

ŞEKİL VERİLMİŞ UÇAK GÖVDE KABUKLARININ 5 EKSEN FREZELEME YÖNTEMİYLE İŞLENMESİ

Recep Akçay^{a,*}, İlker Gençay^a, Tuna Eden^a

^a TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay San. A. Ş. Tel: 0-312-8111800 Ankara/TÜRKİYE
rakcay@tai.com.tr

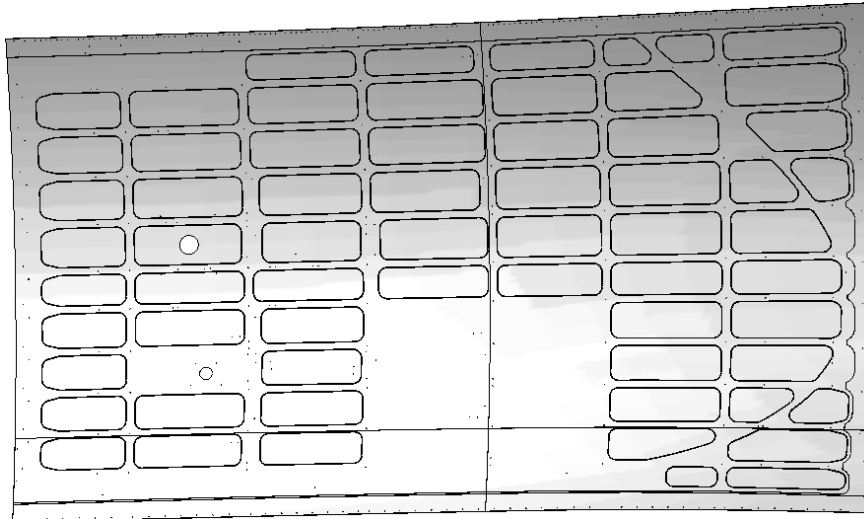
Özet

Uçak ve benzeri hava araçlarının gövde kabukları genellikle sac alüminyum alaşımlarından imal edilirler. 1 ile 12 mm arasında kalınlığa sahip sac plakalar hava aracının gövde geometrisini yansıtacak şekilde şekillendirilirler. Şekillendirme işlemi muhtelif şekillendirme işlemleriyle (gerdirmeye, yuvarlama v.b.) yapılır. Bu işlemden sonra ağırlık azaltmak amaçlı olarak belirli alanlarda sac kalınlığının düşürülmesi gerekir. Havacılık sanayinde bu kalınlık düşürme işlemi genellikle kimyasal frezeleme yöntemi ile yapılır. Kimyasal frezelemede çevreye zararlı maddeler kullanılır, işlem süresi uzun ve maliyeti yüksektir. Bu dezavantajlarından dolayı havacılık sanayinde kimyasal frezelemeye alternatif yöntemler araştırılmaktadır. Bu çalışmada uçak gövde kabuklarının kimyasal frezeleme yerine 5 eksen frezelemeyle işlenmesine bir örnek sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Uçak gövde kabuğu, kalınlık düşürme, 5 eksen frezeleme

1. Giriş

Uçak ve benzeri hava taşıtlarının gövdeleri çoğunlukla alüminyum sac malzemeden imal edilirler. Kabuklar gövdenin şeklini yansıtacak şekilde serbest formlu yüzeylere sahiptir. Sac malzeme, kalıplar vasıtasıyla gerdirmeye presinde çekilerek veya yuvarlama presinde bükülerek şekillendirilir. Sac malzeme kalınlığı 1-12 mm arasında olabilir. Şekil 1’de gerdirmeye presi ile şekillendirilmiş bir uçak gövde kabuğu örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı kalınlık bölgelerine sahip bir uçak gövde kabuğu [1]

2. Mekanik Frezeleme Yöntemi Çalışmaları

Şekillendirilmiş uçak gövde kabuklarının işlenmesinde kimyasal frezelemeye alternatif olarak mekanik frezeleme yöntemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Avrupa Birliği ve uçak imalatçısı Airbus firmasının desteği ile Fransız “Dufieux” firması bir mekanik frezeleme tezgahı geliştirmiştir [2, 3, 4]. Tezgahı Fransa’da yerleşik “Aerolia” firması Airbus yolcu uçağı gövde kabuklarının imalatında kullanmaktadır. Ayrıca İspanyol M-Torres firması da benzer bir mekanik frezeleme tezgahı geliştirmiştir [5]. Bu tezgahı da Almanya’da yerleşik “Premium Aerotec” firması Airbus yolcu uçağı gövde kabuklarının imalatında kullanmaktadır. Bunların dışında bazı tezgah üreticisi firmaların da mekanik frezeleme üzerine çalışmalar yaptığı bilinmektedir. Ancak henüz kullanıma alınmış bir çözümleri görülmemiştir.

Çalışmaların yeni olması, rekabet edecek firma sayısının azlığı ve sofistike sistemler kullanılması gibi sebeplerden dolayı yukarıda bahsedilen her iki çözüm de oldukça pahalıdır. Bu pahalı çözümlerin özelliği; şekillendirilmiş gövde kabuklarını kendine özgü takım veya aparattan bağımsız olarak, üniversal bir tutma ve destek düzeneği ile sac kalınlığını kontrol altında tutarak işleme yapabilesidir.

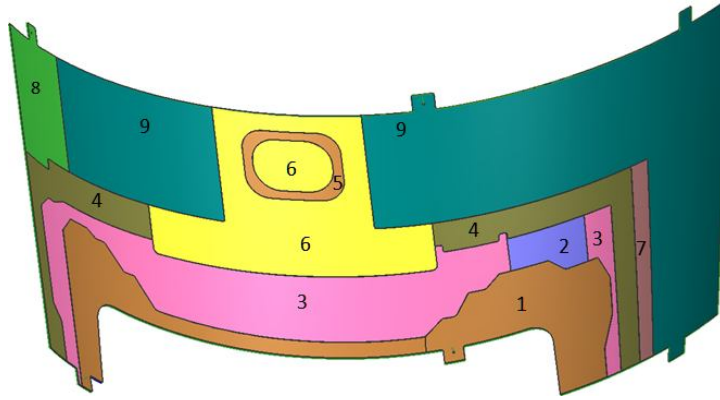
3. TUSAŞ’da Geliştirilen Mekanik Frezeleme Yöntemi ve Süreci

TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay San. A. Ş. (TAI), bazı ticari uçakların gövde panellerini üretmektedir. Şekil 2’de bu panellerin oluşturduğu bir kısım gösterilmiştir.



Şekil 2. Tek koridorlu uçak arka gövde kısmı

Tek koridorlu bir uçak gövdesine ait bu kısımda yolcu kapılarını çevreleyen 4 adet dış kabuk değişken et kalınlıklarına sahiptir. Kabuk malzemesi 6 mm kalınlığındaki “2024 alclad” alüminyum alaşımı sacdır. Şekil 3’de bu kabuklardan birinin model resmi gösterilmiştir. Kabuk üzerinde $-/+ 0,15$ mm toleransa sahip 9 farklı kalınlık bölgesi vardır. 6 mm stok kalınlığına sahip bölge dışındaki alanlarda kalınlık düşürme işlemi uygulanarak istenilen kalınlıklar elde edilir. Çizelge 1’de bölgelerin kalınlık değerleri ve kapladığı alanlar gösterilmiştir. Kalınlık düşürme ve çevre kesme işlemlerinde yaklaşık 48 kg talaş kaldırılarak parça ağırlığı 42 kg’a düşürülmektedir.



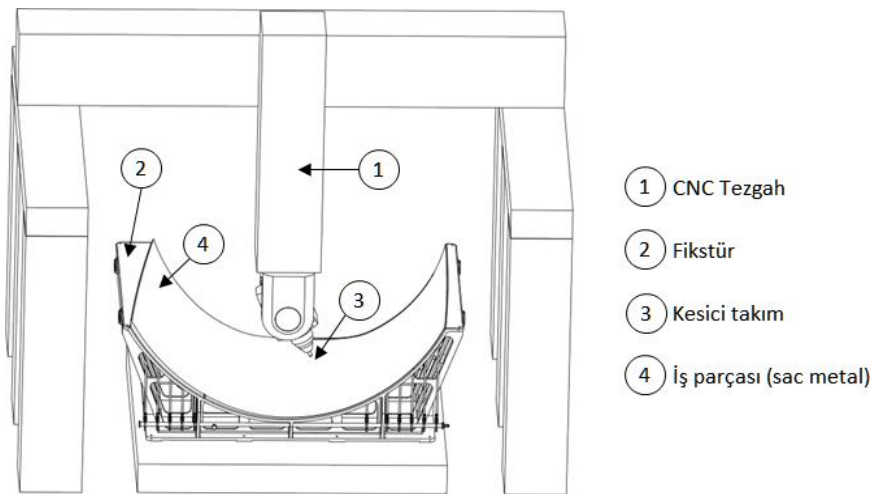
Şekil 3. Değişken et kalınlığına sahip gövde kabuğu

Çizelge 1 Kabuk kalınlıkları

Bölge	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kalınlık (mm)	6 (stk)	5	4	3	2,8	2,4	2	1,8	1,6
Alan (m ²)	0,69	0,08	0,82	0,5	0,05	0,67	0,09	0,25	2,11

TUSAŞ gövde kabuklarında kalınlık düşürme işlemini kimyasal frezeleme yerine mekanik frezeleme yöntemiyle yapmak için bir süreç geliştirmiştir. Süreç tasarımı tamamlanmış, prototip üretimler gerçekleştirilmiştir.

Yöntemin esası şekillendirilmiş kabuğun vakumlu bir bağlama kalıbı içerisinde sabitlenerek 5 eksenli bir CNC tezgahta 5 eksen yüzey frezeleme metoduyla işlenmesidir. Yöntemde kabuk kalınlığının düşürülmesi yanı sıra kenar kesme ve delik delme işlemleri de yapılarak tek seferde bütün talaşlı imalat işlemleri tamamlanmaktadır. Şekil 4'te yöntemin şematik resmi gösterilmiştir. 5 eksen dik işleme merkezi, işlenecek kabuğa özgü bir bağlama kalıbı, kullanılan kesici takımlar ve parça işleme programı (NC Program) yöntem ve sürecin ana unsurlarıdır.



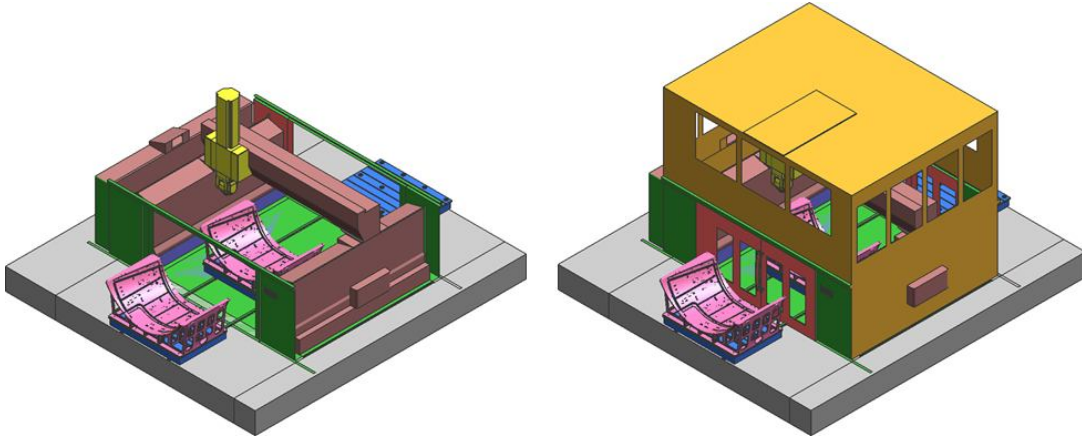
Şekil 4. TUSAŞ'da geliştirilen yöntemin elemanları

3.1 Süreç Tasarımı

Süreçteki en kritik nokta nihai et kalınlıklarının öngörülen toleranslar içinde elde edilebilmesidir. Süreçteki elemanların seçimi ve tasarımında bu noktaya odaklanılmıştır. CNC tezgah sürdürülebilir yüksek hassasiyeti sağlayacak özellikleri ile seçilmiştir. Tezgahın çalışma oranını en üst seviyede tutmak için hazırlık işlemlerinin tezgah dışında yapılabileceği bir yükleme boşaltma sistemi öngörülmüştür. Bağlama kalıbı taşıma ve parça işleme sırasında esnemelere karşı dayanıklı bir yapıda tasarlanmış, bağlama yüzeyi hassas bir şekilde işlenmiştir. İstenilen et kalınlıklarının sağlanmasında ön şart işlenecek sac malzemenin dış yüzeyi ile kalıp iç yüzeyi arasında tam temasının sağlanmasıdır. Şekillendirme işleminden gelen form hataları, çok geniş temas alanı ve esnemeye çok müsait olmayan 6 mm sac kalınlığı iki yüzey arasındaki tam teması engelleyen en önemli olumsuz etkenlerdir. Vakumlu kalıp tasarımı, parçanın kalıba bağlanması ve NC programda operasyon sıralaması bu olumsuzlukları önleyecek şekilde yapılmıştır.

3.1.1. CNC Tezgah

Ön çalışmalar ve prototip üretimler tesiste mevcut 5 eksenli köprülü tip bir CNC işleme merkezine yapılmıştır. Seri üretim için öngörülen tezgah da 5 eksenli köprülü tip bir işleme merkezidir. Tezgah boyutları kabukların tamamını işleyebilecek şekilde belirlenmiştir. Eksen hareketleri, X 3.000, Y 4.000, Z 1.300 milimetredir. İş mili iki döner eksenli (C ve A) çatal kafa içine yerleştirilmiştir. 2 adet 2.000x3.000 mm ebatlarında paletle sahip mekik hareketli yükleme boşaltma sistemi vardır. Bu sistem ile yükleme ve boşaltma işlemleri paletler dışarıda iken yapılmaktadır. Tezgah bir parçayı işlerken dışarıdaki paletle farklı bir parça yüklenerek hazırlık işlemleri yapılmaktadır. Çalışma alanı bir kabin ile tamamen kapatılmıştır. Tezgahın temsili resmi Şekil 5'de gösterilmiştir.

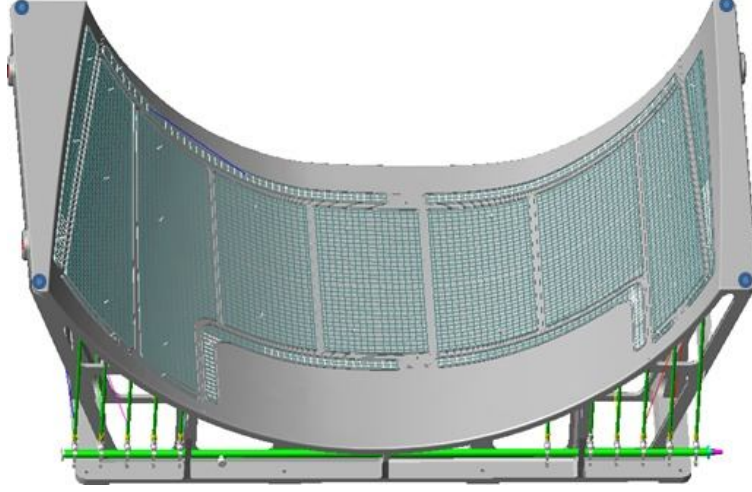


Şekil 5. 2 paletli ve köprülü 5 eksen CNC tezgah

Tezgahın 1 metre doğrusal hareketteki hassasiyeti $\pm 0,007$ mm, döner eksenlerdeki hassasiyeti $\pm 0,002$ derecedir. Tezgah çalışma alanına yerleştirilmiş 4 küre ile tezgah hassasiyeti otomatik olarak kalibre edilmektedir. Kabukların işlenmesinde kaldırılabilir maksimum talaş miktarı dikkate alınarak iş mili devri 24.000 devir/dakika, gücü 40 kW olarak seçilmiştir. Soğutma basınçlı sıvı ile yapılmaktadır. Kesme sırasında ortaya çıkan talaş, duman ve buharın çalışma ortamına yayılması önlemek için tezgah tamamen kapalı bir kabin içerisine yerleştirilmiştir. Kabin içindeki talaşlar konveyör ile, buhar ve duman, emiş ünitesi ile dışarı atılmaktadır. Kesici takımlar otomatik olarak değiştirilmektedir. Parça bağlama kalıbı paletlere pnömatik sistem ile bağlanmaktadır, Bağlama kalıplarının tezgah içindeki konumları üzerlerindeki 3 kürenin tezgah ölçme sistemiyle ölçülmesiyle belirlenmektedir. Kesici takım boyu ölçümü tezgahla bütünleşik lazerli ölçme sistemiyle yapılmaktadır.

3.1.2. Vakumlu Bağlama Kalıbı

Kalınlık düşürme işlemi yapılacak 4 kabuğun her biri için ayrı bağlama kalıbı tasarlanmıştır. Kalıplar sfero döküm (GGG-45) olarak imal edilmiştir. Kalıplarda parça sabitleme yüzeyi işlenecek kabuğun dış yüzey formunu yansıtacak şekilde işlenmiştir. Şekil 6'da kalıbın model resmi gösterilmiştir.



Şekil 6. Kabuk dış yüzey formuna uygun bağlama kalıbı

Şekillendirilmiş sac malzemenin kalıp içerisinde konumlanması için 2 adet referans deliği vardır. Bu delikler sac levhanın gerdirmе presinde şekillendirilmesi sırasında delinmiş olan delikleri karşılayacak konumdadır. Şekillendirilmiş sac malzemenin kalıp yüzeyine tam temas ederek oturması vakum ile sağlanmaktadır. Kesme sırasında olabilecek titreşimleri önlemek ve kenar kesiminden sonra artık malzemeleri yerinde sabit tutmak için kabuğun sınırlarını çevreleyecek şekilde dış vakum bölgeleri yapılmıştır.

3.1.3 Kesici takımlar

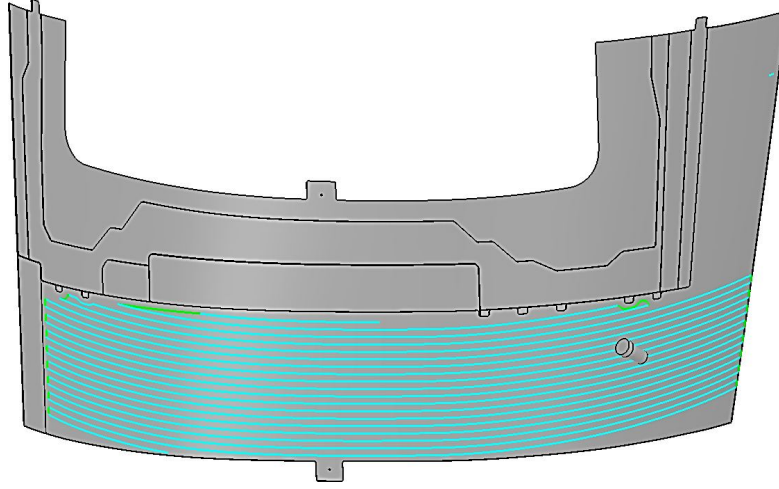
Yüzey silme işleminde kaba ve hassas frezeleme için ayrı kesici takımlar kullanılmıştır. Kaba frezeleme için 50 mm çapında takma uçlu frezeleme takımı, hassas frezeleme için kabuğun ortalama eğrilik yarıçapı dikkate alınarak 25 mm çapında parmak freze kullanılmıştır. Takımların köşe yarıçapı işlenen parçanın dip köşe yuvarlatması ile aynı olacak şekilde 4 mm olarak seçilmiştir. Kenar kesme için 12 mm çapında parmak freze, delik delme için uygun çapta matkap kullanılmıştır. Şekil 7'de kullanılan takımlar gösterilmiştir.



Şekil 7. Kullanılan kesici takımlar

3.1.4. NC program

Parça işleme programı ticari bir CAD/CAM yazılımı ile hazırlanmıştır. Kalınlık düşürme önce kaba talaş kaldırma sonra son frezeleme işlemi olmak üzere iki aşamalı tasarlanmıştır. Kaba frezeleme işlemi ile son frezelemeye 1 mm paso miktarı bırakılmıştır. Kaba frezelemenin iki amacı vardır. Birincisi 6 mm olan malzeme et kalınlığının inceltilecek sacın daha esnek duruma getirilmesi ve vakum vasıtasıyla kalıp yüzeyine tam oturmasının sağlanmasıdır. İkincisi son frezeleme işlemine daha az talaş bırakılmasıyla hassas yüzey kalitesinin elde edilmesidir. Takım hareket yönleri parçanın boy ve en yönündeki eğrilik yarıçapları dikkate alınarak belirlenmiştir. Kesici takım yolları eğrilik yarıçapı daha küçük olan dar yüzey yayları boyunca "zig-zag" olarak oluşturulmuştur. Kesici takım belirlenen takım yolu üzerinde her noktada işlenen yüzeye dik olacak şekilde hareket ettirilmiştir. Şekil 8'de oluşturulan takım yollarına bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 8. Dar yüzey yayları boyunca oluşturulmuş takım yolu

3.2 Süreç Akışı

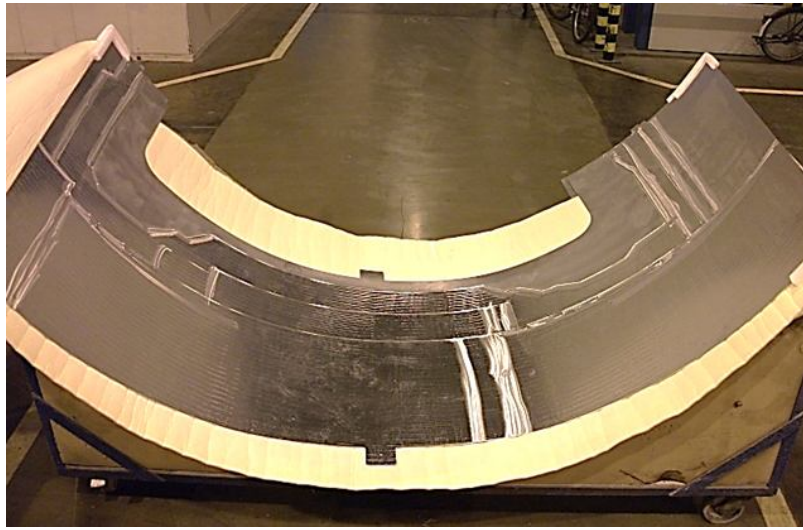
6 mm kalınlığındaki sac malzeme yüzey geometrisine uygun kalıp üzerinde gerdirme presi ile şekillendirilir. Şekillendirme ve sonrasındaki işlemlerin birbirine uyumunu sağlamak için parçaya kalıp üzerindeyken iki adet 6,35 mm çaplı referans deliği delinir. Şekil 9'da işleme öncesi şekillendirilmiş sac malzeme ve çember içine alınmış referans delikler gösterilmiştir.



Şekil 9. İşlenmeye hazır şekillendirilmiş sac malzeme

CNC işleme merkezindeki süreç akışı şu şekildedir:

- Şekillendirilmiş sac malzeme üzerinde bulunan iki adet konumlama deliği bağlama kalıbı üzerindeki deliklerle eşleştirilerek pim ile sabitlenir.
 - Vakumlama işlemine sabitlenen bölgeden başlanır. Vanalar sırasıyla açılarak sol ve sağ yönlere doğru kademeli olarak vakumlama yapılır.
 - Bütün vakum alanları aktif hale getirildikten sonra işlenecek bölge içinde kalan konumlama pimleri çıkarılır.
 - Kalıbın bağlı olduğu palet tezgah içine alınır.
 - Kalıbın tezgah içindeki konumu kalıp üzerinde bulunan ve konumları belli olan 3 küre yardımıyla belirlenir. Tezgahın ölçme sistemiyle 3 kürenin merkezleri bulunarak bir eksen sistemi oluşturulur. Oluşturulan eksen sistemi tezgah eksen sistemiyle eşleştirilir.
 - NC program çalıştırılır.
 - 50 mm çaplı freze çakısı ile kaba frezeleme işlemi yapılır.
 - 12 mm çaplı parmak freze ile parçanın bütün çevresi kesilir. Bu işlemle parça sınırları dışında kalan fazlalıkların vakulamaya olabilecek olumsuz etkileri önlenmiş olur.
 - 25 mm çaplı parmak freze ile hassas yüzey frezeleme işlemi yapılır.
 - Delik delme işlemleri yapılır.
 - İşlemlerin tamamlanmasıyla palet tezgah dışına çıkarılır, işlenmiş parça kalıp içinden alınır.
- Şekil 10'da mamul hale gelmiş bir kabuğun resmi gösterilmiştir.



Şekil 10. Mamul hale gelmiş bir kabuk

4. Sonuçlar ve Kazanımlar

- Gerçekleştirilen bu çalışma ile uçak gövde kabuklarının imalatında kimyasal frezelemeye alternatif bir yöntem ve süreç geliştirilmiştir.
- Benzer mekanik frezeleme çözümlerine göre yatırım maliyeti oldukça düşüktür. Madde 2'de anılan hazır çözümlerin maliyetinin 1/5'i kadardır. Geliştirilen süreç ile yatırım maliyetinden %80 tasarruf sağlanmıştır.
- Süreçteki çevrim süresi (cycle time) kimyasal frezelemenin 1/12'si kadardır. Bu sonuç üretim hızını artırmıştır. Çevrim süresinin azalması ve süreç rotasının kısılması kabuğun üretim akış süresini de (lead time) kısaltmıştır.

Seri üretime geçilmesiyle birlikte;

- Geliştirilen yöntem ve süreçle parça maliyetinde % 60 civarında azalma olacaktır.
- Geliştirilen süreçte yüzey frezeleme yanında kenar kesme ve delik delme işlemlerinin de yapılmasıyla, kimyasal frezeleme sonrası bu işlemleri yapan iş istasyonlarında başka işler için ilave kapasite oluşacaktır.
- Kimyasal frezelemede çevre ve insan sağlığı için zararlı kimyasal maddelerin kullanımı ve tehlikeli atıkların arıtma maliyeti azalacaktır.

Kaynaklar

[1] TUSAŞ, A400M Nakliye Uçağı.

[2] LIFE05 ENV/F/000062 GAP (Green Advanced Panels) Project, Clean manufacturing of space and aeronautic panels, European Commission, Enviroment-LIFE Programme

[3] R. Panczuk, P.Y.Foissac, Process and a device for machining of panels, USA Patent No: 7682112B2, 2010.

[4] http://www.dufieux-industrie.com/en/gap_procede.php

[5] <http://www.mtorres.es/>