

UÇAK MOTORU VE ELEKTROJEN GRUPLARINDAKİ GAZ TÜRBİNİ TEKNOLOJİSİNDEKİ İLERLEMELER,

MALZEME, YÜZEY TEKNOLOJİLERİ VE İMALAT SÜREÇLERİNDEKİ GELİŞMELER (Bölüm 2)

Mümtaz Salih ERDEM
Dr. TEI-TUSAŞ Motor San. A.Ş.

İbrahim Sinan AKMANDOR
Prof. Dr. ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Üretim

Genel Eğilimler

Motor üreticileri arasındaki rekabet maliyet azaltma, öngörülen zamanda teslim, motor güvenilirliğinin, performansının ve ısı verimliliğinin artırılmasına yöneliktir. GE firması, CFM 56 motoru üzerinde yaptığı çalışmalarda, parça sayısı ve çeşidinde herhangi bir değişim olmaksızın, çevrim zamanını 11 günden 7 güne çekmeye çalışmaktadır. Böyle bir hedefi yakalamada, üretim proseslerinin ve personelin önemi büyüktür. Parça akışını eniyilemek için üretim hücreleri (manufacturing cell) oluşturmak, takım çalışması ve takımın motivasyonu önemlidir. Bundan başka, yeni motor programlarında, temel teknoloji gelişimi, programın başında devreye girmelidir. Program icra edilirken geliştirme yapılmamalıdır.

Dövme ve Hassas Döküm

Motorda yüksek basınç kompresör diskleri, ringleri ve kanatçıkları dövme teknolojisi ile üretilmekte, türbindeki tüm hareketli ve sabit kanatçıklar ise hassas döküm ile elde edilmektedir.

Dövme Malzemeler

Dövme parçalarının üretim maliyetlerini en aza indirgenebilmesi için, dövülmeden önceki ham ağırlıklarının optimum düzeyde tahmini önemlidir. ALPID veya DEFÖRM sistemi kullanılarak yapılan simülasyon aynı zamanda dövme malzeme üretimi için geliştirilmiş eniyileme yöntemi olup, malzeme akışı, basınçlar, gerilmeler ve sıcaklıklar dikkate alınmakta ve malzemenin metalurjik ve fiziki yapısı, (yeniden kristalleşme ve tanecik büyüklüğü dağılımı gibi) değerlendirilmektedir.

Geliştirilmiş Ti ve Nikel alaşımlı disk malzemeleri için, daha küçük parçaların mekanik özelliklerinden yola çıkarak, parametrik çözümlerde geliştirilebilir. Deneme - Yanılma yöntemiyle yapılan üretim zaman ve maliyeti arttıracaktır.

Hassas Döküm

Hassas döküm, türbin sabit kanatçık ve ringleri gibi, polikristal yapı, karmaşık şekilli yapılar için uygundur. Beklenen gelişmeler, Şekil 4'de şematik olarak sunulmuştur. Tek kristalli (SX), yüksek basınç türbin kanatçığının aerodinamik geometrisi ve geliştirilmiş soğutması, kanatçık iç şeklinin daha karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Geliştirilmiş kanatçık ringleri yakın gelecekte döküm olacaktır (DS veya SX). Döküm prosesinin eniyilenmesi, bu işlemin benzetimi ile olacaktır. Döküm flanşlar, platformlar, kovanlar, hareketli ve sabit kanatçıkların net şekillenmesi ile, işleme sürelerini azaltacaktır. Hatta bazı dökümhaneler, hareketli kanatçıklara ait döküm ve kaplama işlemlerini tümleştirmişlerdir.

Üretim Teknolojisi / (Nihai Parçaların)

Atelye Yapıları

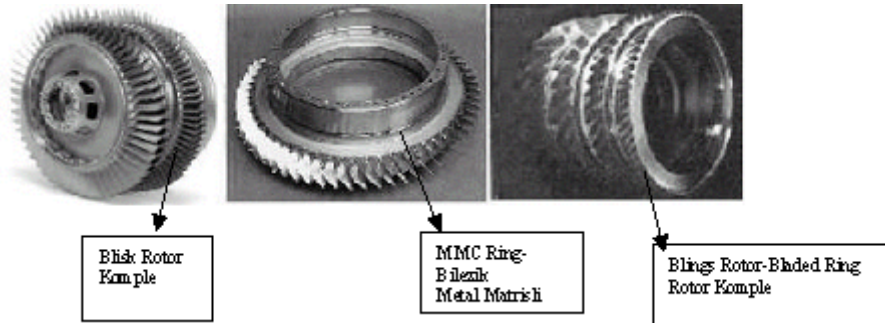
Yeni yöntemler, çevrim zamanını (lead time), maliyetleri, üretim esnekliğini, kalitenin artışı ve çalışma koşullarını toptan ele almaktadır. Bu süreçte hedef, parça akışlarını ve arayüz geçişlerini eniyilemektir.

Eski yapıdaki çok yönlü parça akışına karşın, yeni üretim hücresinde en büyük farklılık, mekanik olmayan proses ve kalite güvenilirliği gibi fonksiyonların varlığıdır. Ayrıca, takım çalışması ve yapısındaki işlerin dağıtımı, organizasyon yapısına bağlı olarak serbest bırakılmıştır. Kalite kavramı, emniyet, atölye temizliği ile ilgili eğitimlerden sonra, örneğin disklerde var olan hasarlı ürün %55 oranında, üretim zamanı ise %25 oranında azalmıştır. Bundan sonraki gelişimler Kaizen, gelişmiş bakım kavramları ile daha da ileriye götürülebilir.

İşleme ve Birleştirme Teknolojileri

Genel

Geliştirilen kesici malzemelerin sürekli azalmakta olan işleme maliyetlerine faydası çoktur. Bunlarla birlikte proseslerin geliştirilmesi veya birleştirilmeside etkin olmaktadır. Çok ince taneli karbür kesiciler, hızlarını önemli ölçülerde arttırmışlardır (Ti ve Ni alaşımlarda). Ti alaşımları için, yüksek hızlı tornalamada hala kesici ile ilgili bor yağı uygulama problemleri yaşanmaktadır. Fırça takviyeli alümina kesiciler ve Si3N4 kesiciler aynı performansa sahiptirler ve daha düşük maliyetlidirler. Soğutma yapmadan işleme veya çok az soğutma yaparak işleme Ti ve Ni alaşımları için zordur.



Şekil 1. Blisk Rotor Komple, Metal Matrisli Kompozit (MMC) Ring, Blings Rotor Komple

A) Blisk (Bladed Disk) - Teknolojisi

Blisks (bladed disk : blisk) kanatçıklı diskler yıllardan beri yardımcı güç ünitelerinde (APU), helikopter motorlarında, ve ticari küçük jetlerde, basit şekilli kanatçıklar olarak kullanılmaktadır. 1980'lerin başından itibaren blisk teknolojisi, büyük miktarlarda askeri ve sivil motorlara uyarlanmıştır. EJ 200 (eurofighter) 6 blisk kademesine sahiptir. Bunlar, çok kavisli (bükümlü) geniş alınlı kanatçıklardır. Ayrıca BRR 700 serisi de birkaç blisk kademesini içermektedir(1). Blisk'ler 3 farklı yolla üretilmektedir.

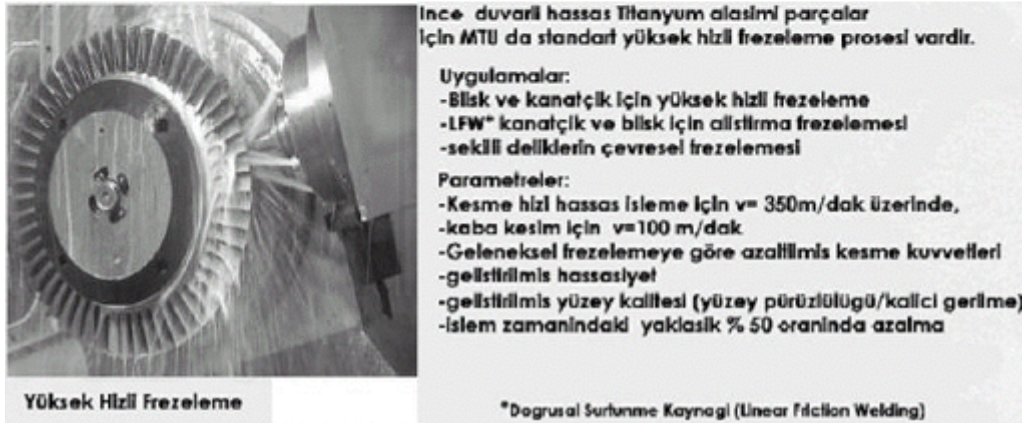
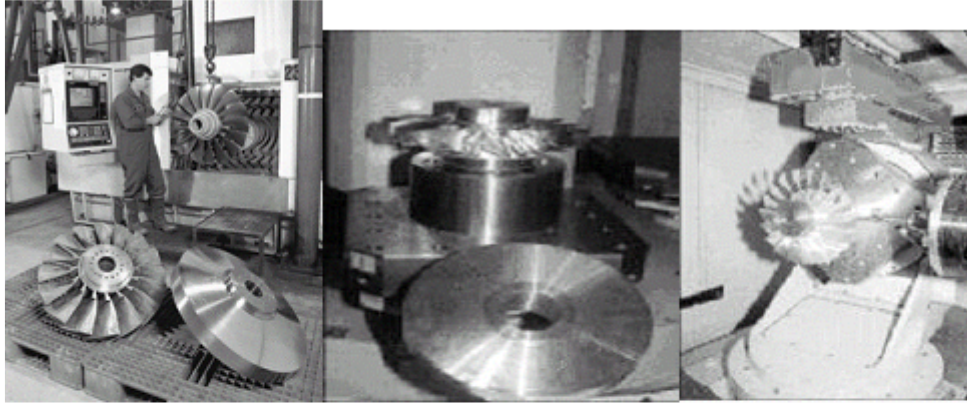
- 1- Katıdan frezeleme ile (boşaltma)
- 2- EMC elektro kimyasal işleme - frezeleme
- 3- Doğrusal sürtünme kaynağı (linear friction welding LWF) ile temiz yüzeyli dövme kanatçıkların kaynatılarak elde edilenleri.

B)- Blisk Frezeleme

Geleneksel yöntem olarak prototip ve test ekipmanı yapımında emniyet ve hız sağlar.

Profili yanal frezelemeye uygun küçük Ti-alaşımli kanatçıkların seri işlemei daha ekonomik olabilir.

Şekil 2 'deki Ti alaşımli blisk'e ait ($\varnothing = 500$ mm, 85 kanatçık, kiriş 33 mm) bir kanatçığın, yüksek hızlı frezeleme de üretimi 15 dk.'dır. Kaba kesimde yaklaşık 100 m/dk, finişte ise 350 m/dk'lık kesme hızları kullanılmaktadır (1). Yüksek hızlı kesme için frezeleme stratejisi, prosesin sağlamlığına bağılı olarak eniyilenmiş ve geleneksel frezeleme işlemine göre %50 zaman tasarrufu sağlanmıştır. Profilin kenarlarında RZ=1,2 μ m elde etmek için elle yapılan radyus işlemine (titreşimli parlatici ile) gerek kalmamaktadır. Bazı uygulamalarda su jeti kullanımı, kanatçıkların arasındaki slotlardaki boşlukları daha ekonomik hale getirebilir. 100 mm kalınlığında malzeme kesilebileceğı gibi, bazı 3 eksenli profilleri bile yapmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 2. Yüksek Hızlı Frezeleme ile Ti Blisk İmalatı(1)

C)- Elektro Kimyasal İşleme - Bliskler (ECM :

Electro Chemical Milling)

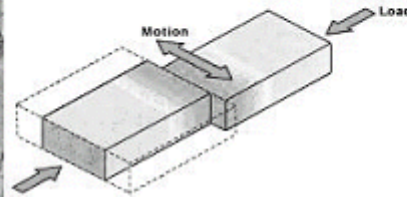
ECM, orta boyutlu, hacimli kanatçıklar (kiriş 70 mm civarında) ve Ti-blisk'lerde daha ekonomik olabilir. Yeniden üretilebilirlik için ECM prosesi çok uygundur. Şekillendirme yapılırken elektrodun aşınması problemi yaşanmaz. Elektrod proses parametreleri dikkatlice kontrol edilmeli, sıcaklık ve iletkenlik parametreleri de titizlikle etüt edilmelidir. Elektrodun şeklinin eniyilenmesi ampiriktir ve pek çok iterasyonu içerir. ECM deneyimli, yetenekli personel gerektirir. ECM prosesi kurulduktan sonra üretkenliği yüksektir. Bitirilmiş kanatçığın hücum ve firar açılarına ait radyuslar, EMC veya su jetinde 5 dk.

içinde verilebilmektedir. Kanatçığın boyutları çok önemli değildir. Verilen elektrik akımı yeterli ise, sadece malzemenin mekanik özellikleri önem arzedecektir. MTU çok yakın bir gelecekte, EJ200 düşük basınç kompresörü blisk'ini ($\varnothing = 650$ mm, 40 kanatçık) 5 eksenli bir frezede, 20000 adet kadar üretecektir (3) .

D)- Doğrusal Sürtünme Kaynağı (LFW) ile

Blisk Üretimi

Linear Friction Welding (LFW) yani doğrusal sürtünme kaynağı, füzyon kaynağı ile tamir edilemeyen, kanatçığın tamiri ile ilk defa gündeme gelmiştir. LFW özellikle büyük ölçekli kanatçıkların üretiminde daha ekonomik olmaktadır. LFW 'nin temel prensibi kısaca, sabit bir parça ile, doğrusal salınım yapan bir başka parçanın baskıyla bir araya getirilmesi ve, karşılaştırılan yüzeylerin beraberce sürtüştürülerek birleşim alanında dövme sıcaklığına erişilmesidir. Kaynak bölgesi çok ince tanecikli mikroyapıda olup çok iyi mukavemet sağlamaktadır. Şekil 3, MTU'da uygulanan Frezeleme zaman zaman nominal profil üzerinde bir kademe izine yol açabilir.



LFW* Tezgahı : Mekanik Tahrikli



LFW* Tezgahı : Mekanik Tahrikli

- Frekans:50 Hz.
- Genlik:3 mm.
- Max. blisk çapı:100mm.

nisan 2000 Hibaril ile 10m testler tamamlanmış ve 400 uçuş saatli başarı ile geçmiştir.

- 100 den fazla LPC/1 (alcak Basınc kompresörlü kanatçığı) yapılmıştır

* Doğrusal Sürtünme Kaynağı(Linear friction welding)



(LFW*) kaynaklıktan sonra frezeleme

Şekil 3. Doğrusal Sürtünme Kaynağı(LFW) ile İmalat ve Kaynaklıktan Sonra Bitirme İşlemleri İçin Frezeleme İşlemi (1)

Büyük kanatçıkların LFW ile imali, katıdan freze boşaltma ile imalinden daha ucuza gelmektedir. Fakat hassas dövme kanatçıklar daha iyi metalürjik ve mekanik özellikler gösterir. MTU firması, EJ200 motorunda, şimdiye kadar 100 adet LFW blisk'i problemsiz olarak üretilmiştir. Blisk'ler kuş çarpma testlerine tabi tutulmuş ve 400 uçuş saatlik testleri başarıyla tamamlamıştır (1) . LFW bir tamir yöntemi olarak, zarar gören kanatçıklara uygulanmaktadır. Her zarar görmüş kanatçığın iki kez değiştirilip tamir

edilebilmesi mümkündür. Tamirden sonra disk işlenerek tamamlanır. İnce duvarlı, burulmaya elverişli bir parça olduğunda, uygun bir fikstürle, parça sabitlenmelidir.

E)- Hassas Deliklerin İşlenmesi

Diskler üzerindeki flanş delikleri, dönen ring'ler ve mil'ler üzerindeki tehlikeli bölgelerdir. Yanlış işleme parametreleri disk üzerinde felakete yol açabilir. Bu nedenle bu gibi delikler çok sıkı spesifikasyonlara göre işlenmelidir. Aşağıdaki veriler sürekli olarak kontrol edilmeli ve izlenmelidir.

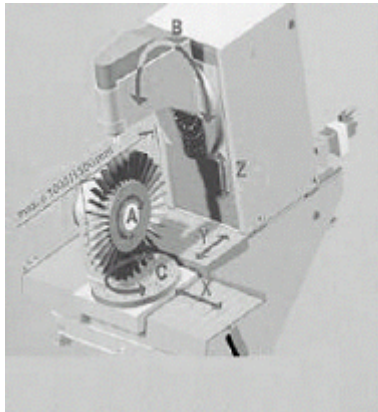
- İş mili elektrik güç tüketimi,
- Kesme kuvvetleri,
- Soğutma sıvısı.

Tezgah, tolerans limitlerine ulaşılmadan, ikaz veren sistemlerle donatılmalıdır. Sonra gözle yapılan kontrollerle (delikte) takımın değiştirilme zamanı belirlenir. Tolerans limitleri aşıldığında (kırmızı ikaz) özel muayene yöntemleri uygulanır. Bu sonuçlara bağlı olarak "rework" gerekli olacağı gibi parça hurdaya da atılabilir. Kritik delik imalatı pahalıdır ancak gereklidir. Operasyon sırasında oluşabilecek sıçramaları önlemek ve parametreleri eniyilemek sureti ile kalite ve prosesin sağlamlığı temin edilebilirse, işleme zamanları azalabilir.

F)- İşleme Merkezi (Mill Turning: Frezeleme ve Tornalamanın Tümüleştirilmesi)

İşleme merkezi, aksenal olarak simetrik olan parçaların işlenmesinde yeni bir yöntemdir. Tezgah, tornaya benzer. Ancak dönen freze çakısı bir torna katernin yerine kullanılmaktadır (Şekil 4). Talaş, tornada sürekli ve uzun olurken burada kısa ve süresizdir. Kesme kenarlarında etkin soğutma vardır. Ti-alaşımlarının işlenmesinde oldukça etkin ve yararlıdır. Yağlama-soğutma (tribolojik soğutma/bor yağı) problemleri nedeni ile, karbür kesici veya CBN kesicilerle Ti alaşımlarını yüksek hızlarda tornalamak güçtür. Bu nedenle titanyum (Ti) alaşımlarını karbür insertlerle tornalarken, kaba tornalamada 50 m/dk'nın üzerine çıkılmaz. Frezelemede ise, freze çakısının kesme kenarı daha etkin soğutulursa, daha yüksek hızlara çıkılabilir.

Bu nedenle, işleme tezgahı kullanarak Ti keserken, kesme hızı normal tornalamaya göre daha hızlı olacak, malzeme kaldırma oranı ise hemen hemen 2 katına çıkacaktır. Buna bağlı olarak, maliyetler ve çevrim süresi azalacaktır. İşleme tezgahları 5 hatta 6 aksenli yapılabilmekte, geniş takım magazini ile pek çok işlemin (setup değiştirmeden delik delme, frezeleme v.b.) bir arada yapabilme imkanı tanınmaktadır.



Eksenel simetrik parçalar için (diskler vb.) yeni bir üretim tekniğidir. Kesici uç ve parça aynı aynı dönebilirler.

5 ve 6 aksenli, takım magazini tezgahlar pek çok , operasyonun tek tezgahta gerçekleştirilmesini sağlar (delik açma, flanş işleme, düzgün geometrili oyuklar (scallop) yapma, vb.) operasyon zamanlarında önemli kazançlar elde edilir, hasasiyette artış kazanılır.

Ti-alaşımlar için özel yararları ise,
- metal kaldırma oran geleneksel tornalmaya göre daha yüksektir.
- İşleme maliyetleri %50 'nin üzerinde azalmıştır.

Şekil 4. İşleme Merkezi (- BütünleşikTorna-Freze Tezgahı Özellikleri(1))

G)- Türbin Hareketli ve Sabit Kanatçıkların İşlenmesi

Yalnızca taşlama yoluyla mekanik işleme, geleneksel atelyelerde tek makinayla veya geniş perti hacmi ölçeklerinde, otomatik taşlama makinalarında, boyutsal kontrolün sağlandığı bütünleşik ölçüm sistemlerini de içeren yöntemlerle yapılır.

Bu taşlama merkezleri oldukça pahalıdır (8,5-10 milyon \$) ve esnek değillerdir. Oysa küçük ve ucuz taşlama makinaları, ölçüm için ekipmanlar ve çapak alma (tesviye) işlemleri, bir üretim hücresinde yapılabilir(2). Bu hücrede 3 yetenekli işçi çalıştırılabilir. Her işlem, kanatçıkların bir mengene ile bağlandığı 2 farklı düşük maliyetli fixture ile gerçekleştirilebilir. Takım değiştirmeden 10 taşlama operasyonu gerçekleştirilebilir. Operasyonlar arasında taşıma, alümina volanlar tarafından döndürülen taşıyıcılarla yapılır. Hücredeki tüm operasyonlar, bilgisayar destekli olup, ölçüm, çapak alma, markalama ve temizlik hücre ekibi tarafından yapılır.

Geleneksel bir atelyeye göre hücredeki çevrimi zamanı 1/10 kadardır. Daha az taşıma hatasından doğan zarar ve çalışanların yüksek motivasyonuna bağlı olarak kalite seviyesi de yükselir. Makina maliyetleri, geleneksel atelyeye göre %50 oranında azalmaktadır. Bu olumlu deneyler, yakın gelecekte taşlama hücrelerinin çoğalacağını göstermektedir.

YÜZEY İŞLEME TEKNOLOJİLERİ

Genel

Modern uçak motorlarının performansları, üst düzey yüzey işleme teknolojilerine doğrudan bağlıdır. Bazı malzemeler, mekanik mukavemet, yüksek çalışma sıcaklık taleplerine göre üretilirler. Bu talepler, bilya püskürtme, kaplama gibi parçanın yüzeyi ile ilgili özel özellikler de olabilir.

Geleneksel malzemeler, verim, performans, dayanıklılık, aerodinamik yüzey, yanma sıcaklığının artışı, yüksek mekanik gerilme kavramlarını karşılamaktan uzaktır. Özellikle kompresör kanatçıklarında istenen hava sızdırmazlığı, dönel parçalarda ısı kalkanlar (thermal barrier coatings) ve aşınmaya dayanıklı kaplamalar, daha iyi bir yüzey kalitesini gündeme getirmektedir.

Mekanik İşlemlerle Yüzey Parlatma

Blisk kanatçıkları gibi pek çok parça, yüksek çevrimli yorulma (HCF, High Cycle Fatigue) özellikleri göstermektedir. Bu nedenle düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmelidir. Pek çok durumda, bilya püskürtme gibi otomatik yüzey işleminin getirdiği takım izleri ve bilya izleri oluşabilir. Bu parçalara elle yapılabilecek bir parlatma işlemi veya pah kırma işlemlerine genellikle izin verilmez. Şekil 5'de geniş blisk'in yüzey bitirme işlemleri aşındırıcı akım makinası (AFM) ile yapılmasını göstermektedir. AFM, akışkanlığı yüksek bir pasta ve içinde çok küçük aşındırıcı parçacıklar taşıyan bir akışkandır. Kanatçık boyunca yüzey pürüzlülüğünün en fazla olan noktalarda etkilidir. Hücum ve firar açılarındaki yuvarlatmaları da yapabilmektedir. İçbükey yüzeylerinden kaldırma oranı farklı olduğundan, AFM ile işlemlenmeden önce resmin istediği ölçülere optimize edilmesi amacıyla 15 dakika süre ile ön işlem uygulanmaktadır. AFM tüm kanatçıklara aynı anda uygulanır. Blisk'ler için diğer yüzey işlemi olarak titreşimli parlatma (vibropolishing) ve bazen de kimyasal yöntemler kullanmak gerekebilir. Genelde bu yöntemler daha uzun zaman alır.



Her blisk kanatçığın frezelemeden sonra düzgünleştirme işlemleri için elektro kimyasal işleme (ECM) veya bilya püskürtme uygulanır. Eğer $Rz=0.5$ mikron ise alçak basınç kompresör kanatçığı $Rz=1.5$ mikron ise yüksek basınç kompresör kanatçığı şeklindedir.

Uygun prosesler;
-Aşındırıcı Akışkanla İşleme (AFM)
-Titreşimle parlatma
Kimyasal esaslı prosesler

En uygun proseslere bağlı olarak:
-kanatçığın boyutu ve geometrik karmaşıklığı
-malzeme
-yüzey kabalığı
-resim istekleri ile değişkenlik gösterecektir.

Şekil 5. Blisk Bitirme İşlemlerinin Yapıldığı Aşındırma Tezgahı(1)

Kaplama

Pek çok kaplama yönteminin pahalı olması ve ayrıca güvenilir olmaması nedeni ile optimum çözüm verememiştir. Örnek olarak düşük basınçlı plazma püskürtme (LPPS, Low Pressure Plasma Spraying) yöntemi, Molibden-krom-alüminyum (MCrALY) kaplama teknikleri, daha düşük maliyetli plazma sprej eşliğinde (APS) gerçekleştirilecektir. Bazı APS (SiC Plazma - Spraying) plazma püskürtme teknikleri, daldırma (slurry) usulü ile elektroliz kaplama teknikleri ile yer değiştirecektir. Bununla beraber eniyileşen bazı işlem teknikleri burada özetlenmiştir: HPT Yüksek basınç türbini (HPT) kanatçıkları genel olarak öncelikle taşlanır ve difüzyonla kaplanır. Kaplamadan önce işlemesi bitirilen yüzeyler maskelenir, bu da maliyeti artırır. Eğer işlemlerin sırası değiştirilerek, önce difüzyonla kaplanıp sonra taşlama işlemi yapılırsa, maskelemeye gerek kalmaz.

Isıl Püskürtme (Thermal Spraying : TS)

Türbinli motorlarda uygulanan ısıl püskürtme kaplaması, hava sızdırmazlık bileziklerini (Air seal), ısıl kalkanları (thermal barrier), paslanma, oksidasyon ve aşınmaya dirençli kaplamaları kapsar. Hiçbir prosesin güvenilirliği bugün tam olarak sağlanmış değildir. Bu nedenle proses güvenilirliği ve kararlılığı, bilimselliği çok karmaşık torch davranışı araştırmaya açık olacak ve gelişmeye ihtiyaç duyacaktır. İlk adımı olarak plazma jetini ve kaplamayı aynı anda izlemek için plazma jet hız ölçümü, metal parçacık sıcaklığının (optik) digital olarak izlenmesine ve ayrıştırılmalı plazmanın ve tozun analizine ihtiyaç duyulmaktadır. Parçanın sıcaklık ve kalınlığı da sürekli ölçüm - kontrol- izleme altında olmalıdır.

- İzleme esnasında bir düzensizlikle karşılaşıldığında gecikmeden parça kontrol edilebilmeli ve problem giderilebilmelidir. Bununla beraber, etken parametrelerin tolerans bandı içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmelidir.

- Kaplama özellikleri ve sonuçlardaki sapmalar, üretim parametrelerindeki sapmalar ile ilişkilendirilmelidir. Ancak bu işlemlerin bitirilmesinden sonra proses stabilitesi ve kaplamanın kalitesi gelişebilir. Test örneklerinin sayısı (sertlik kontrolü, mukavemet, yapışma mukavemeti, v.b.) da tedricen azalabilir.

Şu anda spray kaplamalı parçalar, kaplamadan önce ve sonra testlere tabi tutulmaktadır. Buda maliyete yansımaktadır.

Kanatçık Sert Yüzey Oluşturma (Tip Hardfacing)

Türbin ve kompresörlerin verimleri, hava sızdırmazlıklarının (air seal) kaplama şekli ile yakından ilintilidir. Dönel parçalarda oluşan aşınma ve bu boşluklardan oluşan kayıplar azaltılmalıdır. Pek çok geleneksel motorda türbin kanatçıkları elektrokaplama yöntemi ile aşındırıcı, sert parçacıklar ile korunmaktadır. Kompresör kanatçıklarının kaplaması ise daha yenidir. Kompresörün aşınmazlığı için genellikle ısı püskürtme (termal spraying) kullanılmaktadır. Parçacık erozyonuna karşı dayanımı artırmak için yeni motorlarda yüksek sertlik ve düşük yüzey pürüzlülüğü temin edilmiştir. Kanatçık boşluğunun, sert yüzey temini ile aşınmasının önlenmesi, titanyum alevi - tutuşması ile sağlanmaktadır. Bu nedenle, eğer ovalamayla, yedirme oluşması engellenemiyorsa kanatçık, aşınmaz kaplama yapıldıktan sonra, boşluğun tekrar oluşmaması için kesilmelidir. Bu proses ile CBN (Cubic Boron Nitride) parçacıkları ($\text{Ø} = 100 - 150 \mu\text{m}$), kanatçık boşluğuna (braze) sert lehim ile, sadece birkaç saniyede yapıştırılmaktadır. Parçalar, küçük boyutları nedeni ile, çoğu zaman robotik yardımı ile yerleştirilmektedir. Kontrolü, ısı bir kamera, titanyum-bakır-nikel sert lehim dolgu malzemesinin sıvılaştırma sıcaklığının üstüne çıkıp çıkmadığını kontrol eder. Ayrıca kanatçığın Titanyum alaşımı, geçiş sıcaklığının altında olmalıdır. Gelecekteki çalışmalar, bu prosesin güvenilirliği ve maliyetinin azaltılması yönünde olacaktır. Sert yüzey kaplamalar, sert lehim dolgu malzemesi ve aşındırıcı parçacıklar içermektedir. Bu yeni tip sert lehim (brazing filler mat'l) dolgu maddesinin eldesi kolaydır ve parçacıkları, kanatçık boşluğundan ayırmaya gerek göstermemektedir. Viskozitesi yüksek, sıvılaştırılmış metal reçine (Slurry), aşınmaya dayanımlı tanecikler içermektedir. Daldırma usulü ile kaplama yapma tekniği ise araştırmaya değerdir (3).

Isıl Engelli Kaplama (Thermal Barrier Coatings (TBC) :

20 yıldan bu yana plazma püskürtme (TBC) yöntemi, motorların stator parçalarında güvenle kullanılmaktadır. Ayrıca, yanma odasında, yüksek basınç türbini sabit kanatçıklarında da kullanılmaktadır. Havalı plazma püskürtme, (APS, Air Plasma Sprayed) ısı engelli kaplamalar (TBC) zirkonyumla kararlı hale getirilmiştir

Yapıştırma kaplaması olarak (LPPS : Low Pressure Plasma Sprayed) MCrAlY kullanılmıştır. Isıl kalkan kaplamanın yapısı homogendir. Isıl kalkan kaplamalarda (TBC), mikro çatlakların oluşumu, ısı yorulmalarına ve içlerindeki zirkonyuma bağlıdır. Bu gibi kaplamalar dönel kanatçıkları ve sabit kanatçıkları kaplamasında gösterdikleri iyi ısı yorulma özellikleri nedeni ile birkaç yıldan bu yana kullanılmaktadırlar. Artan yanma odası sıcaklığı karşısında, bu çeşit TBC kaplamalar, yüksek basınç türbini kanatçıklarında ve hatta alçak basınç türbininin ilk kademe kanatçıklarında (1) kullanılmaktadır.

SNECMA ve MTU firmaları, birlikte kurdukları bir EB - PVD TBC tesisinde, yüksek basınç türbininin sabit ve hareketli kanatçıkları kaplamakta ve kendi ürettikleri motorlarda kullanarak dünya pazarlarına sunmaktadırlar (1).

SONUÇ

Önümüzdeki yıllarda Gaz Türbinlerinde önemli temel değişiklik beklenmemesine rağmen, performanslar , daha iyi tasarımlarla artırılabilecektir. Bu da malzeme, imalat ve kaplama teknolojilerindeki ilerleme ile sağlanabilir.

Motor üreticileri arasındaki ana rekabet unsurları, maliyetleri ve çevrim zamanını düşürmek, buna paralel olarak, performans, verim ve kalite unsurunu ön plana çıkarmaktır. Bu, üretim teknolojisinde büyük hamleler gerektirmektedir. Geleneksel monolitik Ti ve Nikel alaşımlardaki gelişmeler oldukça kısıtlı kalmıştır.

Malzemenin gelişimi, mukavemet/ağırlık oranının eniyileşmesi ile, metallerarası bileşik ve fiber matrisli polimerler, metal veya seramik matrisli kompozitleri gündeme getirmiştir. Bunlar arasında yalnızca polimer matrisli kompozitler kullanıma geçmiş olmasına rağmen, diğerlerinin başarılı motor test sonuçları, aday malzemelerin hala geliştirilmeleri

gerekliliğini gündemde tutmaktadır.. Stabiliteleri hala tartışılır durumda olup fiyatları rekabet edebilir düzeyde değildir. Maliyet nedenleri ile Ti-MMC gibi malzemelerin herhangi bir tahribatlı muayene tekniğinden geçirmek hayli zordur.

Proses güvenilirliği ve kararlılığı, ilgili tüm parametrelerin sürekli izlenmesi ile geliştirilecektir.

Atelyedeki yeni üretim hücreleri, etkin takım çalışması ile, parça akışını arttıracaktır. Bu, var olan maliyet ve çevrim zamanını düşürmeyi başarmak demektir.

"Blisk" üretimi yüksek hızlı frezeleme ile, iyi ve sağlam bir teknolojidir. ECM (elektro kimyasal işleme) ve LFW (doğrusal sürtünme kaynağı) aynı şekildedir. İmalat proseslerinin verimi ise, daha iyi kesici takım (insert) malzemesi geliştirilerek, ayrıca yeni makina tasarımları olanaklı hale getirilerek artırılabilir. Fabrikasyon parçaların seri üretiminde henüz yenilikler yoktur. Emek yoğun işlemler olmaları makinalaşmayı güçleştirmektedir. Lazer destekli ve soğutma sıvısı kullanmadan işleme, şu an için motor parçaları için uygun değildir. Isıl püskürtme (thermal spraying) kaplama, pek çok motor parçasında kullanılmaktadır. Isıl püskürtme prosesinin kararlılığı, güvenilirliği, artık oturmalıdır. Bu hedefi gerçekleştirmek için proses izleme, vektörel teşhis ve ısıl değişimi izleme gelişmektedir. Isıl engel kaplaması (thermal barrier coatings) dönel kanatçıklarda ki gelişmesi ilgi ile izlenmektedir.

Yeni motorlar, daha iyi sızdırmazlık elemanı ve sert yüzeyli kanatçık boşluğu elemanlarına sahip olacaklardır.

NOT : Dergimizin 528. sayısında yer alan makalenin 1. Bölümünde yarı mamul veya ham malzemelerin ve/veya mamul ürünlerin üretim yöntemleri ayrıca malzeme teknolojileri üzerinde durulmuştur. Makalenin bu bölümü ise I. Bölümde açıklanan yöntemler ve malzeme teknolojileri ışığında Gaz Türbinlerinde yeni ve bazı geliştirilmiş geleneksel üretim teknolojileri ele alınmaktadır.

KAYNAKÇA

- 1. Dr. Klaus Steffens/Dr.Hans Wilhelm from MTU Aero Engines, Next Engine Generations Materials Surface Technology, Manufacturing Technology,,What Comes After 2000? Bildiri ICAS 2001*
- 2. Pat I.Mangonon, Materials Selection Engineering Design, Florida Instute of Tehnology 1999*
- 3. Paul Degormo J.T. Black Ronald Kolster, Materials and Processes in Manufacturing, Prentice Hall*
- 4. Jack Kernebrock, Aircraft Engines and Gas Turbines, MIT Press Cambridge*
- 5. Jack D. Mattingly, Elements of Gas Turbine Propulsion, Mcgrawhill Co 1996 Pg. 34*
- 6. www.nasa.gov*
- 7. www.EJ200.com*
- 8. R. Dunker European Commission Aeronautics Research Series, 1993, John Wiley & Sons USA Pg.41*
- 9. Jack Mattingly, William Heise, David Pratt.AIAA Education Series USA ,2002 Pg.98*