzyon
- Hidrolik ekstrüzyon
- Darbeli ekstrüzyon
- Serbest ekstrüzyon'dur.

2.2. Basma ve Çekme Şartlarına Göre Şekillendirme

Çekme işlemi genel olarak iki kısma ayrılır. Bunlardan birisi sac metallere uygulanan ve düz sac metalden kap şeklinde parçalar elde etmeye yarayan derin çekme işlemidir. Diğeri ise çeşitli kesitteki parçaların çekilerek kesitlerinin küçültülmesi ve boyunun uzatılması işlemi, çubuk çekme ve boru çekme gibi.

2.2.1. Derin çekme

Derin çekme; sac metalden silindir, dikdörtgen, kare vb. şekilli içi boş kapları üretme metodudur. Çekme işlemi bir grup biçimlendirme işleminden meydana gelir. Çekme işlemini diğer biçimlendirme işlemlerinden ayıran en önemli özellik, çekilerek üretilen parçaların yan yüzeylerinin genellikle kesintisiz olarak devam etmesidir. Çekme işlemi yöntemiyle elde edilen kap, çekme işlemi boyunca sac malzemedede oluşan ve sacın bütün biçiminde devam eden plastik akmayla meydana gelir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi derin çekme yöntemiyle elde edilen kaplar gösterilmektedir.

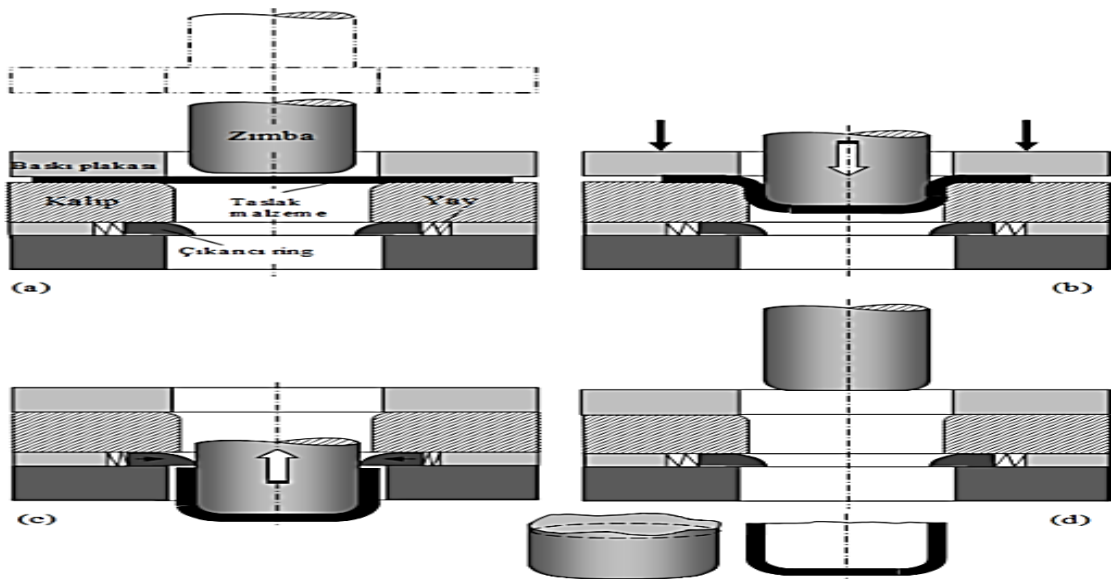


Şekil 2.2. Derin çekme yöntemiyle üretilmiş kaplar (Gavas, 2015: 163).

Derin çekme işleminin istenilen şekil değişimini sağlamaması durumunda yeniden derin çekme, ters derin çekme ve ütüleme gibi işlemler uygulanır. Yeniden ve ters derin çekme işlemlerinde çekilen kabın iç çapı değişir. Ütüleme sırasında kabın iç çapı değişmez et kalınlığı azaltılır. Derin çekme işleminin dört safhası Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Derin çekme işleminin dört safhası;

- Taslak malzemenin yerleştirilmesi.
- Zımbanın taslak malzemeye temas ederek çekme işleminin başlaması.
- Çekme işleminin tamamlanması.
- Zimba yukarıya çıkarken bitmiş parçanın zımbadan ayrılması.

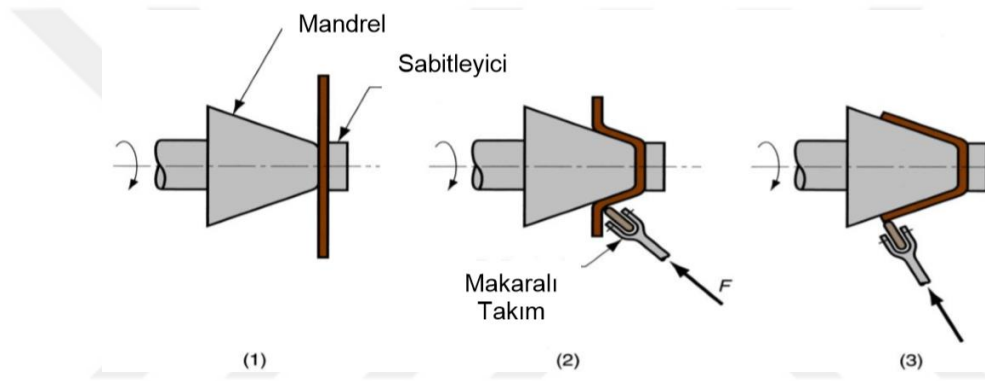


Şekil 2.3. Derin çekme işleminin dört safhası (Gavas, 2015: 165).

2.2.2. Sıvama

Eksenel simetrik sac bir parçanın, dönen bir takım veya merdane kullanılarak dönen bir kalıp üzerinde yavaş yavaş şekillendirildiği metal şekillendirme yöntemidir. Piyasada yaygın olarak kullanılan üç türü vardır; Geleneksel sıvama, kaymalı sıvama, tüp sıvama.

Hızlı dönen metal diski, aşağıdaki Şekil 2.4’te gösterilen şekli vermek üzere mandrel adı verilen bir alete doğru bastıran bir merdane aleti vardır. Bu yöntemin en büyük avantajı, bükülmüş metal parçaların dönme simetrik oyuk şekline sahip olmasıdır. Çanak antenler, jant kapağı, roket burnu konileri gibi teknolojik alanlarda, tencere ve müzik aletlerinde de kullanılır.



Şekil 2.4. Sıvama işlemi aşamaları (İtü, 2020).

Tipik olarak, bu yöntem bir manuel veya CNC torna üzerinde gerçekleştirilir ve temel gereksinimler bir boşluk, mandrel ve silindir aracıdır. Burada boşluk, disk şekilli, bu şekillendirme yöntemi için çok uygun bir şekilde kesilen sac levha anlamına gelir. Mandrel, boşluğun presleneceği istenen kısma benzeyen sağlam bir parçadır. Mandrel eğirme sırasında fazla aşınma olmadığından, ahşap veya plastik mandrel de kullanılabilir (Poudel, 2018).

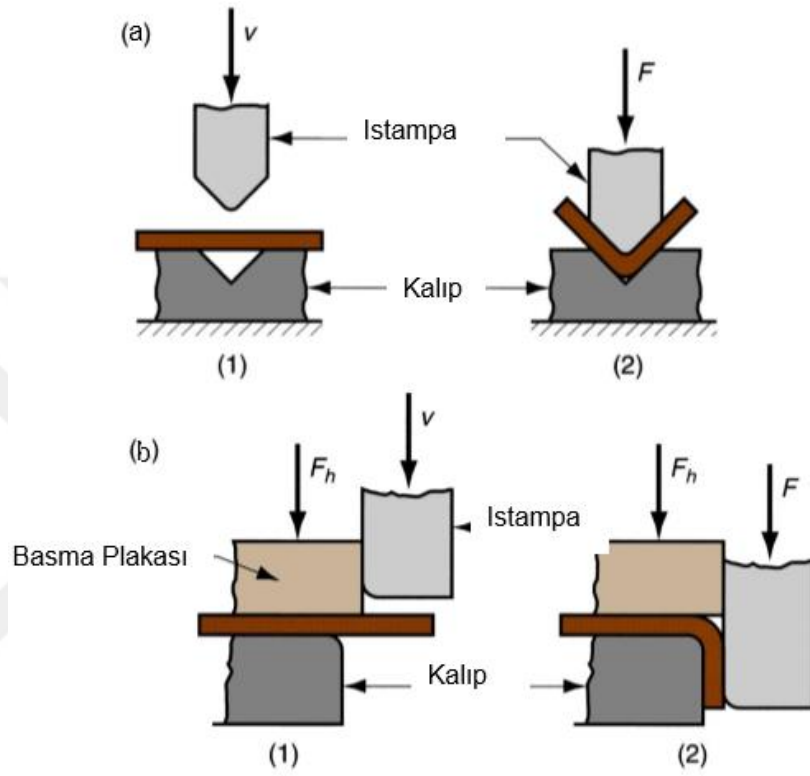
2.3. Bükerek Şekillendirme

Bir sac parçasının bir kısmının bulunduğu düzlemlerle verilmiş bir açı yapan başka bir düzleme gelmesini sağlamak için yapılan işleme “bükme” denir. Bükmede malzeme hacmi sabit kalır. Malzeme biçiminin değişmesi fakat hacminin değişmemesi bükme alanı içerisindeki malzeme biçiminin-kesitinin bozulmasına sebep olur. Bu bir plastik şekil değişikliğidir (Gavas, 2015: 178).

Bu yöntem, sacları, boruları, telleri, profilleri ve çubuk malzemeleri şekillendirmek için endüstride birçok alanda uygulanır.

Bükme işlemleri kalıp ve ıstampa yardımıyla gerçekleştirilir.

En çok kullanılan bükme işlemleri Şekil 2.5'te gösterildiği üzere V-Bükme ve kenar bükme olarak ikiye ayrılır.



Şekil 2.5. V-bükme ve kenar bükme işlemleri (İtü, 2020).

3. İNKREMENTAL ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİ

İnkremental şekillendirme yöntemi yumuşak düz sac metallerin kısmi plastik deformasyon yoluyla şekillendirilmesi işlemidir. İnkremental şekillendirme yöntemi fikri ilk olarak 1967 yılında Leszak tarafından ortaya atılmıştır Fakat CNC (Computer Numerical Control) freze ve katı modelleme imkanı olmayışından dolayı o yıllarda kullanılamamıştır. Bu yöntem için ilk olarak ‘dieless’terimi adı altında patent alınmıştır (Bayram ve Köksal, 2015). İnkremental şekillendirme yöntemi ürün hacmi düşük üretimleri yeni parça ve makinelere ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirebilmesiyle dikkatleri üzerine çekmiştir.

İnkremental sac metal şekillendirme işlemi, küçük temaslı bir bölgede inkremental deformasyonla istenen bir şeklin üretilmesi için bir yöntemdir. Yarım küre kafalı bir alet, tüm geometrinin dilimlenmiş bir yüzeyi olan isteğe bağlı bir yüzey üzerinde hareket eder. Bu dilimleme tekniği ile karmaşık ürünler basit bir şekillendirilmiş alet kullanılarak şekilsiz imal edilebilir.

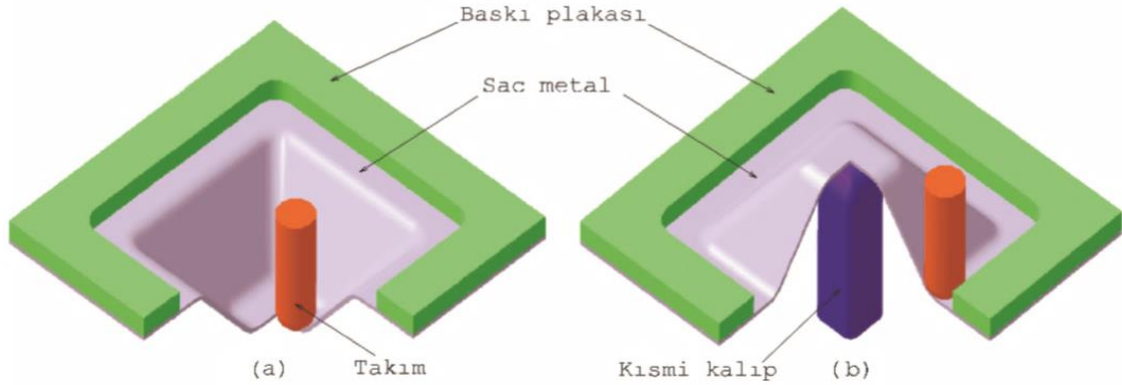
İnkremental şekillendirme yöntemi geleneksel metal şekillendirme işlemleriyle karşılaştırıldığında, İŞY'nin bazı avantajları vardır. Aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Özel parçalar, CAD (Computer Aided Design) verilerinden kolayca oluşturulabilir,
- Üretim sürecinde, pozitif veya negatif kalıplar gerektirmez,
- Parça tasarımındaki değişiklikler kolayca ve hızlıca değiştirilebilir; süreç yüksek esnekliğe sahiptir,
- Metal parçalarda hızlı prototip yapmak normalde zordur, ancak bu işlemle kolaydır,
- Küçük plastik bölge ve işlemin artımlı niteliği, şekillendirilebilirliğin artırılmasına katkıda bulunur ve bu şekillendirilebilir levhaların kullanımını kolaylaştırır. Bu işlem için geleneksel bir CNC freze tezgahı veya torna kullanılabilir,
- İşlenen parçanın boyutları yalnızca kullanılan makinenin çalışma alanıyla sınırlıdır,
- Gerekli kuvvetler parça boyutlarına bağlı değildir,
- İşlem sessiz ve nispeten gürültüsüzdür.

İnkremental şekillendirme yönteminin dezavantajları da aşağıda özetlenmiştir.

- Zaman bakımından, çizim gibi klasik süreçlerden çok daha uzundur,
- İşlem küçük boyutlu parti üretimi ile sınırlıdır,
- Dik açılarının oluşturulması tek adımda yapılamaz, çok adımlı bir işlem gerektirir,
- ISF işlemi çok daha yüksek gerilmeleri mümkün kılar (Nasulca ve Oancea, 2017).

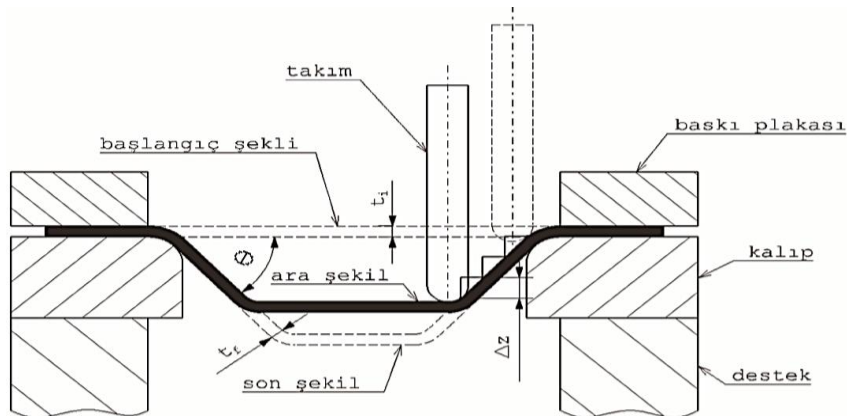
İnkremental biçimlendirme işlemi negatif artışlı ve pozitif artışlı biçimlendirme diye ikiye ayrılır. Şekil 3.1’de gösterildiği gibidir. Pozitif artışlı ise kendi içerisinde birime ayrılır (Poudel, 2018).



Şekil 3.1. a) Negatif inkremental şekillendirme, b) pozitif inkremental şekillendirme (Mumcu, 2009).

3.1. Negatif İnkremental Şekillendirme

Negatif inkremental biçimlendirme, hızlı bir prototip işlemidir. Bu teknikte, CAD/CAM yazılımı tarafından elde edilen tam 3 boyutlu bir sarmal veya $2\frac{1}{2}$ boyutlu Z-seviye işleme yolundan oluşan kesintisiz bir takım yolunda yassı bir metal boşluk deforme olur. CNC freze tezgahı şekillendirme aletini, oluşturulacak tabakaya inerek küçük bir Δz ekseni boyunca yönlendirir. Bundan sonra, takım XY düzleminde gerekli çevre çizgisini izler. Ardından, Δz miktarını azaltır ve ardından istenen şekli elde etmek için çevrimi tekrarlamaktadır Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



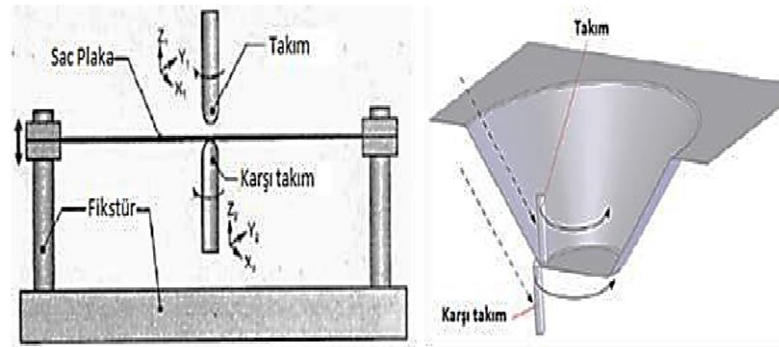
Şekil 3.2. Negatif inkremental şematik gösterimi (Mumcu, 2009).

İnkremental aşağı iniş ebadı (adım adım, Δz), şekillendirme aletinin her bir devri için deforme olan malzeme miktarıdır (işleme işleminde kesme derinliğine benzer). Adım ebadı, makinenin zamanını ve yüzey kalitesini etkiler. Adım boyutu parametresi CAM (Computer Aided Manufacturing) yazılımında ayarlanır. İş mili dönüş hızı, aletin dönme hızıdır. Mil dönüş hızı, malzeme ve şekillendirme aleti arasındaki temas noktasında üretilen ısıyı değiştirir. Deforme olmayan yatay metal levha ile deforme edilmiş metal levha arasındaki açı, çekme açısı veya şekillendirme açısı (θ) olarak tanımlanmaktadır.

Şekillendirme açısı, malzeme biçimlenebilirliğin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Maksimum açı (θ_{max}), herhangi bir yırtılma olmadan bir şekilde oluşan en büyük açıdır. Oluşturma açısı CAD / CAM yazılımı içinde ayarlanır. İlk ve son sac kalınlıkları sırasıyla t_i ve t_f olarak adlandırılır (Mumcu, 2009).

3.2. Karşı Takım Kullanarak Sayısal Kontrollü Şekillendirme

Negatif inkremental şekillendirme yönteminden farklı olarak, alt plaka yerine, üstteki takım ile senkronize hareket eden karşı takım vardır Şekil 3.3'te gösterilmiştir. 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 (Durgun,2017).



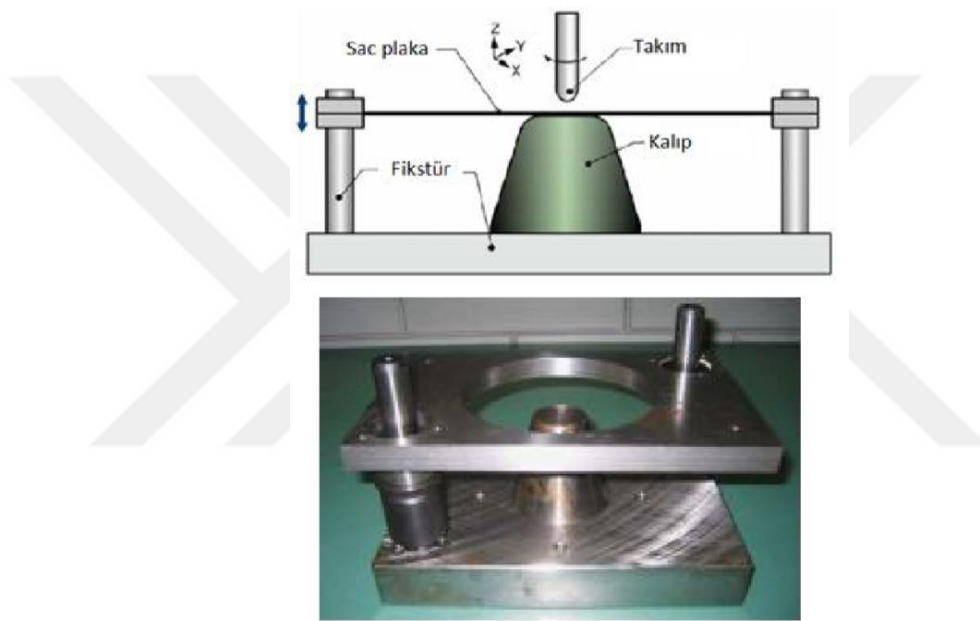
Şekil 3.3. Karşı takım kullanarak inkremental şekillendirme (Durgun, 2017).

3.3. İki Noktalı İnkremental Şekillendirme

İki Noktalı İnkremental Şekillendirme veya TPIF işleminde, boş tutucu Z ekseninde hareket ettirilebilir, ancak şekillendirme aleti tek noktalık artışlı şekillendirme ile aynı şekilde çalışır ancak kalıp desteği ile çalışır. İki noktalı inkremental biçimlendirme, aşağıda belirtildiği gibi kısmi kalıp veya tam kalıp olmak üzere iki kategoriye ayrılır (Suriyaprakan, 2013).

3.3.1. Tam kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme

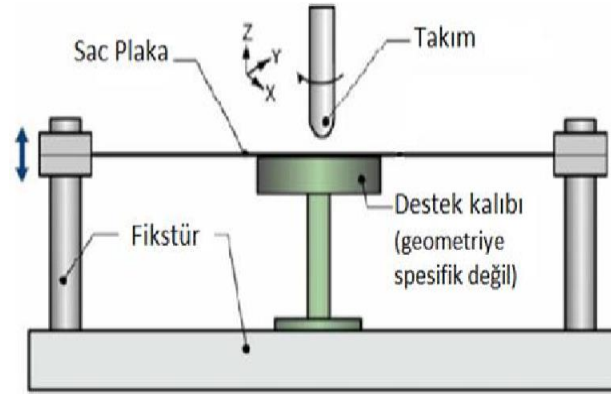
Bu yöntemde, alt destek yerine parça formuna göre işlenmiş kalıp kullanılmaktadır. Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Yöntemde alt kalıp kullanıldığından dolayı, kalıpsız şekillendirme olarak nitelendirilmemesine rağmen prototip ve düşük adetli üretim açısından, kalıbın tek tarafına ihtiyaç duyulması nedeniyle 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 (Durgun, 2017).



Şekil 3.4. Tam kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme (Durgun, 2017).

3.3.2. Kısmi kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme

Tek nokta kontak ile şekillendirmede kullanılan alt plakanın (sacın çevre kesimini taşıyan plaka) görevini, bu yöntemde Şekil 3.5'te gösterildiği gibi sacın altında bulunan destek kalıbı üstlenir. Alt destek kalıbı olarak kullanılan geometri, üretilen parçaya spesifik olmaması durumunda, aynı destek kalıbından farklı parçaların üretiminde faydalanılabilir. Destek kalıbının kullanılmasındaki amaç, parça geometrisinin desteklenmesi ve dolayısıyla, tek nokta kontak (SPIF) yöntemine göre daha hassas geometri elde edilebilmesidir. Süreçte, takım, CAD dataya göre oluşturulan takım yollarını takip ederek, destek kalıp ile takım arasında sacın şekillendirilmesi sağlanır. Sac tutucu plaka, belirli bir katmanda form verme işlemi sona erdikten sonra, -Z yönünde hareket ederek, yeni katmanın şekillendirilme işlemine başlanır (Durgun, 2017).



Şekil 3.5. Kısmi kalıp kullanılarak inkremental şekillendirme.

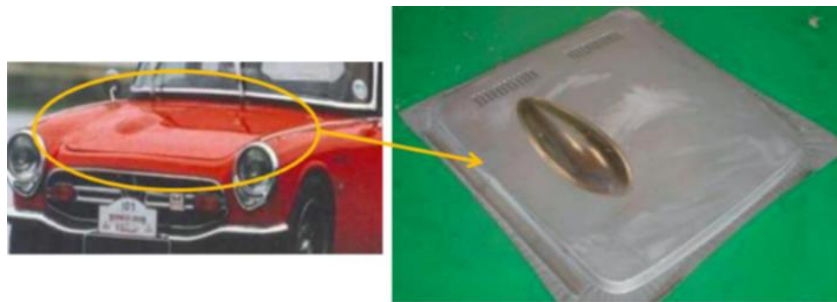
3.4. Çok Aşamalı İnkremental Şekillendirme

Sinüs yasasına gelince, parça boyunca aynı kalınlığa sahipken daha büyük açı elde etmek zordur. Yırtılma olmadan büyük ve derin çekme kısmına sahip olmak karmaşıktır, çünkü şekillendirme açısı arttıkça kalınlık dağılımı azalır. Sağ duvar açısı veya dikey duvar, sinüs yasası ile ilgili olarak duvar kalınlığının sıfıra ulaşmasına neden olur. Maksimum duvar açısının artırılması, levha kalınlığının artırılması, takım çapının değiştirilmesi ve aşağı inme gibi birçok şekillendirme ile artırılabilir, Ayrıca maksimum şekillendirme açısı üzerinde bir etkiye sahiptir (Suriyaprakan, 2013).

3.5. İnkremental Şekillendirme Yöntemiyle Elde Edilen Ürünler

İnkremental şekillendirme işlemleri, metal endüstrisinin birçok alanında, uzay ve havacılık sanayinde ve sağlık sektörünün birçok alanında kullanılmaktadır.

Örneğin; Havacılık ve uzay endüstrisinde gösterge paneli, gövde paneli, yolcu koltuğu kapağı gibi benzeri ürünlerde, otomotiv endüstrisinde kapı, kaput panelleri, motor kapağı ve benzeri ürünlerde kullanılmaktadır Şekil 3.6-7-8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. ISF işlemi ile yapılan toplama arabanın kaput paneli (Nasulca ve Oancea, 2017).

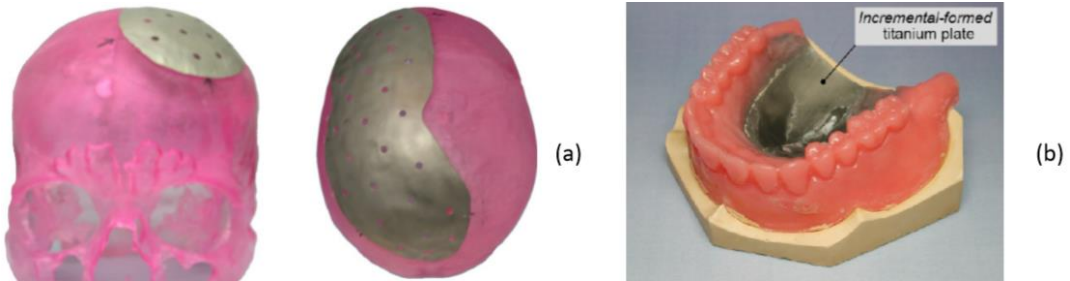


Şekil 3.7. a) Orijinal manifold ısı kalkanı, b) ISF İle üretilen ısı kalkanı (Jeswiet vb, 2005).



Şekil 3.8. Otomotiv bölümünün yeniden şekillendirilmesi; a) Seri üretim otomobil, b) İŞY ile sınırlı sayıda üretilen otomobil (Nasulca ve Oancea, 2017).

Otomotiv ve metal sanayinin dışında gemi kaplama plakaları, aydınlatma için reflektörler, muhafazalarda özel üretilen ürünlerde de özellikle ayak bileği desteği, metal kask, sağlık bakımı malzemeleri Şekil 3.9’da örneği gösterilen takma diş plakası ve kafatası parçalarının üretiminde kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 3.9. İmlant sanayinde kullanılan örnekler; a) Çene ve yüz implantlarında kullanılan kranial plakası, b) Diş plakası (Camara, 2009).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu başlık altında, deneylerde kullanılan malzeme, şekillendirme takımı, deney kalıp ve ekipmanları aşağıda anlatılmıştır. CNC tornada kullanılan bu yöntemin endüstriyel kullanılabilirliği araştırılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılacak Malzeme

Deneylerde, olarak 1 mm kalınlığındaki, alaşımlı alüminyum Al 5005-H24 sac malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan bu malzeme 1250 x 1250 mm boyutlarında olup levha şeklinde üretilen bir üründür. Alüminyum 5000 Serisi birincil alaşım elementi magnezyumdur. Yüksek mukavemet kaynaklanabilir olması ve yüksek korozyon direnci (deniz suyu ve kimyasallara karşı) ile birçok alanda kullanıma sahiptir.

Al 5005 Alaşımının uygulama alanları;

- İnşaat sektörü: Dış cephe uygulamaları, çatı oluklu levhalarında.
- Marine ve offshore uygulamalarında kullanılan yapılarda özellikle gemi sanayinde.
- Gıda ve kimya ekipmanlarında.
- Yol işaret levhaları ve reklam sektöründe kullanılan panolarda.
- Eloksal gerektiren parçalar ve ambalaj sektörü.
- Soğutucu ve ısıtıcı ekipmanları.
- Boru ve tüp imalatında.

Al 5005 Alaşımının Karakteristik Özellikleri;

- Atmosferik korozyona karşı çok iyi dirençli.
- Çok iyi bir kaynak kalibiyeti.
- Dekoratif Eloksal (iki adım renk Eloksal) için çok uygundur.
- Rulo şekillendirmeye uygundur.
- Profil şekillendirmeye uygundur (Seykoç, 2020).

Kullanılan bu malzemenin kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir (Seykoç, 2020).

Çizelge 4.1. Alaşımlı alüminyum Al 5005-H24 sac malzemenin kimyasal özellikleri (Can, 2020).

Element	Mg	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Cr	Ti	Diğer
%	0,50-1,1	<0,20	<0,7	<0,30	<0,20	<0,25	<0,10	-	<0,15

Veriler EN573, ASTM B239, ASTM B928 standartlarından derlenmiştir.

Çizelge 4.2. Alaşımli alüminyum Al 5005 sac malzemenin mekanik özellikleri (Can, 2020).

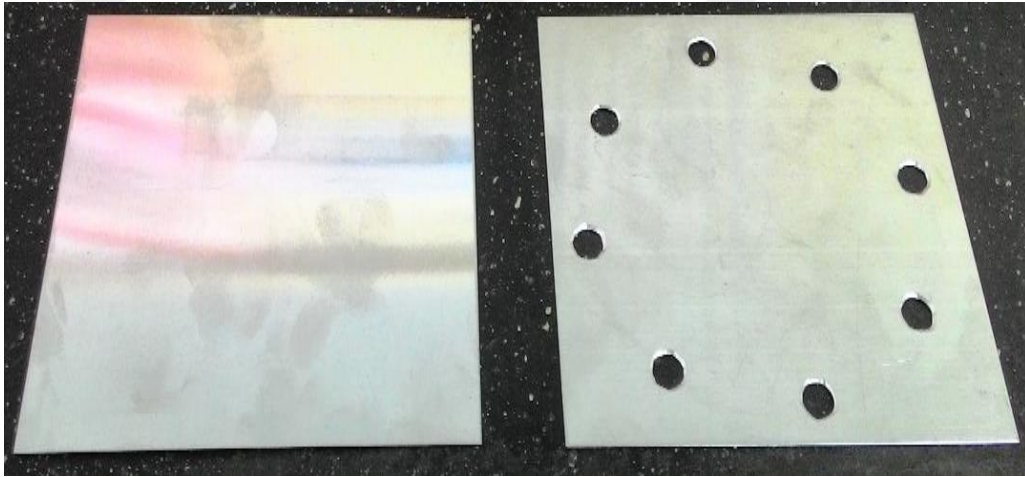
Alaşım DIN	Etial	Çekme Mukavemeti RM(Mpa)	Akma Mukavemeti (%)	Uzama (Min-%)	Sertlik (HB)	Yoğunluk (gr/cm ³)
AlMg1	Etial-30	125-165	80	5	47	2,71

ETİAL: Eti alüminyum standardı

4.2. Deneyde Kullanılacak Kalıbın ve Malzemenin Hazırlanması

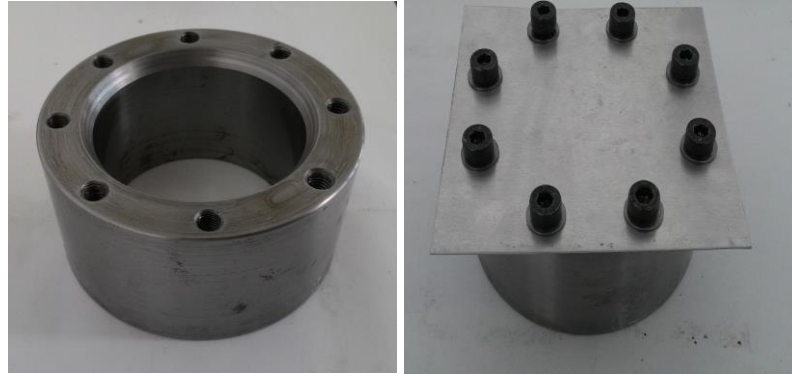
CNC Tornada yapılan deneyler için kalıp seti SolidWorks programında tasarımı yapıldı. Deney parçasının işlem sırasında içeriye doğru akmanın homojen olması için 8 tane eşit aralıklarla M8 vida deliği açıldı.

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi deney numunesi olarak 1 mm kalınlığındaki, 1250x1250 mm boyutlarındaki alaşımli alüminyum 5005-H24 sac malzeme kullanılmıştır. Levha halinde üretilen bu sacdan kalıba uygun olarak gyotin makasta genişlik 125 mm ve uzunluğu 125 mm olacak şekilde küçük kare parçalara bölünüp kalıba uygun hale getirildi. Kesilen parçalara kalıba uygun gelecek şekilde üniversal matkap tezgahında 8 tane delik açıldı.



Şekil 4.1. Deney numunesinin hazırlanışı.

Şekil 4.2’de CNC tornaya bağlanacak olan kalıp gösterilmiştir. Hazırlanan deney numunesi kalıba M8’lik alyan başlı imbus civata ve civata başının, bağlandığı yüzey üzerinde tahribat yapmasını engellemek amacıyla 10 mm’lik rondelalarla desteklenerek bağlanarak inkremental şekillendirme için kalıp hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.2. Deney numunesinin kalıba bağlanması.

4.3. Deneyde Kullanılacak CNC Tezgahı

İnkremental şekillendirme deneyleri Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Nurhan Kazcıoğlu Uygulama Atölyesinde bulunan YANG SL-20 CNC torna tezgahında yapılmıştır. YANG SL-20 CNC torna tezgahı FANUC O-TD kontrol sistemini kullanmaktadır. Ayrıca maksimum tornalama çapı: 200 mm ve maksimum tornalama boyu: 500 mm'dir. X ekseninde 176 mm'ye kadar işlem yaparken Z ekseninde 770 mm mesafeye kadar işlem yapabilmektedir.

4.4. Şekillendirme Takımı

Deneylerde kullanılan şekillendirme takımı, 10 mm çaplı bir küresel ucu olan yarım küre şeklindedir ve üç kademesi bulunmaktadır. Yarım küre şeklindeki takım, tek noktali inkremental şekillendirme ve dışa şekillendirme yapmak için kullanılırken, küresel uçlu takım çok aşamalı dikey duvarların kademeli olarak şekillendirilmesinde kullanılır. Kullanılacak takımın sertliğini arttırmak ve aşınma direnci seviyesini arttırmak için normal sertleştirme ısıl işlemlili PM300 takım çeliğinden (ISBN 08493-9013-3) yapılmıştır Şekil 4.3'de kullanılan takım gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sertleştirilmiş kademeli küresel uçlu şekillendirme takımı.

4.5. Yağlama

Metal şekillendirme işlemlerinde sürtünme, ısının oluşmasına, yapışmaya ve iş malzemesinin toplanmasına, takım aşınmasına, homojen olmayan deformasyonlara, kusurlara ve düşük yüzey kalitesine yol açar. Bu nedenle, deneylerde özellikle alüminyum ve alüminyum alaşımlarında uygun yağlayıcıların kullanılması gerekir.

Yağlamanın inkremental şekillendirmeye etkisinin araştırılması ve sac plaka ile takım arasındaki sürtünmeyi en aza indirmek için iki farklı yağlama uygulanmıştır. Deney numunesine ilk olarak lifli yapısından dolayı yüzeye yapışabilen progress CM serisi çok amaçlı kauçuklu gres uygulanmıştır. Makinelerin çalışma sistemini düzene sokan bu yağ, sürtünme sırasında koruyucu ve hasarı önleyici özellik gösterdiği için, makinelerin daha az tahrip olmasını sağlar.

Azevedo ve arkadaşları (Azevedo vd., 2015) Al 1050 alaşımı inkremental üretim yöntemi gresnin uygun bir yağlayıcı olduğunu vurgulamaktadır. Deney numunesinin özellikleri Al 1050 sacına benzer olduğundan bu çalışmada da CM serisi gres kullanılmıştır. İlk sürtünme hasarını azaltmak için alüminyum sac Şekil 4.4'te gösterildiği gres yağı sürülmüştür.



Şekil 4.4. Deney numunesinin yağlanması.

Akademik literatürde deneylerde bor yağı veya başka bir soğutma sıvısı kullanılması tavsiye edilmemektedir. Çünkü bu sıvılarda inkremental şekillendirme işlemi üzerinde kötü bir

etki olarak bilinen ufalanmaya neden olabilecek çok ince yüzey profiliyle reaksiyona giren bazı elementler vardır (Moayedfar vd., 2013).

Alüminyum saca İŞY ile şekil vermeye başlandığında ısınmayı ve aşınmayı azaltıcı özelliğine sahip olması nedeniyle 32 Numara hidrolik sistem yağı ile desteklenmiştir. 46 ve 68 numaralı yağlara göre daha akışkan özelliğe sahip olması nedeniyle homojen yağlama sağlamıştır ve bu yağlama deney bitene kadar devam edilmiştir.

4.6. CNC Programlama

SolidWorks programı ile modellenen parçanın G kodları SolidCAM programında seçilen parametrelere göre çıkartılmış FANUC OM son işlemci dönüşümleri gerçekleştirilmiştir.

Alaşımli alüminyum sac için G73 çevrimi en uygun olarak görülmüştür. CNC torna tezgahında G73 çevrimi profil tekraralama amaçlı olarak sıklıkla dökümden çıkmış malzemelerin işlenmesi için kullanılır. Bu çevrimde kesici (P) noktasından başlayarak işlenecek parçanın profilini takip ederek talaş kaldırır ve kesici çevrimin başladığı noktaya geri döner. U1 değeri kadar parçaya dalarak profile uygun talaş kaldırma işlemi finiş paso payı kalıncaya kadar devam eder. Bu parçaların profili artan ya da azalan ölçülerde geometriye sahip olabilir. G73 çevrimi aşağıda gösterildiği üzere 2 komut satırından oluşur.

G73 U(1)... W(1)... R... ;

G73 P... Q... U(2)... W(2)... F... ;

G73 = Profil tornalama çevrimini çağıran komut

U(1) = X ekseninde parça yüzeyinden kaldırılacak toplam talaş miktarı (mm ve yarıçap olarak).

En büyük çap ile en küçük çap arasındaki farkın ikiye bölünmesinden elde edilir.

W(1) = Z ekseninde parça yüzeyinden kaldırılacak toplam talaş miktarı (mm ve yarıçap olarak).

Malzemenin alın kısmı işlenecekse bu değer 0 (sıfır) alınır.

R = Talaş alma işleminin kaç defada tekrarlanacağı

P = Çevrimin başladığı ilk satırın numarası

Q = Çevrimin bittiği satır numarası

U(2) = X ekseninde bırakılacak finiş paso miktarı (mm/çap cinsinden)

W(2) = Z ekseninde bırakılacak finiş paso miktarı (mm/çap cinsinden)

Aşağıda örnek olarak 19 nolu deney numunesinin kodları gösterilmiştir.

O0005

G21 G99;

G50 S1000;

```

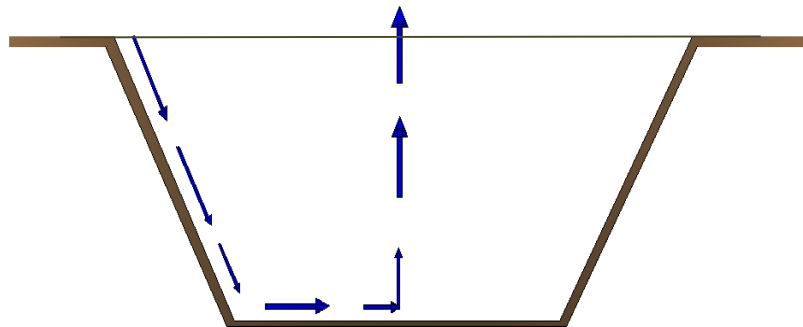
G00 X150 Z150 T0202;
G76 S180 M03;
G00 X70 Z24;
G73 R27;
G73 P1 Q2 U 0.1 W0.05 F0.1;
N1 G01 Z0;
X70;
X35.359 Z-30;
G00 X150 Z150;
M5;
M30;

```

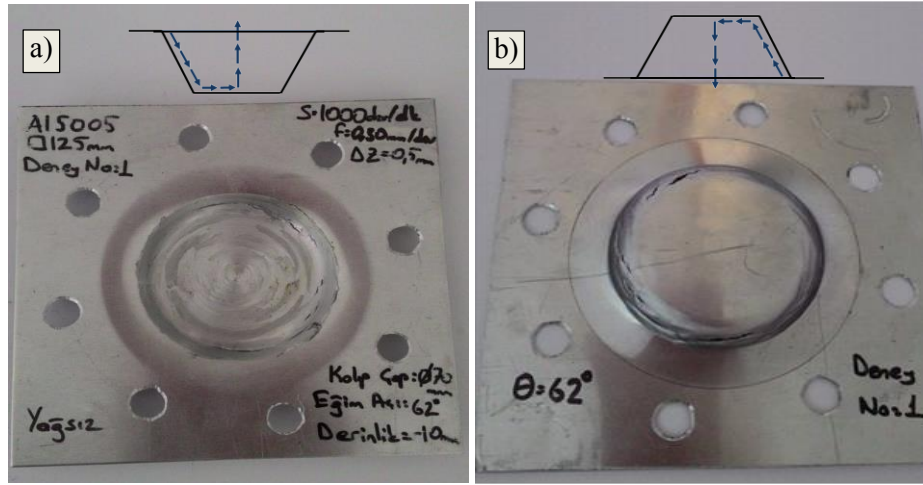
4.7. Deneysel İşlemler

Deneyin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için deney öncesi bütün aşamaları titizlikle tamamlandıktan sonra Al 5005-H24 sac levhayı kalıba bağlayıp sıfırlama işlemi gerçekleştirilip uygun program yazılmıştır.

Bu deneysel çalışmadaki Al 5005-H24 ile ilgili önceki yapılan akademik çalışmalara bakıldığında inkremental şekillendirme yönteminde kullanılmadığını görülmüştür. Bunun için bu sacın plastik şekillendirmeye nasıl tepki vereceği bilinmediğinden ilk önce yağsız olarak – 10mm derinlik verilmiştir. 10mm çaplı serleştirilmiş küresel başlı uçla şekil verme işlemi Eğim açısı ile ilgili malzememizle benzer özellikler taşıyan Al 1050 (Mumcu, 2009) sac levhada maksimum eğim açısı 61° olarak bulunduğu için bizde yakın bir açı olan 62° vermeyi uygun görülmüştür. Şekil 4.5’de gösterildiği gibi takım yolu dışarıdan içeriye verilmiştir. Devir S:1000 dev/dk, ilerleme f:0,30 mm/dev ve artış miktarı Δz : 0,5 mm olarak deney gerçekleştirilmiştir.

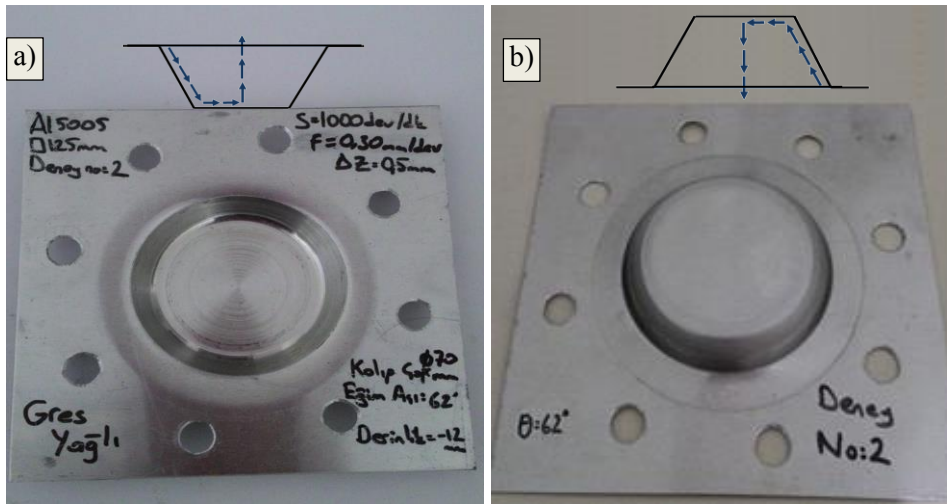


Şekil 4.5. Takım yolu dışarıdan merkeze gösterimi.



Şekil 4.6. 1 nolu deneyin; a) ön görünümü, b) arka yüzey görünümü.

Artışlı şekillendirme işleminde Al 5005-H24 yağsız şekillendirmede Şekil 4.6'da görüldüğü üzere -10 mm derinlikte çatlaklar ve yırtılmalar gözlemlenmiştir. Aynı malzeme ve aynı parametreler kullanılarak gres yağ ile işlem yapılarak yüzey homojen bir şekilde yağlandıktan sonra deney tekrarlanmıştır. Şekil 4.7'de gösterildiği gibi derinlik -12 mm'ye kadar inilmiş herhangi yırtılma ve yüzeyde bozuklukların olmadığı gözlemlenmiştir.

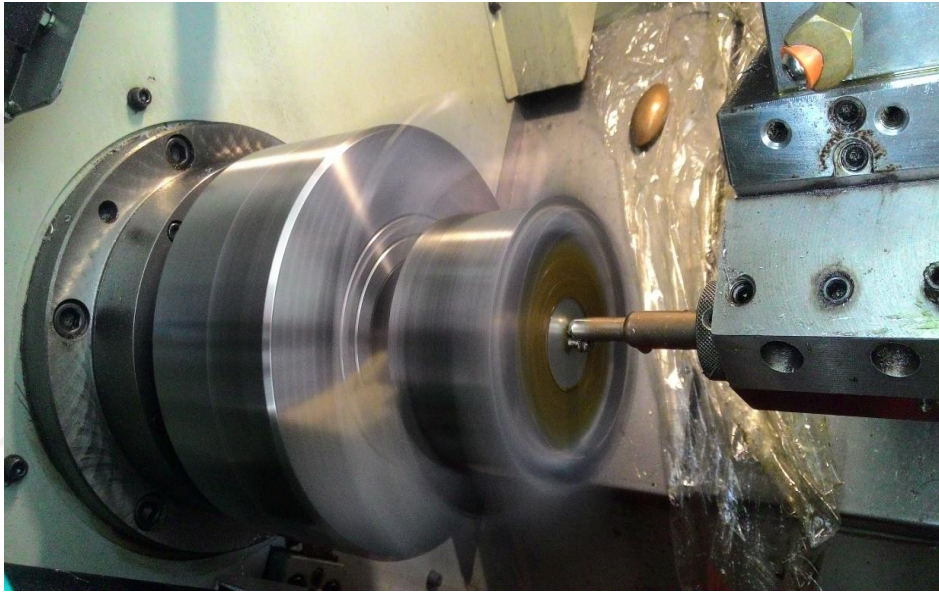


Şekil 4.7. 2 nolu deneyin; a) ön görünümü, b) arka yüzey görünümü.

Al 5005-H24 sacın -12 mm'ye kadar yırtılmadığını gözlemlenmesinin ardından derinliğin artırılarak deneye devam edilmiştir. 3 nolu deneyde eğim açısı, devir, ilerleme ve adım parametreleri aynı ve takım yolu dışarıdan merkeze olacak şekilde ayarlandı ve sadece derinlik artırılmıştır.

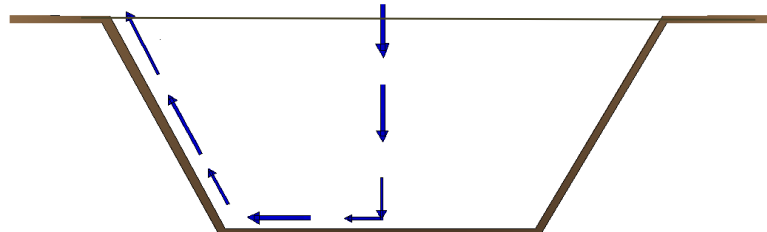
Sac levhamız bağlama kalıbına bağlanıp gres yağı ile yağlandı. Artışlı şekillendirme işlemine 32 numaralı yağla desteklenerek devam edildi. 32 numaralı yağın aşınmayı ve ısınmayı azaltıcı özelliği olması nedeniyle -23 mm derinliğe kadar inilmiş herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Şekil 4.8’de deney gerçekleştirilirken çekilen fotoğraf gösterilmiştir. Tezgah 1000 dev/dk ile dönerken gres yağını üzerinden atabileceği görülmüş buna binaen 32 numara yağla desteklenmiştir.



Şekil 4.8. İnkremental şekillendirme yöntemi işlem sırasındaki görüntümü.

Deney 4’de takım yolu değiştirilerek Şekil 4.9’da gösterildiği gibi merkezden dışarıya olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 4.9. Takım yolu merkezden dışarıya doğru gösterimi.

Takım yolunu merkezden dışarıya doğru değiştirilmesindeki amaç takım yolunun derinlik değeri üzerindeki etkisini belirlemektir 4 nolu deneyi gerçekleştirdikten sonra Şekil 4.10'da gösterildiği üzere 3 nolu deneye göre 3,5 mm daha erken kopmuş ve -19,5 mm'de Şekil 4.10'da gösterildiği üzere hafif yırtılma görülmüştür. 11Nolu deneyde duvar eğim açısı 62° verilmiş Şekil 4.5'de gösterilen takım yolu dışarıdan merkeze doğru olacak şekilde deney uygulanmıştır -30 mm derinliğe kadar inilmiş yırtılma ve çatlama görülmemiştir. Bu verilere göre takım yolu dışarıdan merkeze daha uygundur.



Şekil 4.10. Takım yolu merkezden dışarıya doğru verilen 4 nolu deney gösterimi.

Şekil 4.10'da gösterildiği gibi derinlik değeri düşük olmasına karşın erken yırtılma görülmüş ve çıkan çapaklar normalinden çok fazla olarak sac levhadan dışarıya doğru sarkma göstermiştir. Bu deneye göre takım yolu dışarıdan merkeze daha uygun olduğu görülmüştür.

Al 5005-H24 sacın inkremental şekillendirme işlemine eğim açısını arttırarak devam edilmiştir. Malzeme bağlama kalıbına bağlandıktan sonra devir 1000 dev/dk ilerleme f: 0,30 mm/dev ve artış miktarı Δz : 0,5 mm olarak duvar eğim açısı 63° olarak ayarlandı. Diğer deneylerde olduğu gibi sac ilk önce gres yağı ile yağlayıp deney aşamasında 32 numara yağ ile desteklenerek 5 nolu deney gerçekleştirildi. Derinlik -25 mm'ye kadar indiği ve herhangi çatlama ve yırtılma görülmediği kaydedildi.

Deneye eğim açısını 1° arttırarak devam edilmiştir. 6 nolu deneyde duvar eğim açısını 64° yapılmıştır. Bu deneyde -28mm derinliğe kadar herhangi bir yırtılma ve çatlak görülmemiştir. 3, 5, ve 6. deneylerden anlaşıldığı üzere 64° 'ye kadar -28 mm derinlikte sacda herhangi bir sorun yaşanmadığı gözlemlenmiştir.

7 nolu deneyde duvar eğim açısını 65° olarak gerçekleştirilmiştir. Takım yolunu Şekil 4.5'te gösterildiği gibi merkezden içeriye tanımlanarak diğer deneylerde kullanılan parametreleri değiştirmeden uygulanmıştır. Deney sırasında derinlik -15,5 mm de çatlama meydana gelmesiyle deney sonlandırılmıştır. Şekil 4.11'de gösterildiği üzere yırtılma meydana gelmiştir.



Şekil 4.11. Deney 7'nin arka yüzey görünümü 65° eğim açısında yırtılması.

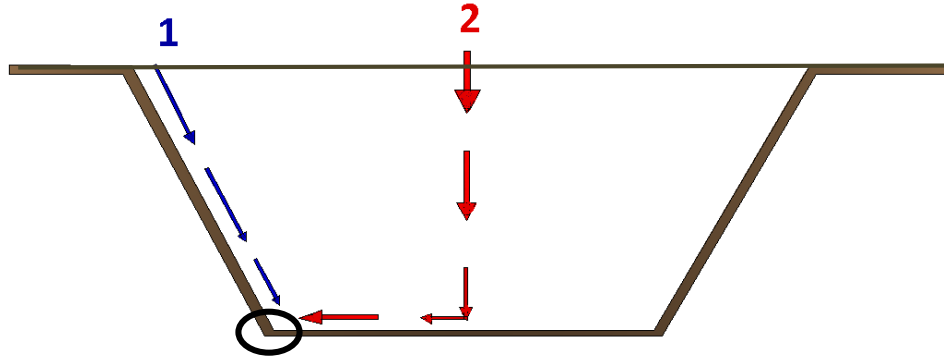
8 nolu deneyde aynı koşullarda S:1000 dev/dk f: 0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm olacak şekilde inkremental şekillendirme yöntemiyle deney tekrar edilmiştir. Bu deneyde -22 mm derinliğe kadar herhangi bir sorun görülmemiş, -22,5 mm'de çatlama tespit edilmesiyle deney durdurulmuştur. Yapılan ölçümler sonucunda -22,5 mm'de sacda yırtılma gerçekleştiği doğrulanmıştır. 7 nolu deneye göre 7 mm daha fazla derinliğe inilmesine karşın 64° 'de elde edilen derinliklere ulaşılamamıştır.



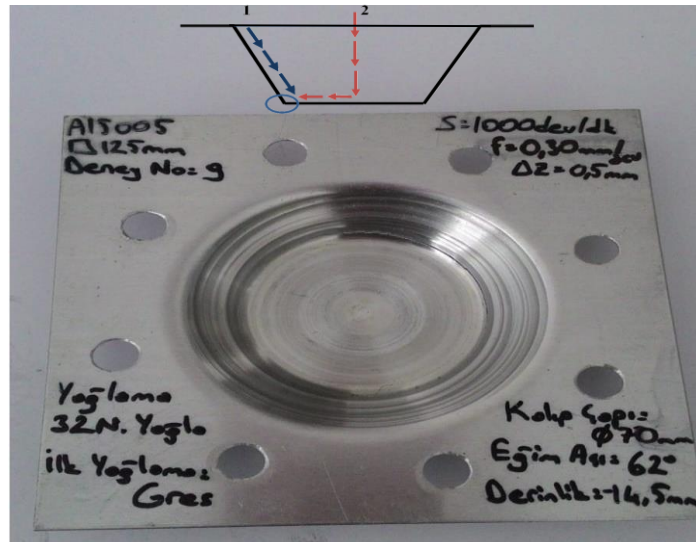
Şekil 4.12. Deney 8'in arka yüzey görünümü 65° eğim açısında yırtılması.

Yapılan deneylerde elde edilen kapların kalınlığı mikrometreyle ölçüldüğünde görülmektedir ki et kalınlığının en düşük olduğu yer yırtılmanın gerçekleştiği bölge ve çevresi olduğu görülmüştür. Bu incelmeyi azaltmak için 9 nolu deneyde yığılmayı aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi takım yolunu yırtılmanın olduğu yere doğru verilmiştir. Bundaki amaç en incelen bölgeye malzemeyi yığarak yırtılmayı önlemektir.

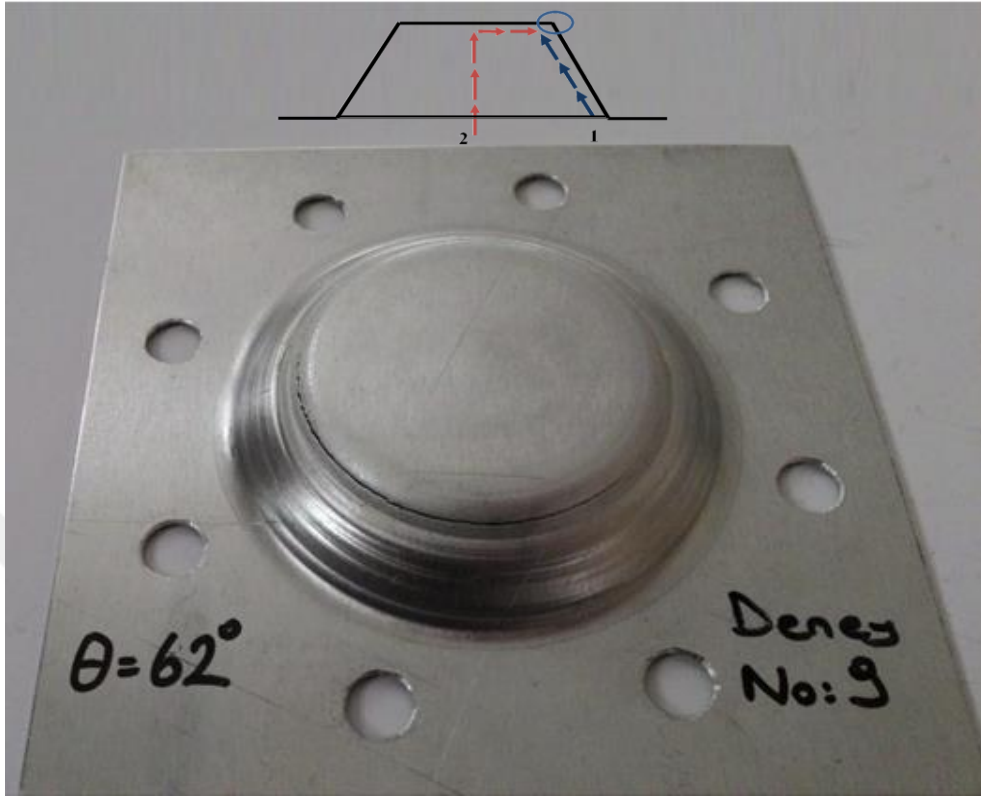
İlk önce Şekil 4.13’de gösterildiği gibi 1 nolu yani maviyle gösterilen takım yolu dışarıdan içeriye doğru verildi ve aynı parametrelerde 2 nolu takım yolunu merkezden yırtılmanın olduğu yere doğru takım yolu kesiştirilmiştir.



Şekil 4.13. Takım yolu yırtılmanın olduğu yere doğru kesiştirilmesinin şematik gösterimi.



Şekil 4.14. Takım yolunun yırtılmanın olduğu bölgede kesiştirilme işleminin gerçekleştirildiği 9 nolu deney çalışması ön yüzeyi.



Şekil 4.15. Takım yolunun yırtılmanın olduğu bölgede kesiştirilme işleminin gerçekleştirildiği 9 nolu deney çalışması arka yüzeyi.

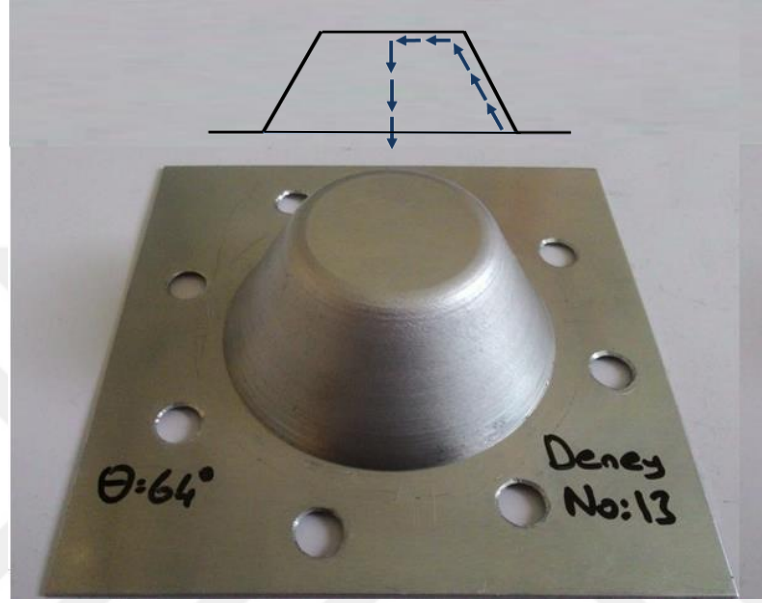
Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te görüldüğü üzere derinlik -14,5 mm'de yırtılma meydana gelmiştir. Malzemeyi yırtılmanın olduğu bölgeye yığmak istenmiştir. Fakat istenilen sonuç elde edilemedi ve yırtılma meydana gelmiştir.

Deney no: 10'da duvar eğim açısını 60° , S:1000 dev/dk, f:0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm olarak sacın bu eğim açısında kaç mm'ye kadar derinliğe inebileceğine bakılmıştır. 10 nolu deneyde -30 mm derinliğe kadar inilmiş ve malzememizde herhangi yırtılma veya çatlama görülmemiştir.

Deney no: 11'de duvar eğim açısını 65° , S:1000 dev/dk f:0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm değerlerinde bu açıda maksimum kaç mm derinliğe inileceği test edilmiştir. Ancak -16 mm'de yırtılma görülmüştür. 7 ve 8 nolu deneylerde görüldüğü gibi eğim açısı 65° 'de derinlik fazla verilmemekte ve yırtılma oluşmaktadır.

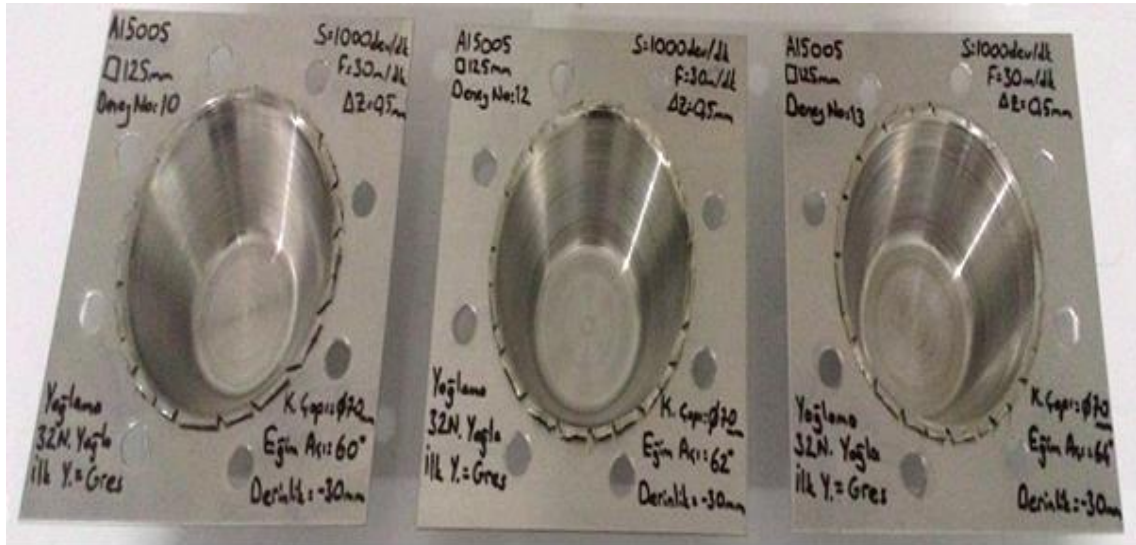
Aynı şekilde deney no:12'da duvar eğim açısını 62° , S:1000 dev/dk, f:0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm olarak derinlik -30 mm'ye kadar inildi ve malzemede herhangi bir çatlama ve yırtılma görülmemiştir.

Duvar eğim açısı 2° daha arttırarak 64° , S:1000 dev/dk, f:0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm parametreleriyle derinlik -30 mm'ye kadar inilmiş ve sac malzemede herhangi bir çatlama ve yırtılma görülmemiştir. Şekil 4.16'da gösterildiği üzere inkremental şekillendirme ile işlenen sac yüzeyinde herhangi çatlak ve yırtıma belirtisi görülmemiştir.



Şekil 4.16. Duvar eğim açısı 64° de yapılan 13 nolu deneyin gösterimi.

Şekil 4.17'de gösterildiği üzere üç deneyde derinlik -30 mm'ye kadar inilmiş çatlak veya yırtılma görülmemiştir.



Şekil 4.17. 10, 12 ve 13 nolu deneylerin gösterimi.

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi 7, 8 ve 11 nolu deneylerde 65°'de erken yırtılma meydana geldiği görülmüştür. Maksimum derinliğe indiğimiz duvar eğim açısı 64° olarak bulunmuş ve altındaki parametreler üzerinde incelemeler yoğunlaşmıştır.

Çizelge 4.3. Deney numunelerinin istatistiksel verileri.

Deney No	Adım (Δz) mm	Küresel uç çapı (\emptyset) (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Dönme hızı (dev/dk)	Duvar açısı (θ)	Derinlik mm	Açıklama
1	0,5	10	0,30	1000	62°	-10	Yırtıldı*(Yağsız)
2	0,5	10	0,30	1000	62°	-12	Yırtılmadı*
3	0,5	10	0,30	1000	62°	-23	Yırtılmadı*
4	0,5	10	0,30	1000	62°	-19,5	Yırtıldı**
5	0,5	10	0,30	1000	63°	-25	Yırtılmadı*
6	0,5	10	0,30	1000	64°	-28	Yırtılmadı*
7	0,5	10	0,30	1000	65°	-15,5	Yırtıldı*
8	0,5	10	0,30	1000	65°	-22,5	Yırtıldı*
9	0,5	10	0,30	1000	62°	-14,5	Yırtıldı***
10	0,5	10	0,30	1000	60°	-30	Yırtılmadı*
11	0,5	10	0,30	1000	65°	-16	Yırtıldı*
12	0,5	10	0,30	1000	62°	-30	Yırtılmadı*
13	0,5	10	0,30	1000	64°	-30	Yırtılmadı*

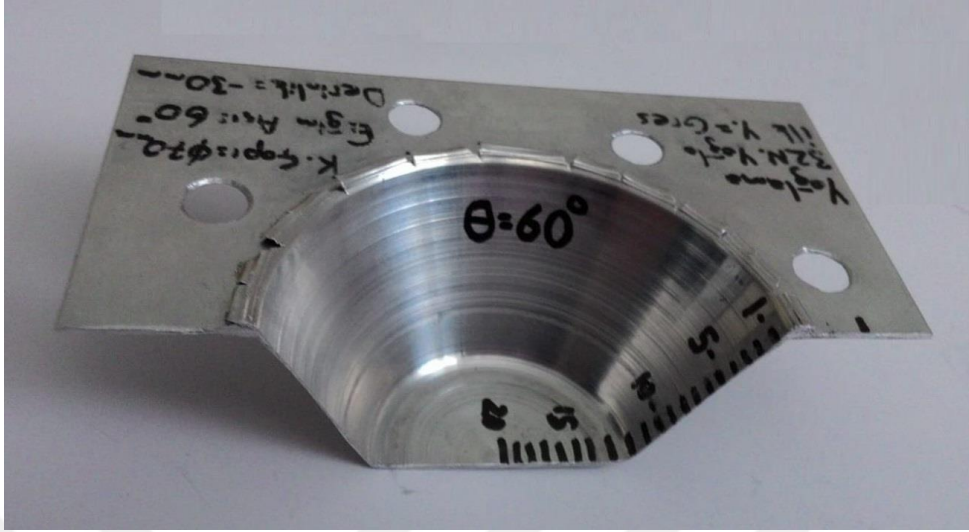
*: Takım yolu dışarıdan merkeze

** : Takım yolu merkezden dışarı

***: Takım yolu iki yönlü yırtılmanın olduğu yere doğru

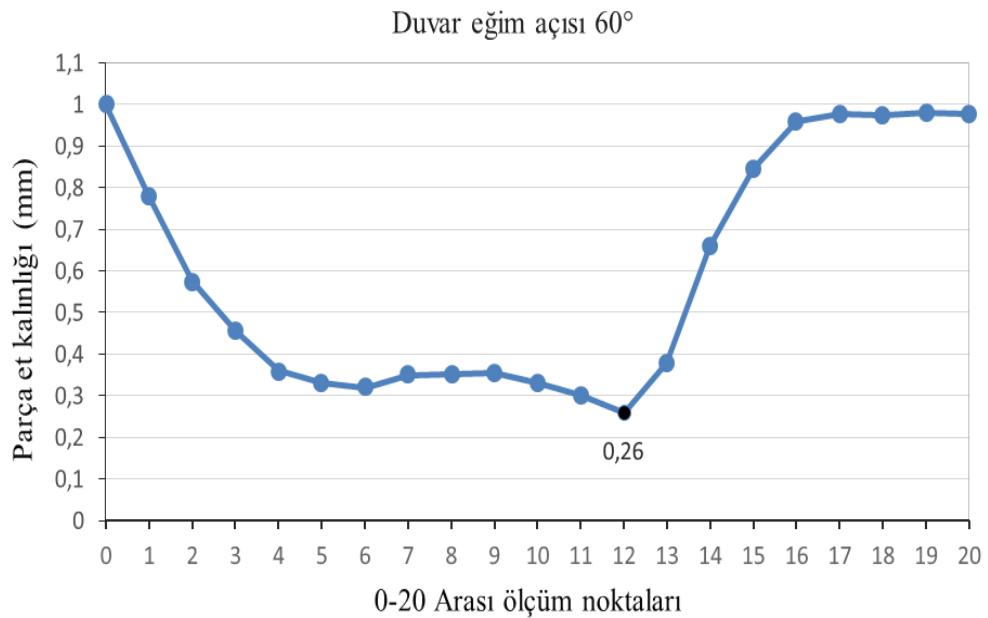
4.7.1. Et Kalınlığı Ölçümleri

Genel olarak 60°, 62° ve 64°'leri incelemeye alınmıştır. 10, 12 ve 13 nolu deney numunelerinin et kalınlık değerlerini ölçmeden önce yüzey pürüzlülükleri değerleri Şekil 4.26'da gösterildiği gibi parçanın dört noktasından ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Ra değerleri alındıktan sonra kalınlık dağılımını ölçmek için 10, 12 ve 13 nolu deney numunelerimiz otomatik sac kesme testeresiyle ortadan ikiye bölünmüştür. Şekil 4.18'de gösterildiği gibi sacın zarar görmeyecek şekilde çok hassas kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesim işlemi bittikten sonra oluşan çapaklar yumuşak dişli eğeyle temizleme işlemi yapıldı. Deney numunesi plastik deformasyona uğradığı bölgelerin homojen bir şekilde kalınlık ölçümü gerçekleştirilmesi için 2 mm aralıklarla işaretleme yapılarak ve bu işaretlen yerler konik başlı mikrometre ile ölçülmüştür.



Şekil 4.18. Duvar eğim açısı 60° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü.

Duvar eğim açısı 60° olan 10 nolu deneyin kalınlık ölçüm analizi yapılmış Şekil 4.19'da grafiksel olarak çıkartılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.19'dan anlaşılacağı üzere 60° 'de malzeme işlendiğinde minimum et kalınlığı 0,26 mm olarak ölçülmüştür.



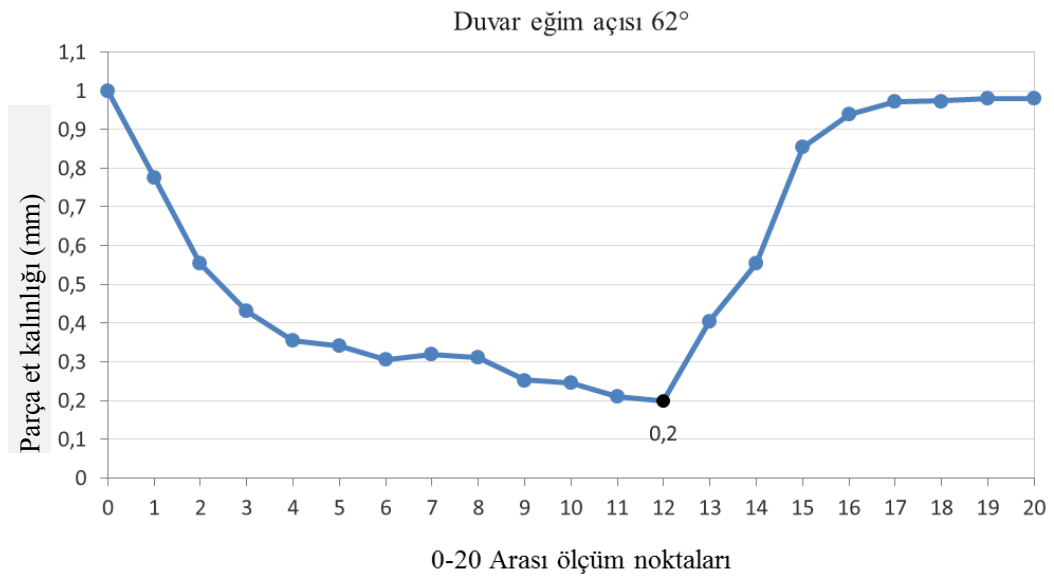
Şekil 4.19. 60° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemenin kalınlık analizi.

Duvar eğim açısı 62° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Duvar eğim açısı 62° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü.

Duvar eğim açısı 62° olan 12 nolu deneyde kalınlık ölçüm analizi yapılmış ve Şekil 4.21'de grafiksel olarak çıkartılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.21'deki grafikten anlaşılacağı üzere 62° 'de sacın işlendiğinde minimum et kalınlığı 0,2 mm olarak ölçülmüştür.



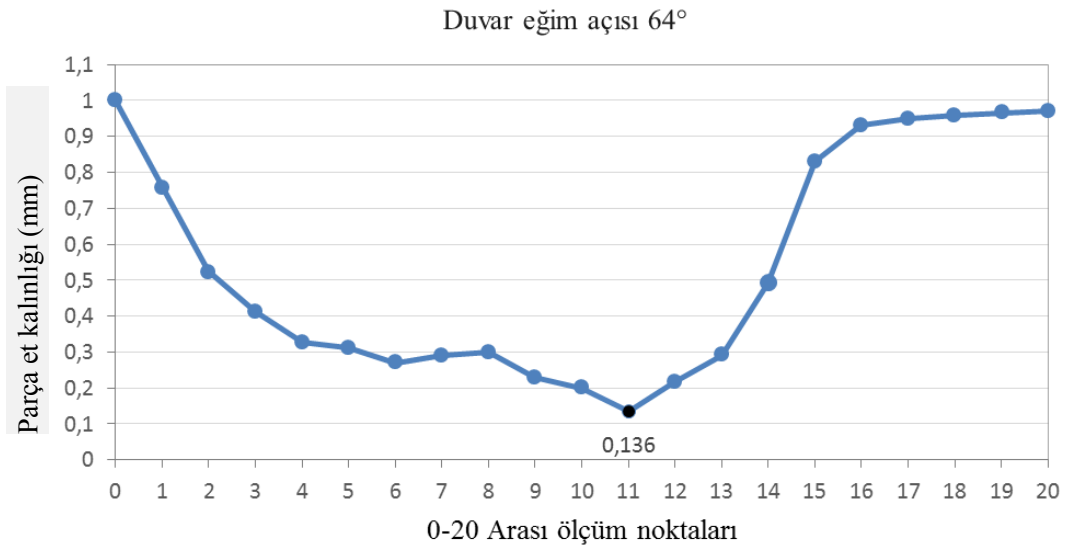
Şekil 4.21. 62° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemenin kalınlık analizi.

Duvar eğim açısı 64° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

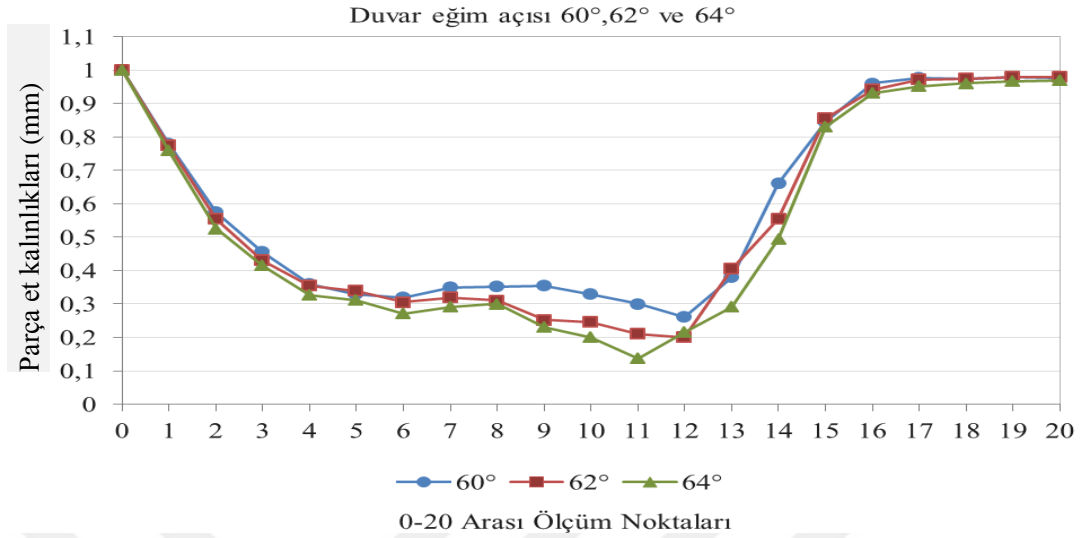


Şekil 4.22. Duvar eğim açısı 60° olan deney numunesinin et kalınlığının ölçülmesi için ortadan kesilen görüntüsü.

Duvar eğim açısı 64° olan 13 nolu deneyde kalınlık ölçüm analizi yapılmış Şekil 4.23’te grafiksel olarak çıkartılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.23’teki grafikten anlaşılacağı üzere 64° ’de sacın işlendiğinde minimum et kalınlığı 0,136 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.23. 64° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemenin kalınlık analizi.



Şekil 4.24. 60°, 62° ve 64° duvar eğim açısı verilerek CNC tornada inkremental yöntemle işlenen Al 5005-H24 malzemelerin kalınlık analizi.

Şekil 4.24’de görüldüğü üzere yapılan ölçümlere göre Al 5005-H24 1 mm’lik sac levhanın maksimum duvar eğim açısı 64°’de et kalınlığı 0,136 mm’ye kadar inilmiştir.

Al 5005-H24 alaşımının yapılan deneylere bakıldığında inkremental şekillendirme yöntemiyle CNC tornada işlemeye uygun olduğunu görülmüştür. 65° ye kadar istenilen açılarda işlemler yapılabilir. Bundan sonraki yapılacak deneylerde devir hızını ve Δz değerlerini değiştirerek malzeme üzerinde yapacağı etki gözlemlenmiştir.

18 nolu deneyde sac levhası kalıba bağlanıp gres yağ ile yağlandıktan sonra program yazılmıştır. Duvar eğim açısı 60° verip S:1200 dev/dk f: 0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm verilerek deney gerçekleştirilmiştir. Maksimum derinlik olan -30 mm’ye kadar inilmiş herhangi çatlama ve yırtılma görülmemiştir.

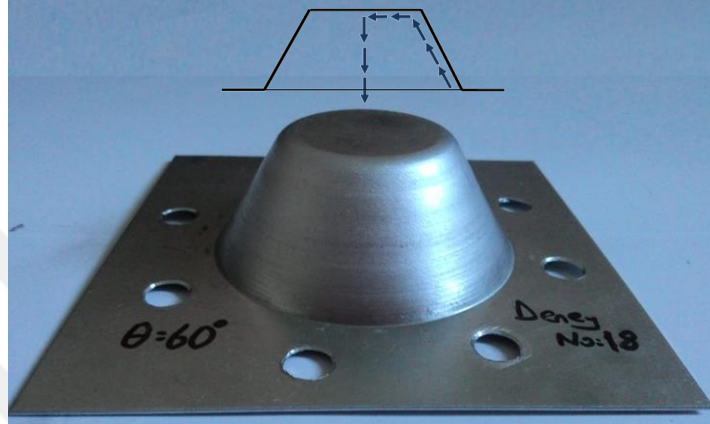
19 nolu deneyde duvar eğim açısı 60° verip S: 800 dev/dk, f:0,30 mm/dev ve Δz : 0,5 mm verilerek deney gerçekleştirilmiştir. Maksimum derinlik olan -30 mm’ye kadar inildi herhangi çatlama ve yırtılma görülmemiştir.

20 nolu deneyde ise devir 1000 dev/dk, f: 0,30 mm/dev verip Δz : 0,7 mm verilerek deney gerçekleştirilmiştir. Maksimum derinlik olan -30 mm’ye kadar inildi herhangi çatlama ve yırtılma görülmemiştir.

21 nolu deneyde yine devir 1000 dev/dk, f: 0,30 mm/dev verip Δz : 0,3 mm verilerek deney gerçekleştirilmiştir. Maksimum derinlik olan -30 mm’ye kadar inildi herhangi çatlama ve yırtılma görülmemiştir.

4.7.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Şekil 4.25’de gösterilen duvar eğim açısı 60° verilerek gerçekleştirilen 10, 18, 19, 20, 21 ve 23 nolu deneyler devir hızının ve adımın sac levhası üzerindeki etkileri görmek için yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri ölçülmüştür.



Şekil 4.25. 60° eğim açısıyla işlenen 18 nolu deneyin gösterimi.

Şekil 4.26’da gösterildiği gibi inkremental şekillendirmeyle işlenen deney numuneleri özel açılı bağlama kalıbıyla bağlanmıştır. TESCON TR-200 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla deney numuneleri üzerinden eşit aralıklarla dört adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları dört adet yüzey pürüzlülük değerinin ortalaması olarak kaydedildi.



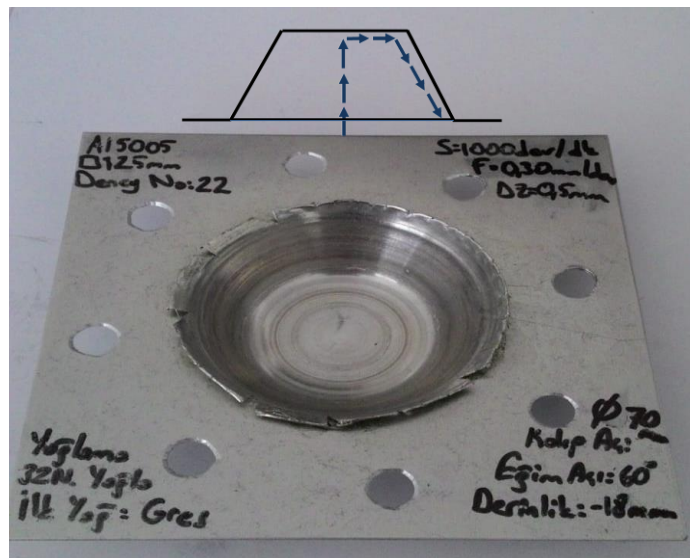
Şekil 4.26. TESCON TR-200 Yüzey pürüzlülük cihazıyla numunelerimizin R_a değerlerinin ölçümü.

Çizelge 4.4'te 60° eğim açısında farklı devir, ilerleme hızı, adım ölçüleri ve yüzey pürüzlülüklerinin değeri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. 60° eğim açısında farklı devir hızı, adım ölçüleri ve yüzey pürüzlülükleri.

Deney No	Adım (Δz) (mm)	Küresel uç çapı (\emptyset) (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Devir hızı (dev/dk)	Duvar eğim açısı (θ)	Derinlik mm	Yüzey pürüzlülük değeri Ra (μm)
10	0,5	10	0,30	1000	60°	-30	0,560
18	0,5	10	0,30	1200	60°	-30	0,656
19	0,5	10	0,30	800	60°	-30	0,662
20	0,7	10	0,30	1000	60°	-30	0,602
21	0,3	10	0,30	1000	60°	-30	0,112
22	0,5	10	0,30	1000	60°	-18	-
23	0,5	10	0,15	1000	60°	-30	0,201

22 nolu deneyde duvar eğim açısı 60° ve takım yolunu merkezde dışarıya doğru verilerek gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere -18 mm'de yırtılmıştır. Şekil 4.27'de gösterildiği gibi parça yüzeyinde normalinden çok fazla sıvanma ve dışarıya doğru çapak çıkışı diğer deneylerden daha fazla gözlemlendi. Önceki yapılan eğim açısı 62° olan 4 nolu deneyi doğrulamış ve erken yırtılma göstererek aynı sonucu vermiştir. Merkezden dışarıya doğru takım yolunda duvar eğim açısının, derinlik değerlerini değiştirdiği söylenemez.

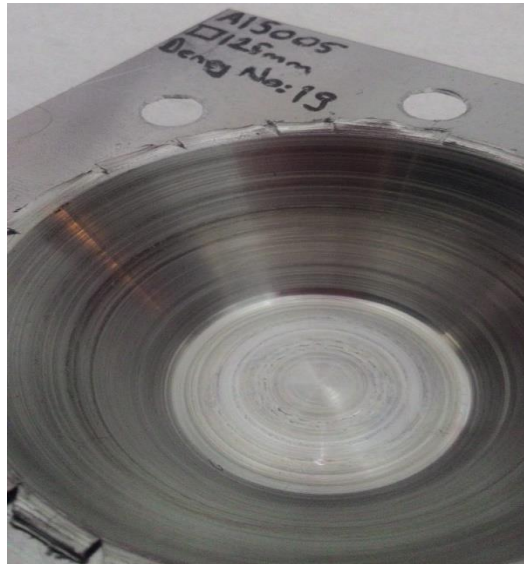


Şekil 4.27. Takım yolu merkezden dışarıya doğru olan 22 nolu deney gösterimi.

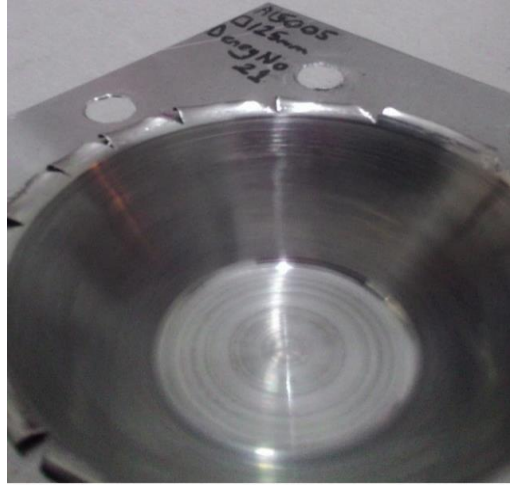
10, 18 ve 19 nolu deneylerde duvar eğim açısı 60° olup Δz : 0,5 mm, f : 0,30 mm/dev verilip sadece devir hızı değiştirilerek deneyler gerçekleştirildi. Yukarıdaki verilerden anlaşılacağı üzere devir hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde pek etkisi olmadığı görülmektedir.

10, 20 ve 21 deneylerdeki adım değerleri incelenirse 0,5 mm adımda yüzey pürüzlülüğü 0,560 μm olduğu görülmektedir. Δz : 0,7 mm de ise 0,602 μm olduğu görülmektedir. 21 nolu deneyimizde Δz : 0,3 mm adımda R_a : 0,112 μm değerimiz istenilen düzeyin üstünde çıkmıştır. Buna göre adım değeri azaldıkça yüzey pürüzlülüğü azalabilir diyebiliriz.

Şekil 4.28'de yüzey pürüzlülüğü 0,662 μm ile en fazla çıkan 19 nolu deneyle yüzey pürüzlülüğü 0,112 μm ile en düşük çıkan 21 nolu deney karşılaştırılmıştır. CNC tornada inkremental şekil verme işlemi bittikten sonra işlem yüzeyinden dışarıya doğru çıkan çapaklar gözükmemektedir. Bu çapakları alma esnasında işlem yüzeyinde çizikler oluşabileceğinden çapak alma işlemi gerçekleştirilmedi. Hassas yüzey pürüzlüğü değeri ölçülmesi açısından işlenen yüzeye dışarıdan hiçbir etki olmaması gerekmektedir. Şekil 4.28'de görüldüğü gibi 19 nolu deneyde takım yolları gözle görülecek seviyede belirgin ve yüzey pürüzlüdür. Ama Şekil 4.29'da 21 nolu deneyde ise gayet parlak ve pürüzsüz bir yüzey görülmektedir. Yüzey pürüzlüğü verilerine bakmadan bile oluşan fark gözle görülmektedir.

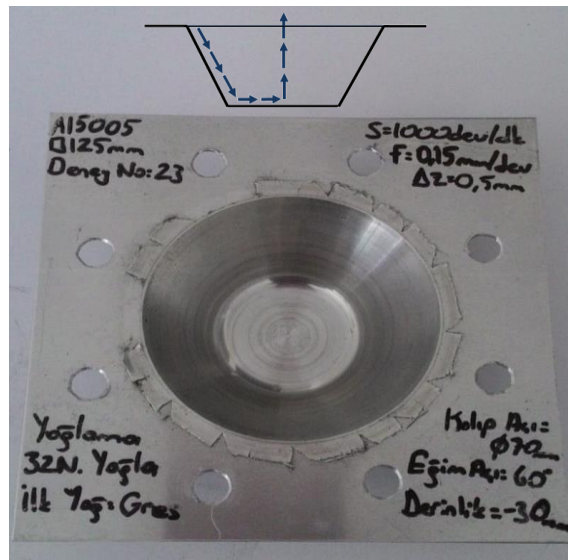


Şekil 4.28. 19 nolu deneyde R_a : 0,662 μm çıkan parça gösterimi.



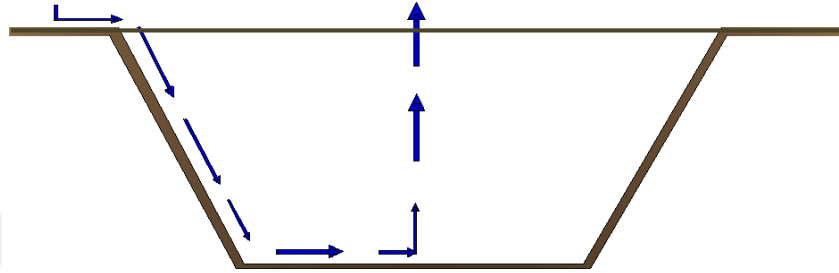
Şekil 4.29. 21 nolu deneyde Ra: 0,112 μm çıkan deneyin gösterimi.

23 nolu deneyde takım ilerleme hızı azaltılarak, yüzey pürüzlülüğü azaltılmak istenildi. S:1000 dev/dk, Δz : 0,5 mm adım verilmiş ilerleme hızı azaltılarak f: 0,15 mm/dev verilerek deney gerçekleştirildi. TESCON TR-200 yüzey pürüzlülük cihazıyla numunelerin Ra değerlerinin ölçümü gerçekleştirildi ve elde edilen Ra değeri istenilen değer üstünde 0,201 μm bulundu. Bu veriye göre ilerleme hızı düşürüldükçe yüzey pürüzlülüğü azaldığı görüldü. Şekil 4.30'da gösterildiği üzere gözle görülecek derecede yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.



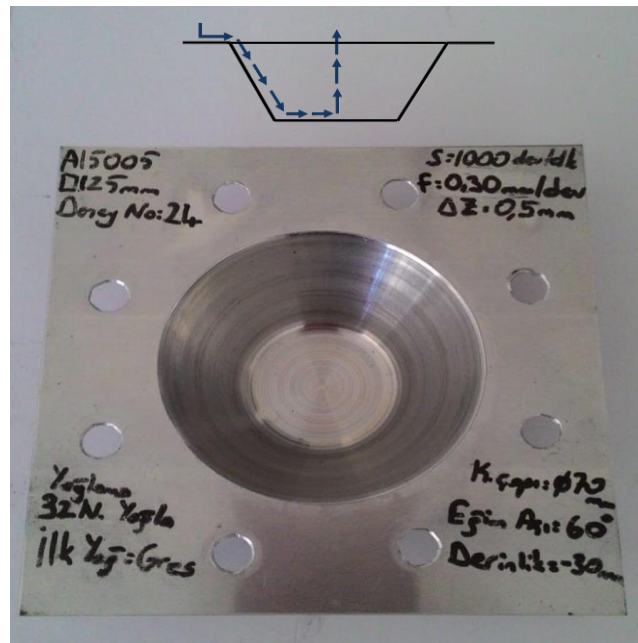
Şekil 4.30. İlerleme hızı 15 m/dk verilen 23 nolu deneyin ön görünümü.

Deneyler esnasında işlem yapılan yüzeylerin incelmesi neticesinde çıkan malzeme işlem yüzeyinden dışarıya doğru atılmaya zorlanmış ve bu zorlama neticesinde kalıptan dışarıya doğru yığılmalar ve çaparaklıları oluştuğu görülmüştür. Deney bittikten sonra bu çapakları temizlemek parça hassasiyetini bozabileceği için çok dikkatli yapılması gereklidir. Bunu önlemek için küresel uçlu takım Şekil 4.31’de gösterildiği gibi takım yolu çapaklanmanın olduğu bölgeden aşağıya doğru yön verilmesi gerekir.



Şekil 4.31. Yığılmayı önlemek amacıyla takım yolunun dışarıdan verilmesinin gösterimi.

Şekil 4.30’da gösterildiği gibi takım yolu verilerek S: 1000 dev/dk, Δz : 0,5 mm ve f: 0,30 mm/dev 24 nolu deney gerçekleştirildi. Şekil 4.32’de gösterildiği gibi çapaksız yüzey elde edilmiştir. Diğer deneylere de uygulanabilir olan bu yöntemle ayrıca çapak temizleme işlemine gerek kalmadan temiz bir şekilde parça elde edildi.



Şekil 4.32. Takım yolu yardımıyla çapakları alınan 24 nolu deneyin gösterimi.

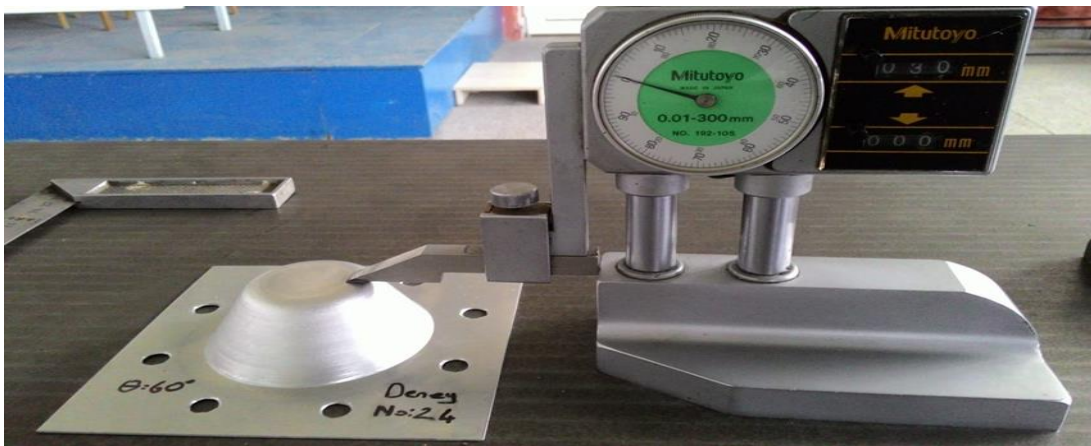
60° eğim açısıyla yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde adım değeri en düşük ve ilerleme hızı en az verilen deneylerde Ra değeri istenilen değerde çıkmıştır. Çizelge 4.5'te ise devir, adım ve ilerleme hızları aynı olan üç farklı duvar eğim açısı incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri ölçüldüğünde en düşük Ra: 0,560 değeri duvar eğim açısı 60° olan 10 nolu deneyde görüldü. 62° ve 64° eğim açısındaki değerler bu veriden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.5'den anlaşılacağı üzere duvar eğim açısının yüzey pürüzlülük değeri üzerinde etkisi olduğu söylenemez. Elde edilen verilere baktığımızda duvar eğim açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde pek etki etmediğini gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.5. 60°,62° ve 64° yüzey pürüzlülüğüne etkisi.

Deney no	Adım (Δz) (mm)	Küresel Uç çapı (\varnothing) (mm)	İlerleme hızı (m/dk)	Devir hızı(dev/dk)	Yüzey Pürüzlülük Ra (μm)	Eğim açısı	Açıklama
10	0,5	10	30	1000	0,560	60°	Yırtılmadı
11	0,5	10	30	1000	-	65°	Yırtıldı
12	0,5	10	30	1000	0,835	62°	Yırtılmadı
13	0,5	10	30	1000	0,745	64°	Yırtılmadı

İnkremental şekillendirme yöntemiyle yapılan deneyler şekil verme esnasında esneme olabileceğinden elde edilen verilerin sağlamlığı açısından Şekil 4.33'de gösterildiği gibi mihengirle derinlik ve yükseklik değerleri kontrol edildi. Tekrardan ölçülen deneylerden elde edilen verilere bakıldığında esnemenin olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.33. Takım yolu yardımıyla çapakları alınan 24 nolu deneyin mihengir ile yükseklik ölçümü.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

CNC torna tezgâhında negatif inkremental şekillendirme işleminde 10 mm çapında sertleştirilmiş yarım küresel başlı takım kullanılarak deneyler yapılmıştır. Ayrıca literatürde kullanılmamış 1 mm kalınlığında Al 5005-H24 sac levha ile deneyler yaparak sac levha inkremental şekillendirmeye karşı davranışları incelenmiştir. Deneylerin sonuçlarına dayanarak aşağıdaki ana sonuçlar çıkarılabilir.

Al 5005-H24 sacının maksimum şekillendirilebilirlik duvar eğim açısı 64° bulunmuştur. Duvar eğim açısı 60° , 62° ve 64° 'lerde -30 mm'ye kadar inilmiş herhangi yırtılma görülmemiştir. 65° de yapılan deneyler -30mm derinliğe inmeden erken yırtılma göstermişlerdir.

Al 5005 alaşımının yağsız olarak CNC tornada şekillendirilmesi önerilmez. 1 nolu deneyde görüldüğü gibi erken yırtılmalar ve levha üzerinde yığılmalar görülmüştür. İnkremental şekil verme işleminde yağ kullanımı saca derinlik vermede ve yüzey kalitesinde fayda sağlar sağlamıştır.

Takım yolu merkezden dışa doğru olduğunda deney numunelerinde erken yırtılmalar görülmüştür. Dışarıdan merkeze doğru takım yolunda ise daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. İstenilen derinliklere ulaşmada dışarıdan merkeze doğru takım yolu inkremental şekillendirmede tavsiye edilir.

Çalışmada literatürde bulunmayan yeni bir takım yolu stratejisi denenmiş yırtılmaların gerçekleştiği bölgeye malzemeyi yıkmak için takım yolunu dışarıdan ve merkezden yani iki yönlü vererek malzemeyi yırtılma bölgesine yığarak daha fazla derinliklere ulaşmak istenilmiştir. Ancak 9 nolu deney sonuçlarından görüldüğü üzere alüminyum levha erken yırtılma eğilimi göstermiştir. Bu takım yolu stratejisinin inkremental şekillendirmeye uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Duvar eğim açısı 60° , 62° ve 64° 'lerde -30 mm'ye kadar inilmiş herhangi yırtılma görülmemiştir. Yapılan deney numunelerimiz merkezden ikiye bölünmüş ve et kalınlıkları ölçülmüştür. Eğim açısı 60° 'de en düşük et kalınlığı 0,26 mm, 62° 'de 0,20 mm ve 64° 'de ise 0,136 mm ölçülmüştür.

Duvar eğim açısı 60° 'de devir hızı, adım ve ilerleme hızının Ra değerine etkisi ile ilgili yapılan deneyler maddeler halinde açıklanmıştır.

- a) Devir hızının etkisini görmek için 800, 1000 ve 1200 devirlerde yapılan 10, 18 ve 19 nolu deneylere bakıldığında devir hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde pek etkisi olmadığı görülmektedir.
- b) Adım miktarının etkisine bakıldığında en düşük 21 nolu deneyde Δz : 0,3 mm'de yüzey pürüzlülüğünün iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. Δz : 0,5mm ve Δz : 0,7 mm'de ise birbirine yakın veriler ölçülmüştür.
- c) Aynı koşullar altında yapılan 10 nolu deneyde takım ilerleme hızını f : 30 m/dk verildiğinde R_a : 0,560 μm çıkmıştır. Aynı koşullar altında yapılan 23 nolu deneyde f : 15 m/dk verildiğinde ise R_a : 0,201 μm ölçülmüştür. Bu verilere göre ilerleme hızı düşürüldükçe yüzey pürüzlülüğünde iyileşme görülmüştür.

Farklı duvar eğim açılarda 60° , 62° ve 64° 'lerde gerçekleştirilen deneylerin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında farklı eğim açılarının yüzey pürüzlülüğüne etki etmediği sonucuna varılmıştır.

5.2. Öneriler

CNC Tornada inkremental şekillendirme işlemiyle yapılan bu araştırma sonlu elemanlar analizleri ve simülasyonlarıyla da yapılabilir. Sac malzemenin inkremental şekillendirmeye karşı göstermiş olduğu dirençleri görmek için şekillendirilebilirlik sınır diyagramı çıkartılarak sac hakkında daha fazala bilgiye sahip olunabilir. Sac malzemenin geri esneme deneyleri yapılarak istenilen tolerans miktarları belirlenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ambrogio, G., Ingarao, G., Gagliardi, F., Lorenzo, R.D. (2014a). Analysis Of Energy Efficiency Of Different Setups Able To Perform Single Point Incremental Forming (SPIF) Processes. *Procedia CIRP*. 15 (2014) s.111 – 116.

Ambrogio, G., Bruschi, S., Gagliardi, F., Ghiotti, A., ve Filice L. (2014b). Impact of high speed incremental forming on material properties of AA 6082 sheets. *Key Engineering Materials Vols.* pp.406-412.

Ambrogio, G. ve Gagliardi, F. (2015). Temperature variation during high speed incremental forming on different lightweight alloys. *International Journal of Advanced Manufacturing* (2015), cilt 76, s.1819–1825.

Ambrogio, G., Sgambitterra, E., Napoli, N.D., Gagliardi, F., Fragomeni, G., Piccininni, A., Guglielmi, P., Palumbo, G., Sorgente, D., Barbera, L.L., ve Villa, T.M. (2017). Performances analysis of Titanium prostheses manufactured by Superplastic Forming and Incremental Forming. 17th International Conference on Sheet Metal, SHEMET17, *Procedia Engineering* sayı 183, s.168 – 173.

Azevedo, N.D., Farias, J.S., Bastos, R.P., Teixeira, P., Davim, J.P., ve Sousa, R.J.A., (2015). Lubrication Aspects during Single Point Incremental Forming for Steel and Aluminum Materials. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*, pp. 589-595.

Bayram, H., Köksal, N.S. (2015). AA 2024 Alaşımının Artışlı Şekillendirilebilirliğinin İncelenmesi. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, cilt.11, no.1, s. 49-58.

Camara, J.L.P.B. (2009, September). Single Point Incremental Forming. Instituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica de Lisboa, Portekiz.

Can Alüminyum, (2020) 10.02.2020 tarihinde <http://www.canaluminum.com.tr/TR/Aluminium/63/> adresinden erişildi.

Durgun, İ. ve Sakin, A., (2016). Artımlı sac şekillendirme tekniği ile otomobil sac parça üretimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, cilt 22(1), s.8-16

Durgun, İ. (2017). Artımsal Şekillendirme Yöntemi İle Alüminyum Parçaların Şekillendirilmesi. 2017 Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 29-30 September 2017, Baku – Azerbaijan.

Gavas, M., Yaşar, M., Aydın, M., Altunpak, Y. (2015). *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri* (Dördüncü Baskı). Türkiye: Seçkin Yayınevi, s. 95-138.

İstanbul Teknik Üniversitesi, (2020) 05.01.2020 tarihinde <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/Groover%20PSV%20TUR.pdf/> adresinden erişildi.

Jeswiet, J., Micari, F., Hirt, G., Bramley, A., Duflou, J., ve Allwood, J. (2005). Asymmetric Single Point Incremental Forming of Sheet Metal. *Production Technology*, 54 (2), s.623-649.

Mumcu, H. (2009,Mart) EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MAXSIMUM FORMING ANGLE AND WALL THICKNESS VARIATION ON AI-1050 SHEET METAL IN NEGATIVE INCREMENTAL FORMING. *e-Journal of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 4 (2), s.182-191.

KAYNAKLAR DİZİNİ(devamı)

Mulay, A., Ben, B.S., İsmail, S., Kocanda, A., ve Jasiński, C. (2018). Performance evaluation of high-speed incremental sheet forming technology for AA5754 H22 aluminum and DC04 steel sheets. *Archives of civil and mechanical engineering*, cilt18, s.1275-1287.

Moayedfar, M., Leman, Z., Mirabi, H., Baharudin, B.T.H.T. (2013). The Effect of Forming Parameters on the Sheet Stretch in Incremental Sheet Forming (ISF) process on CNC Lathe Machine. *Trans Tech Publications*, s.2894-2898.

Nasulea, D. ve Oancea, G. (2017). Design and manufacturing of a fixing device for incremental sheet forming process. MATEC Web of Conferences, Transilvania University of Brasov, Department of Manufacturing Engineering, Brasov, Romania.

Neogeo, I., (2013). SURFACE QUALITY FOR CONICAL PARTS MANUFACTURED BY INCREMENTAL FORMING ON CNC LATHES. THE 11th INTERNATIONAL. Annals of MTeM for 2013 & Proceedings of the 11th International MTeM Conference Published by MTeM , Cluj-Napoca, Romania.

Poudel, B., (2018). INCREMENTAL SHEET FORMING METHOD. Hame University, Riihimaki Degree Program in Mechanical Engineering and Production Technology, Finland.

Seykoç. (2020) 15.03.2020 tarihinde <http://www.seykoc.com.tr/icerik/5005?dil=tr/> adresinden erişildi.

Suriyapran, P. (2013,February). Single Point Incremental Forming and Multi-Stage Incremental Forming on Aluminium Alloy 1050. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto & Faculty of Engineering, Thammasat University.

Tamer, M.E., Music, Ö., Ozdemir, İ., Baranoğlu, B., Sakin, A., ve Durgun, İ. (2013, Ağustos). Artımlı Sac Şekillendirme Yönteminin Sayısal Analizinde Açık Adım ve Kapalı Adım Sonlu Eleman Yöntemi Çözümlerinin Karşılaştırmalı Analizi. XVIII. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ 26 - 30 Ağustos 2013, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.

Tokuhiro, S., Suzuki, N. ve Takeuchi, O. (2018). Cylinder forming by die-less shear spinning with sheet thickness controlling of its Wall. *Procedia Manufacturing* 15 (2018) s.1232–1238.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı ve Adı : TOKDEMİR, Güven
Doğum Tarihi ve Yeri : 14.07.1993-Bursa
E-mail : guven.tokdemr08@gmail.com.

Eğitim Durumu

Yüksek lisans : DPÜ Fen Bilimleri Enst. İleri Tek. Makine devam ediyor.
Lisans : DPÜ Simav Teknoloji Fakültesi İmalat Müh., 2017
Lise : Bursa Tophane Endüstri Meslek Lisesi, 2011

Yabancı Dil :İngilizce Orta Seviye