

Model Bir Jet Motorunun Yapımı ve Test Edilmesi

Ramazan GÜZELGÖK, Selim ÇETİNKAYA

ÖZET

Küçük bir jet motorunun tasarım ve imalatının amaçlandığı bu çalışmada, teoride havacılık türbojet motorları referans alınmıştır. Türbojet motorundaki kompresör-türbin bölümüne karşılık olarak, bir dizel motorunun turboşarjörü kullanılmış, geliştirilen bir yanma odası kompresör ile türbin arasına yerleştirilerek sistem tamamlanmıştır. Yapılan denemelerde sıcaklıklar türbin girişinde 630°C – 890°C, egzoz nozulu çıkışında ise 612°C – 850°C arasında ölçülmüştür. LPG tüpü basıncı 2 bar civarında iken 17600 1/min'lik bir devirde yapılan denemelerde, türbin giriş sıcaklığı 870°C, yanma odasına giren havanın sıcaklığı 68°C, manometrik basıncı 0,39 bar ve egzoz nozulundaki sıcaklık ise 860°C olarak ölçülmüştür. Bu çalışma sırasındaki yağ basıncı 3,45 bar ve yağ sıcaklığı 65°C' dir. Yakıt basıncı yaklaşık 4 bar iken ulaşılan en yüksek devir 48660 1/min olmuştur. Bu devirde türbin giriş sıcaklığı 636°C, egzoz nozulundaki sıcaklık 612°C, sisteme giren havanın sıcaklığı 65°C ve manometrik basıncı ise 0,47 bar'dır. Jet motoru çalışır konumda iken dinamometre ile yapılan ölçümlerde 14-20 N arasında değişen itme kuvveti değerleri ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Turboşarjör, Model jet, Türbojet

Prototyping and Testing of a Model Jet Engine

ABSTRACT

The aim of this study was to design and manufacture a small size model jet engine. To build the engine, aircraft turbojet engines in theory were referred. As the compressor-turbine section of the model, a diesel engine turbocharger was selected and coupled with a developed combustion chamber. During the experiments, turbine inlet temperature was between 630°C and 890°C. However, temperature of the turbine outlet and exhaust nozzle temperatures were between 612 and 850°C. At low fuel pressures and at 17600 1/min, turbine inlet temperature was 870°C, combustion chamber inlet temperature was 68°C, manometric pressure was 0,39 bar and the exhaust nozzle temperature was 860°C. The oil pressure was 3,45 bar and the oil temperature was 65°C. When the fuel pressure was around 4 bar, the highest engine speed measured was 48660 1/min. At this speed, the turbine inlet temperature was 636°C, exhaust nozzle temperature was 612°C, compressor outlet temperature and pressure were 65°C and 0,47 bar respectively. Measured thrust values of the model jet engine were between 14 and 20 N.

Key Words: Turbocharger, Model jet, Turbojet

1. GİRİŞ

Küçük bir jet motorunun tasarım ve imalatının amaçlandığı bu çalışmada havacılık türbojet motorları referans alınmıştır. Jet motorları temelde Brayton çevrimine göre çalışmaktadır (1). Motordaki kompresör ve türbinin yerine bir dizel motorunun turboşarjörü kullanılmış, geliştirilen bir yanma odası kompresör ile türbinin arasına yerleştirilerek sistem tamamlanmıştır. Uçaklarda kullanılan tepkili motorlar, jet yakıtı adı verilen ve gazyağı benzeri bir yakıtı kullanırken, karışım hazırlama sorunlarını en aza indirmek amacıyla modelde LPG tercih edilmiştir.

2. TEORİK HESAPLAMALAR

Model jet motorunun özgül itme kuvveti ve özgül yakıt tüketimi hesapları için gerçek türbo jet çevrimi baz alınmış (Şekil 1) ve hesaplamalarda aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır (1).

Motorun girişten sonraki durgunluk basınç ve sıcaklığı;

Makale 21.07.2008 tarihinde gelmiş 06.01.2009 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

R. GÜZELGÖK, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

e-posta : ramazangg@gmail.com

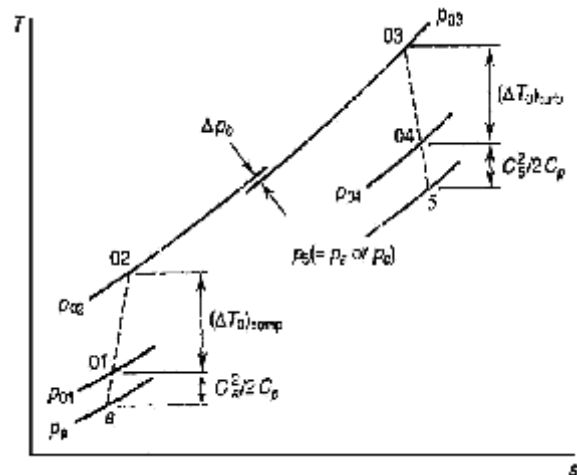
S. ÇETİNKAYA, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü 06500 Teknikokullar / ANKARA

e-posta : selimc@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.1. 29-33

$$P_{01} = P_a \left(1 + \eta_c \frac{C_a^2}{2C_p T_a} \right)^{k/(k-1)} \quad (2.1)$$

$$P_{02} = P_{01} \beta_c \quad (2.2)$$



Şekil 1. Gerçek türbo jet çevriminin T-s diyagramı [7]

Kompresör çıkışındaki basınç ve sıcaklık değerleri:

$$T_{02} = T_{01} + \frac{T_{01}}{\eta_c} [\beta_c^{(k-1)/k} - 1] \quad (2.3)$$

3. MODEL JET MOTORU

3.1. Türboşarjör Seçimi

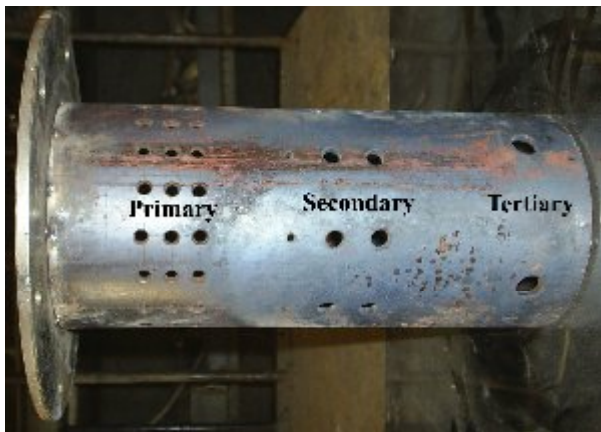
Türboşarjör kullanarak model jet motoru yapımı, son zamanlarda dünya genelinde oldukça ilgi çeken bir uygulamadır (8-14). Model motorun parça bazında küçük olması, otomotiv alanında kullanılan türboşarjörlerin kullanılmasını mümkün kılmakta ve seçilen türboşarjöre uygun bir yanma odasının tasarlanmasıyla yapım gerçekleştirilmektedir.

Bu model jet motoru çalışmasında da ana parça olarak 6 silindri ve 7146 cm³ motor hacimli bir kamyon motoruna ait türboşarjör kullanılmıştır. Türboşarjörün kompresör A/R (alan/yarıçap) oranı 0,5, türbin A/R oranı 1 dir ve model jet motorunun yanma odası, kompresör kanatçık iç çapı referans alınarak tasarlanmıştır.

3.2. Yanma Odası

Yanma odasının alev tüpü, model jet motorunda yanmanın oluştuğu bölümdür. Hava ile yakıt bu bölüm içerisinde karıştırılır ve ateşlenir. Alev tüpü üzerinde belli çap ve sayıda delik grupları bulunmaktadır. Bu deliklerden ilk gruba birinci (primary), ikinci gruba ikinci (secondary) ve üçüncü gruba da üçüncü (tertiary) adı verilir. Birinci bölgenin fonksiyonu, alevi düzenlemek ve yakıtın tamamen yanmasını sağlamak için gerekli türbülans, sıcaklık ve zamanı temin etmektir (3). Yakıt-hava karışımı burada ateşlenir. Bu kısımdaki deliklerin toplam alanı, kompresör giriş (inducer) iç dairesel kesit alanına göre yapılan hesap sonucu elde edilen değerin yaklaşık % 20'sine karşılık gelmektedir. İkinci kısım, ateşleme sonrası hava-yakıt karışımının esas olarak yandığı yerdir. Yanmaya bağlı olarak genişleyen gazlar türbin girişine doğru ilerler. İkinci kısım, kompresör giriş kesit alanının % 30'u kadardır. Üçüncü kısım ise yanma sonu ve iş başlangıcının olduğu yerdir. Gazlar bu kısımda genişleyerek türbin salyangozuna giriş yapar ve türbinin döndürülmesi ile iş elde edilir. Bu kısımdaki deliklerin toplam alanı, kesit alanının % 50'sine denk gelmektedir.

Model jet motorunda kullanılan alev tüpü, 140 mm çapında, 300 mm boyunda ve 5 mm et kalınlığında çelik bir borudan yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Alev tüpü ve kısımları

Yanma odası, model jet motorunda alev tüpünün, ateşleme ve enjektör sistemlerinin bağlandığı, alev tüpünü çevreleyen ve yanma işleminin gerçekleştiği bölümü tamamen kapatarak yanma işleminin kapalı bir odada gerçekleşmesini sağlayan parçadır. Yanma odasının ölçüleri alev tüpü ölçülerine göre değişebilir. Alev tüpü ile yanma odası arasında bir boşluk bulunmaktadır. Giriş kısmından alınmayan ve yanma için kullanılmayan % 60'lık hava, yanma odası ile alev tüpü arasındaki çevresel aralıktan akar ve kademe kademe alev tüpüne alınır. Bunun da 1/3'ü gaz sıcaklığını düşürmek, geri kalanı alev tüpü yüzeylerini soğutmak için kullanılmaktadır. Soğutucu hava filmi, alev tüpünün iç yüzeyi boyunca akarak, tüpü sıcak gazlardan yalıtılmaktadır (1). Bu çevresel aralık, model jet motorlarında 1,2-2 cm arasındaki değerlerde değişiklik göstermektedir. Bu değerler, mümkün olan en uygun ölçü olduğu için bunun dışındaki bir çevresel aralıkta yanma işleminde sorunlar meydana gelebilmektedir.

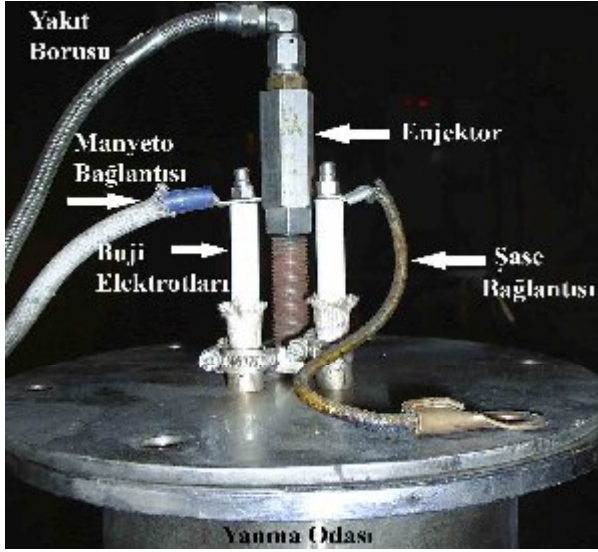
Alev tüpü dış çapı referans alınarak yapılan yanma odası; çapı 168 mm, alev tüpünü tamamen kapatacak şekilde 300 mm boyunda ve 2 mm et kalınlığı olan T304 kalite paslanmaz çelik bir borudur (Şekil 4).



Şekil 4. Yanma odası

3.3. Ateşleme ve Yakıt Sistemi

Ateşleme sistemi, alev tüpü içindeki hava-yakıt karışımını tutuşturmak üzere kullanılmaktadır. Model jet motorunda kıvılcım oluşturmak için, eski model tank motorlarında kullanılan bir manyeto kullanılmış, manyetodan alınan akım, alev tüpü içine yerleştirilen ve brülörlerde kullanılan buji elektrotlarına iletilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Buji elektrotları ve enjektör

Model jet motorunda kullanımı en kolay olan yakıt türü gaz yakıtlardır. Kolay bulunabilmesi, istenilen basınç ve miktarda rahatlıkla püskürtülebilmesi gibi avantajları sebebi ile sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada LPG kullanılmış ve bu sayede ek bir depolamaya veya püskürtmek için bir pompa düzeneğine ihtiyaç duyulmamıştır. LPG'yi yanma odası içine püskürtmek için yaklaşık 3 mm delik çapı olan ve brülörlerde kullanılan bir enjektör tercih edilmiştir (Şekil 5). Yakıtın LPG tankından enjektöre iletiminde uçak motorlarında kullanılan paslanmaz çelik yakıt boruları kullanılmıştır.

3.4. Yağlama Sistemi

Model jet motorunda kullanılan türboşarjörün yataklarındaki ısınma, aşınma ve yatak sarması gibi durumları engellemek veya asgari seviyeye indirmek için yağlama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yağ pompası, 27 volt altında 8800 1/min devir yapabilen ve üzerinde yağı soğutmak için bir fan bulunan, 1/12 HP gücünde, uçak motorlarında kullanılan tipte bir pompadır. İlk denemelerde SAE 5W-10 numara yağ kullanılmış, ancak istenilen soğutma işlemi yerine getirememiştir. Sonraki denemelerde, SAE 20W-50 numara yağ kullanılmış ve yataklardaki soğutma işlemi arzu edilen şekilde gerçekleştirilmiştir. SAE 5W-10 numara yağ kullanıldığı zaman, yağ sıcaklığı 110-115°C gibi yüksek değerlere ulaşırken, SAE 20W-50 numara yağ kullanıldığında sıcaklığının en fazla 68°C dereceye ulaştığı gözlenmiştir.

3.5. Egzoz Nozulu

Egzoz nozulunun amacı, çıkıştan önce egzoz gazının hızını artırmaktır (4). Motorun itme gücünün artırılmasındaki en büyük etken, yanma sonucunda oluşan gazın nozul içerisindeki hareketidir. Egzoz nozulları tasarlanırken motor hızı çok önemlidir. Günümüz hava taşıtlarında hız tanımı ses altı (subsonic) ve ses üstü (supersonic) olarak tanımlandığı için yapılacak egzoz nozulu da buna göre tasarlanmaktadır. Jet motorlarında bu tanımlama dahilinde yakınsak (convergent) ve ya-

kınsak-ıraksak (convergent/divergent) kesitli olmak üzere iki tip nozul kullanılmaktadır (5).

Nozul basıncı/çevre basıncı oranı $P^*/P_o < 4$ için yakınsak kesitli nozul-lüle kullanılır. Bu nozullar daha çok ses altı hızda çalışan uçaklarda kullanılır. Nozul basınç oranı $P^*/P_o > 6$ olan ses üstü uçaklarda yakınsak-ıraksak nozullar kullanılır. Buradan yakınsak bir kanalı ıraksak kesitli kanal izler. En küçük kesit alanının bulunduğu kısma boğaz denir (6).

Benzer model jet motorlarına dair araştırmalarda, kullanılan egzoz tipleri şekil ve ölçü olarak değişiklik gösterse de hepsi yakınsak nozul sınıfına girmektedir (Şekil 6). Bu çalışmada ses üstü hızlar düşünülmediğinden ses altı hızlarda kullanılan yakınsak nozul tercih edilmiştir. Yakınsak-ıraksak nozulların ses üstü hızlarda uçan taşıtlarda kullanılması ve teknik detay bakımından (değişken geometri, aerodinamik özellikler ve tasarım gibi) yakınsak nozullara göre daha karışık olması, model jet motorlarında kullanımını zorlaştırmaktadır.



Şekil 6. Model jet motorunun yakınsak egzoz nozulu

3.6. Ölçme Sistemi

Ölçme sistemi, model jet motorunun egzoz gazlarından elde edilen itme kuvvetini ölçmek için kullanılmıştır. Sistemin serbest hareketi, iç içe geçmiş 3 adet teleskopik kızakla sağlanmış, model jet motoru bu teleskopik kızaklar üzerine monte edilmiştir (Şekil 7). Motorun çalışması esnasında egzoz gazının oluşturduğu itme kuvveti ile model jet motoru kızaklar üzerinde hareket etmektedir. Kızaklara bağlı olan ve her biri 12 N ölçebilen iki adet dinamometre ile itme gücünün değeri ölçülebilmektedir.



Şekil 7. Kızaklar ve üzerine monte edilmiş model jet motoru

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada model bir jet motoru yapılmış ve yapımda bir dizel motoru türboşarjöründen yararlanılmıştır. Türboşarjöre uygun bir yanma odası geliştirilmiş, LPG yakıt kullanılarak motor başarıyla çalıştırılmıştır. Motorla yapılan denemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yanmayı daha kaliteli hale getirmek için yanma odası içine az miktarlarda saf oksijen verilerek yapılan ilk denemelerde hem türboşarjörün türbin kanatçıkları hem de türbin tarafı salyangozunun iç kısımları erimmiştir. Pik döküm olan türbin salyangozu ve krom-nikel alaşım olan türbin kanatçıklarının eriyerek egzoz nozulundan dışarı püskürmesi göz önünde bulundurulacak olursa, sıcaklığın bu iki metalin erime sıcaklığı olan 1223-1785°C derece arasında bir değerde olduğu tahmin edilmektedir.
- Denemelerde ulaşılan en yüksek devir 48660 1/min olarak ölçülmüştür. Bu devirdeki türbin giriş sıcaklığı 636°C, türbin çıkış sıcaklığı 612°C olarak ölçülmüştür. 25°C çevre sıcaklığında yapılan bu denemede, kompresörden yanma odası içine gönderilen havanın sıcaklığı ~65°C derece ve basıncı ~0,47 bar, yağ sıcaklığı 62 °C ve basıncı ise 3,75 bar olarak ölçülmüştür.
- Model jet motorunun çalışmasında ulaşılan en düşük devir 17600 1/min'dir. Bu denemede, jet motorundaki türbin giriş sıcaklığının 870°C ve türbin çıkış sıcaklığının 860°C olduğu görülmüştür. Ortam sıcaklığının 35°C olduğu bu denemede, kompresörden yanma odasına gönderilen havanın sıcaklığı 68°C ve basıncı 0,39 bar olarak ölçülmüştür. Yağ sıcaklığı ~ 65°C ve basıncı 3,45 bar'dır.
- 12°C ortam sıcaklığında yapılan bir başka denemede, kompresörden yanma odasına gönderilen havanın sıcaklığının 43°C olduğu görülmüştür. Türbin giriş sıcaklığı 659°C, türbin çıkış sıcaklığı 591°C, egzoz nozulu çıkışındaki sıcaklık 607°C, yağ sıcaklığı 38°C ve basıncı ~2,90 bar civarında ölçülmüştür. Yanma odasına gönderilen havanın basıncı ise 0,19 bar olarak ölçülmüştür.

- Gerçek türbo jet çevrimine göre I.S.A. tablosundan [7], 0 m yükseklik için verilen değerler referans alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde, özgül itme kuvveti (F_{st}) 487-582 Ns/kg, özgül yakıt tüketimi (sfc) 0,0926-0,1311 kg/Nh, gerçek yakıt/hava oranı da (f) 0,0140-0,02193 değerleri arasında çıkmıştır.
- Model jet motoru çalışır vaziyette iken yapılan denemede, toplam itme kuvveti 14-20 N arasında değişmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Çetinkaya, S., "Gaz Türbinleri 2.Basım", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, (1999).
2. Çengel, Y., Boles, A. M., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik 2.Basım", Derbentli, T., Mc Graw Hill, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (1996).
3. Karakoç, H., "Uçaklarda Gaz Türbinli Motorların Yakıt Sistemleri", T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir (1997).
4. Öztürk, E., "Türbin Motorların Aerotermodinamiği ve Mekanikiği", Birsan Yayınevi, İstanbul, (1997).
5. Rolls-Royce, "The Jet Engine 5th ed.", Renault Printing Co. Ltd., Birmingham England, (1996).
6. Çengel, Y., Cimbala, M. J., "Akışkanlar Mekanikiği Temelleri ve Uygulamaları 1.Basım", Engin, T., Öz, H., R., Çeşmeci, Ş., Güven Bilimsel, İzmir, (2007).
7. Cohen, H., Rogers, G. F. C., Saravanamuttoo, H. I. H., "Gas Turbine Theory 4th ed.", Longman Group Limited, England, (1996).
8. Internet: Nederland, Guus van der Akker, Jan Willem van Susante, <http://www.jetengines.tk> (2004).
9. Internet: NewZelland, Simon Jansen, <http://www.asciimation.co.nz/turbine/index.htm#The%20turbocharger> (2001)
10. Internert: Canada, Mark Nye, <http://www.nyethermodynamics.com/nt5/index.html> (2002).
11. Internet: New Zelland, Bruce Simpson, <http://www.aardvark.co.nz./pjet/turbine1.htm> (2001)
12. Internet: United Kingdom, Nick Haddock, <http://www.nickhaddock.com.uk/turbinepage2.htm> (2006).
13. Internet: USA, Sam Barros, <http://www.powerlabs.org/turbine.htm> (2002).
14. Internet: Danmark, Jan Petersen, Kenneth Møller, http://home8.inet.dk/jan_p/index.htm, <http://www.pulse-jets.com> (1997).
15. Internet: USA, <http://www.aircav.com/histturb.html> (1998)