Gaz Türbinlerinin Bakımında Sıcak Kısım Parçalarına Uygulanan Sıcak Lehimleme (Brazing) Tamir İşlemi ve Proses Etkinliğinin Değerlendirilmesi

S. Fehmi Diltemiz[1], Melih Cemal Kuşhan[2], Sinem Üzgür[3], Yağız Uzunonat[4]

ÖZET

Gaz türbin sıcak kısım parçaları zorlu çalışma koşulları altında zamana bağlı olarak çeşitli hasarlara maruz kalmaktadır. Bu hasar türlerinden birisi olan çatlaklara türbin sabit kanatçıkları gibi parçalarda sık rastlanmaktadır. Yüksek miktarda alaşım elementleri içeren bu parçaların tamir işleminde kaynak vb. konvansiyonel proseslerin uygulanması çeşitli nedenlerle her zaman mümkün olmamaktadır. Bunun yerine kapiler etkiden yararlanılarak, sıcak lehimleme (brazing) gibi daha sofistike metotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada; uygulama pratiğinin yanı sıra sıcak lehimleme işleminin temelleri, sıcak lehimleme öncesi ön işlemler ve son olarak proses etkinliğinin değerlendirilmesi için uygulanan metalografik kontrol tekniği anlatılmıştır.

1. GİRİŞ

Sıcak lehimleme uygulamaları pek çok endüstri alanının yanı sıra, gaz türbinlerinde hem imalat hem de bakım aşamasında uzun yıllardır yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde ağırlık daima sınırlayıcı bir nitelik olduğundan, yüksek güvenilirlik ihtiyacının karşılanması için, diğer bazı sektörlerde olduğu gibi basitçe emniyet katsayılarının arttırılması mümkün olmamaktadır. Bunun yerine; kullanılan komponentlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin tam ve dar bir saha içerisinde karakterize edilmesi, kullanım koşullarının gerçeğe olabildiğince yakın tanımlanmasıyla ihtiyaç duyulan güvenlik seviyesine çıkılabilmektedir.

Uçak üzerinde kullanılan komponentlerin özelliklerinin tam karakterizasyonu, bu komponentlerin bünyesinde bulunan kaynak, lehim gibi her türlü bağlantı elemanlarını da kapsar. Uçaklarda en ağır çalışma koşullarına gaz türbinleri maruz kalır ve gaz türbinlerinin de en çok zorlanan komponentleri sıcak kısımlarda çalışanlarıdır. Gaz türbin sıcak kısmını; yanma odaları, diskler, nozullar, paleler ve sabit kanatçıklar gibi parçalar meydana getirir. Metal yüzey sıcaklığının 1000 °C'ye kadar çıkabildiği bu sahada yüksek sıcaklıklarda kimyasal ve mekanik kararlılığını büyük oranda koruyabilen süperalaşımlardan yararlanılmaktadır [1].

Özellikle yüksek sıcaklıklarda, büyük mekanik gerilmeler altında çalışan türbin sabit kanatçıkları ve paleleri gibi sıcak kısım parçalarının, yüksek seviyede alaşım elemanları içerikleri nedeniyle kaynak yapılabilirliği oldukça düşüktür. Ayrıca bu alaşımların üretilmeleri sırasında hassas bir şekilde ayarlanan mikroyapılarının kaynak sonrası yeniden düzenlenmesi bazen mümkün olmamaktadır. Özellikle iki farklı alaşımın bir araya getirilerek bağlanmasında sıcak lehimleme kaynağa göre avantajlı hâle gelmektedir.

Bu nedenle perçin, cıvata gibi mekanik bağlantı türlerinin konstrüktif açıdan

Şekil 1. Sıcak Lehimleme Tekniği ile İmal Edilmiş Sabit Türbin Kanatçık Segmenti

[1] Hava İkmal Bakım Komutanlığı, Eskişehir - *fditemiz@yahoo.com*

[2] Yrd. Doç Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, Eskişehir - *mkushan@ogu.edu.tr*

[3] Arş. Gör., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Samsun - *sinemu@omu.edu.tr*

[4] Arş. Gör., Anadolu Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksek Okulu, Eskişehir - *yuzunonat@anadolu.edu.tr*

* Bu yazı, 14-16 Ekim 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Kocaeli'nde düzenlenen V. Bakım Teknolojileri Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

mümkün olmadığı, epoksi vb. yapıştırıcıların uygulamasının çalışma sıcaklığı nedeniyle uygun olmadığı durumlarda sıcak lehimleme (brazing) en uygun birleştirme metodu olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1'de, sabit türbin kanatçıklarının iç ve dış bantlarına sıcak lehimleme tekniği uygulamasıyla birleştirilerek imal edilmiş sabit kanatçık segmenti görülmektedir.

2. SICAK LEHİMLEME TEKNİĞİNİN TEMELLERİ

Genel olarak lehimleme tekniğinin sıcak ya da soğuk olarak adlandırılması, dolgu lehim metalinin ergime sıcaklığının 450 °C'den büyük ya da küçük olması göz önüne alınarak yapılmaktadır [2]. Her iki durumda da işlem sıcaklığı ana metalin ergime noktasının altındadır. Sıcak lehimleme işlemi, birleştirilen ana malzemelerin ergime sıcaklığından düşük sıcaklıklarda lehim malzemesinin ergimesi ve bağlantı bölgesini doldurmasıyla gerçekleştirilir. Bağlantı bölgesinde kasıtlı olarak bırakılan sınırlı boşluğa lehim malzemesinin kapiler etkiyle boşluksuz tam olarak dolması ve katılaşması arzu edilir. Bazı uygulamalarda boşluk yerine, birleştirilecek malzemelerin üzerini lehim malzemesinin basitçe üzerini örterek katılaşması hedeflenir [3]. Türbin sıcak kısım parçalarında braze tamir işlemi en yaygın olarak uçuş koşullarında meydana gelen çatlakların giderilmesinde kullanılır. Dolayısıyla genellikle kapiler etkiyle çatlak boşluğunun doldurulması prensibiyle tamir işlemleri uygulanmaktadır. Türbin parçalarına uygulanan sıcak lehimleme işlemiyle genellikle ana malzemeye yakın değerlerde mukavemet elde edilebilir. Bununla birlikte, süneklik ana malzemeye göre oldukça düşüktür [4]. Gaz türbinlerini de kapsayan çoğu uygulamada dolgu malzemesi metaldir ancak bazı özel uygulamalarda dolgu malzemesi cam olabilmektedir. Tablo 1'de türbin sıcak kısım parçalarının imal / tamir işlemlerinde kullanılan bazı braze malzemelerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

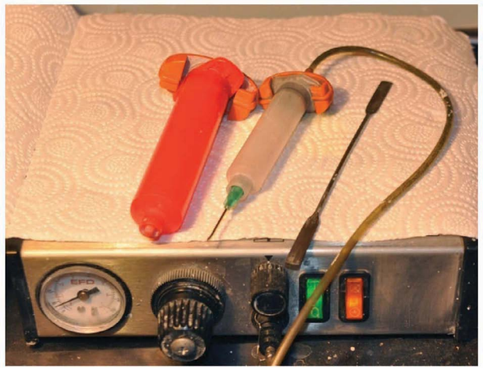
3. GAZ TÜRBİN SICAK KISIM PARÇALARINA SICAK LEHİM TEKNİĞİYLE TAMİR UYGULAMASI

Çoğu diğer birleştirme tekniğinde olduğu gibi sıcak lehimlemede bağlantı bölgesinin temizliği çok önemlidir ve direkt olarak bağlantı mukavemetini ve kalitesini belirleyici rol oynar. İmalat aşamasından farklı olarak tamir işleminde sıcak kısım parçaları üzerinde oluşan çatlaklar, ulaşılması zor, içleri uçuş koşullarından kaynaklanan oksidasyon, korozyon ürünleri içeren sahalardır. Etkin bir temizlik işlemi için kimyasal çözeltiler, kumlama gibi kimyasal ve mekanik temizleme işlemlerinin yanı sıra genellikle vakum atmosferinde yüksek sıcaklıklarda fırınlama işlemi uygulanır. Temizlenen parçalar, tekrar kirlenmemeleri için fazla bekletilmeden lehimleme işlemine alınmalıdır.

Lehim malzemesi bant, tel veya toz formunda olabilmektedir ancak sıcak kısım parçalarının tamirinde genellikle toz malzeme kullanılır. Sıcak lehim tozu macun formunu alabilmesi için uçucu bir sıvı bağlayıcıyla karıştırılır. Bağlayıcı oranı genellikle %10 civarındadır. Elde edilen macun formundaki viskoz karışım, basınçlı hava yardımıyla tamir işlemi uygulanacak çatlakların üzerine enjekte edilir. Şekil 2'de enjeksiyon düzeneği görülmektedir.

Birkaç saatlik kuruma işleminin ardından sertleşen braze genellikle 24 saat içerisinde fırınlama işlemine tabi tutulur. Fırınlama 1000°C civarında ve bazı alaşımlar için vakum altında gerçekleştirilir. Sıcak lehimlemeyle dolgu metali ile ana malzeme arasında hem metalik bağ kurulur, hem de çatlak içi yüzey pürüzlülüğü dolayısıyla mekanik bağlanma elde edilir. Ayrıca işlem sıcaklığının da etkisiyle meydana gelen difüzyonla bağlanma kuvveti daha da artar.

Fırınlama işlemi sonrası tam sertliğini ve mukavemetini kazanan sıcak lehim malzemesi taşlanarak işlem sonrası kalan fazlalıkları giderilir. Taşlama operasyonunun, malzemenin orijinal konturlarına olabildiğince yakın hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi, özellikle



Şekil 2. Sıcak Lehim Enjeksiyon Düzeneği

Tablo 1. Gaz Türbin Sıcak Kısım Parçalarının Tamirinde Kullanılan Örnek Sıcak Lehim Dolgu Tozlarının Kimyasal Bileşimi

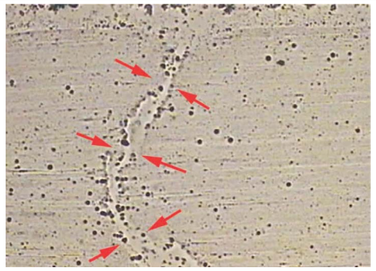
Ürün kodu / Kimyasal bileşimi (% ağırlık)	Ni	Cr	Co	Al	Ti	Mo	Nb	Fe	Si	Ta	B
NI-203	Kalan	19		0,5	1	3	5	18			2
PWA 996	Kalan	14						3	3		3
CD1117	Kalan	15	10							3	2

sıcak kısımda gaz akışına maruz kalan yüzeylerde aerodinamik performansın olumsuz etkilenmemesi açısından önemlidir. Sıcak gaz akışında kesintiye neden olabilecek durgun noktaların (stagnant points) oluşması, bu bölgelerde sıcak noktalar (hot spots) oluşmasına ve komponent bütünlüğünün tehlikeye girmesine yol açabileceğinden kritik önem taşır. Ayrıca taşlama işlemi sırasında malzeme yüzeyinin bölgesel olarak aşırı ısınmamasına özen gösterilmelidir.

4. SICAK LEHİM ETKİNLİĞİNİN METALOGRAFİK TEKNİKLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sıcak lehim işleminin doğru bir şekilde gerçekleştirildiğinden emin olmak, bağlantı güvenilirliliği açısından son derece önemlidir. Bu amaçla yaygın olarak gözle ve radyografi tekniğiyle kontrol ve metalografik değerlendirmelerden yararlanılır.

Gözle kontrol ile dolgu metalinin bağlanacak malzemelerle tam temas halinde olup olmadığı (ıslatma), sıcak lehim malzemesinin dış yüzeylerinin ve taşlama sonrası oluşan kesit yüzeylerinin çatlak, boşluk, kirlilik vb. kusurları içerip içermediği kontrol edilir. Bağlantı bölgesinin konumundan dolayı bazı durumlarda fırına yerleşim, yere paralel olamaz ve bu durumda dolgu metalinin kapiler kuvvetlerle çatlak içerisine girmek yerine yerçekimi etkisiyle akması mümkündür. Bu durum da gözle yapılan ilk değerlendirmede kolaylıkla belirlenebilmektedir. Şekil 3'te sıcak lehim işlemi uygulanmış gaz türbin sıcak kısım türbin sabit kanatçık segmenti görülmektedir.



Şekil 4. Sıcak Lehim Mikroyapısı_50x

Bağlantı bölgesinin tüm hacminin kontrol edildiği tek teknik olan radyografik kontrolle bağlantı bölgesi içerisinde ve bağlantı / ana metal ara yüzeyinde oluşabilecek çatlak, boşluk inklüzyon gibi kusurlar tahribatsız olarak kontrol edilebilir.

Metalografik değerlendirme tekniği diğer iki kontrol tekniğinden tahribatlı bir metot olmasıyla ayrılır. Metodun üstünlüğü, diğer tekniklere göre küçük süreksizliklerin daha hassas olarak belirlenebilmesine olanak vermesidir. Tahribatlı bir kontrol tekniği olduğundan, tamir işlemi gören parçayla beraber aynı sürece maruz kalan test numunelerinin uygulama sonunda değerlendirilmesiyle gerçekleştirilir. Aynı işlemlerden geçerek değerlendirmeye gelen test numunesi kesme, kalıplama, zımparalama, parlatma işlemlerinden geçirilerek optik mikroskop altında mikroyapı incelemesine tabi tutulur. Metot, diğer kontrollerde de görülebilen çatlak, boşluk kusurlarının daha küçük boyutlularını görebilmenin yanı sıra difüzyon katmanının, içyapı içerisindeki karbür vb. mikroyapı bileşenlerinin dağılımının da belirlenebilmesine olanak tanır. Kesit üzerinden yapılan bir kontrol tekniği olduğundan, radyografinin aksine üç boyutlu tüm bağlantı hacmi yerine iki boyutlu yüzey değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için bağlantı uzunluğuna göre birden fazla test numunesi ve/veya yüzey hazırlanması ve zaman zaman istatiksel metotlardan yararlanılması yoluna gidilmektedir. Şekil 4'te metalografik olarak hazırlanmış, optik mikroskopla görüntülenmiş sıcak lehim mikroyapısı görülmektedir.

Şekil 3. Sıcak Lehim İşlemi Uygulanmış Gaz Türbin Sabit Kanatçık Segmenti

5. SONUÇ

Sıcak lehimleme tekniği, uzun yıllardır gaz türbin sıcak kısım parçalarının bakımında kullanılmaktadır. Bu metot yardımıyla gaz türbinlerine uygulanan bakımlarda türbin sabit kanatçıklarının değişimi, çeşitli diğer sıcak kısım parçalarının üzerlerinde bulunan çatlakların tamiri mümkün olmaktadır. Uygulama pratiğinin düzenli aralıklarla kontrol edilmesi, işlem güvenilirliğini büyük ölçüde arttırmaktadır. Sıcak lehimleme işlemi; gaz türbin sıcak kısım parçalarının bakımı sırasında başka metotlarla tamir edilemeyecek kusurlarının başarılı bir şekilde giderilmesini, son derece pahalı olan bu komponentlerin ömürlerinin uzatılmasını ve güvenli bir şekilde uçuş koşullarını yerine getirmelerini sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

1. **Diltemiz, S. F.** 2010. Plazma Sprey Termal Bariyer Kaplamaların Isıl ve Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu, Osmangazi Üniversitesi, Doktora Tezi.
2. **Schwartz, M. M.** 1993. Metal Handbook Vol 6, Introduction to Brazing and Soldering, ASM International.
3. **Messler, J.** 2004. Joining of Materials and Structures, Elsevier
4. **Campbell, F. C.** 2006. Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials, Elsevier