

67764

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADYABATİK MOTORLARIN
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Makina Mühendisi Ahmet DAĞDAŞ

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Orhan Deniz

Jüri: Prof. Dr. Raif Durak *Raif Durak*

Jüri: Prof. İrfan Yavaşlıoğlu *İrfan Yavaşlıoğlu*

İSTANBUL, 1997

TEŐEKKÜR

Uzun ve yorucu çalıőmam sırasında, gerek bilgilerin değerlendirilmesinde gerekse moral açısından yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Orhan DENİZ' e teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

SEMBOL LİSTESİ.....	I
KISALTMALAR LİSTESİ.....	III
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
1. GİRİŞ.....	1
2. ADYABATİK MOTORLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	2
3. SERAMİK MALZEMELER VE MOTOR YALITMA İŞLEMLERİNDE KULLANIMI.....	6
4. KÜÇÜK BİR SERAMİK DİSEL MOTORUNDA YAPILAN DENEY ÇALIŞMASI.....	9
4.1. MOTOR DİZAYNI.....	9
4.2. MOTOR ELEMANLARININ YAPIMI.....	12
4.3. KC-301 MOTOR TESTİ.....	14
4.4. KC-401 'İN MOTOR PERFORMANSI.....	15
5. SERAMİK KAPLAMALI DİSEL MOTORUNDAKİ ISI TRANSFERİNİ İNCELEMEK VE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASINI YAPMAK AMACIYLA YAPILAN BİR DENEY ÇALIŞMASI.....	17
6. SERAMİK KAPLAMALI MOTORDAKİ ISI TRANSFERİ.....	37
6.1 ARAŞTIRMANIN SONUÇLARINA DAYANAN HESAPLAMALAR.....	44
7. YANMA ODASI CİDARLARI SERAMİKLE KAPLANMIŞ İÇTEN YANMALI MOTORLARDAN ISI TRANSFERİ.....	52
7.1. İNCE TERMOKUPL FİLMER.....	53
4.1.1 Metal Yapılı Termokupllar.....	53
4.1.2. Seramik Yapılı Termokupllar.....	56
7.2. DENEY MOTORLARI VE ÖLÇÜM METODLARI.....	58

7.3. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE ANALİZLER.....	60
4.3.1. Benzinli Motordaki Sonuçlar.....	60
4.3.2. Diesel Motordaki Sonuçlar.....	64
8. DİSESEL MOTORLARDA METAL VE SERAMİK YÜZEYLER ARASINDAKİ ANLIK ISI AKISININ İNCELENMESİ.....	74
8.1 PORT ELEMANLARI.....	79
8.2 DENEY ŞARTLARI.....	84
8.3 VERİ ELDE ETME.....	86
8.4 YAPILAN ARAŞTIRMANIN SONUÇLARI.....	89
8.4.1. Yalıtılmış ve Yalıtılmamış Metallerin Karşılaştırılması.....	89
8.4.2. Zirkonya ve Yalıtılmamış Metalin Karşılaştırılması.....	96
8.4.3. İki Farklı Piston Geometrisi İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	100
9. SONUÇLAR.....	102
10. KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	106

SEMBOL LİSTESİ

α_s	: Isı transfer katsayısı
$C\gamma$: Isı kapasitesi
λ	: Isı iletim katsayısı
T_w	: Cidar (yüzey) sıcaklığı
q	: Anlık ısı akısı
C_m	: Piston ortalama hızı
P	: Yanma basıncı (yanma odası iç basıncı)
T_g	: Gaz sıcaklığı
T_l	: l derinliğindeki sıcaklık
q	: Ortalama ısı akısı
T_w	: Ortalama cidar sıcaklığı
$dT/d\theta$: Sıcaklık yükselme oranı
$\Delta T\theta$: Her krank açısı için sıcak ve soğuk geçmeler arasındaki sıcaklık farkı
A_c	: Soğutucu alanı (cm^2)
A_g	: Gaz Alanı (cm^2)
A_{kc}	: Silindir kafasının soğutucuyla temas eden alanı
A_{kg}	: Silindir kafasının gaz ile temas eden alanı
b	: Silindir çapı (m)
b_e	: Özgül yakıt tüketimi (gr / kWh)
c	: Çarpım faktörü
F	: Fren kuvveti (N)
G	: Akan gaz kütlesi
G_s	: Soğutucu su miktarı (gr / dk)
g_0	: Kuvvet-kütle-ivmelendirme sabiti
H_f	: Oluşum entalpisi (kJ / kmol)
H_u	: Yakıt alt ısıl değeri (kJ / kg)
h	: Isı transfer katsayısı ($\text{j} / \text{cm}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)
k	: Cidar ısı iletim katsayısı ($\text{j} / \text{cm}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$)
l	: Cidar kalınlığı (mm)
$m\dot{y}$: Yakıtın kütleli debisi (kg / sn)
$M\dot{y}$: Yakıtın mol ağırlığı (kg / kmol)
n	: Motor dönme hızı (d / d)
η	: Sıvı vizkozitesi
$n\dot{y}$: Yakıtın molar debisi (mol / sn)
P_e	: Efektif güç (kW)
P_g	: Gaz basıncı (N / m^2)
P_{me}	: Ortalama Efektif basınç (N / m^2)
P_s	: Sürtünme gücü (kW)
Pr	: Prandl sayısı
θ	: Gerekli minimum hava miktarı

Q	: Birim zamanda akan ısı miktarı (j/h) (W)
Qe	: Egzost enerjisi (W)
Qk	: Silindir kafasından geçen ısı miktarı (W)
Qpe	: Faydalı enerji (W)
Qr	: Toplam enerji miktarı
Qtr	: Soğutucuya transfer edilen ısı miktarı (W)
R	: Reynold sayısı
S	: Piston Kursu (m)
T	: Sıcaklık (°C)
Tc	: Soğutucu çıkış sıcaklığı (°C)
Td	: Silindir kafası deney noktası sıcaklığı (°C)
Te	: Egzost gazı sıcaklığı (°C)
Tg	: Ortalama gaz sıcaklığı (°C)
Tgi	: Soğutucu giriş sıcaklığı (°C)
Tsc	: Soğutucu tarafı yüzey sıcaklığı (°C)
Tsg	: Gaz tarafı yüzey sıcaklığı (°C)
Tsg'	: Seramik-metal sınır sıcaklığı (°C)
To	: Ortam sıcaklığı (°C)
Ty	: Yağ sıcaklığı (°C)
t	: Zaman (sn)
Uk	: Gazdan soğutucuya olan toplam ısı transferi
Vg	: Gaz hızı (m / sn)
Vh	: Toplam kurs hacmi (m ³)
Vp	: Piston hızı (m / sn)
Vy	: Yakıt Hacmi (cm ³)
γ	: Yakıt yoğunluğu (gr / cm ³)
η _m	: Mekanik verim (%)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
φ	: Eşdeğerlik oranı

KISALTMALAR

PSZ	:	Partially Stabilized Zirconia (kısmen dengelenmiş zirkonya)
DC	:	Doğru akım
AÖN	:	Alt Ölü Nokta
AONÖ	:	Alt Ölü Nokta Öncesi
AÖNS	:	Alt Ölü Nokta Sonrası
ÜÖN	:	Üst Ölü Nokta
ÜÖNÖ	:	Üst Ölü Nokta Öncesi
ÜÖNS	:	Üst Ölü Nokta Sonrası
rpm	:	Motor Hızı (dev/dak)
^o KMA	:	Krank Mili Açısı (derece)
SiC	:	Silikon Karpit
Si ₃ N ₄	:	Silikon Nitrit
Al ₂ O ₃	:	Alüminyum Oksit
SM	:	Standart Motor
SKM	:	Seramik Kaplamalı Motor

ÖZET

Son zamanlarda yanma odası cidarları yalıtılmış motorlara büyük umutlar bağlanmıştır. Adyabatik motor adı verilen bu motorlarda, yakıt tüketiminde önemli tasarruf, soğutma suyuna giden ısı akısında azalma, egzost gazı enerjisinde önemli miktarda artma olması tahmin ediliyordu. Aynı zamanda yanma odası cidarlarının tamamen ve ya kısmen yalıtılmasıyla yakıt tüketiminin arttığını belirten yayınların sayısında da artma oldu.

Bu çalışmada adyabatik motorlar hakkında bilgiler verildikten sonra bu motorlardaki ısı transferi incelenmiştir. Motorların performansları üzerinde cidar sıcaklıklarının ve ısı transfer katsayısının etkileri yapılan son deneylerden faydalanarak çıkartılmıştır. Bu konuda yapılan en dikkat çekici çalışma 1986 ve 1987 yıllarında Furuham ve Enomoto'nun (3) yaptığı çalışmadır. Yapılan çalışma göstermiştir ki; seramik kaplamalar beklenildiği gibi düşük ısı transferini sağlayamamakta, dolayısıyla adyabatik motordan beklenen verim artışı gerçekleşmemektedir. Bu çalışmada özellikle seramik kaplamadan beklenmeyen bu olayın neden ve nasıl gerçekleştiği üzerinde durulmuştur.

Araştırmacılar, yanma odası cidarları seramikle kaplanmış 4 stroklu bir benzin motoru ile diesel motoru piston yüzeyine geliştirdikleri ince termokupl film tabakalarını monte ederek anlık yüzey sıcaklığı ve anlık ısı akısı ölçümlerini yapmışlar ve böylece ısı transferinin motor performansı üzerindeki etkileri daha sağlıklı tespit edilmiştir.

Borman ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada (9), direkt püskürtmeli bir diesel motorunun silindir kafasında, yüzey malzemelerinin ve yalıtım tabakasının, ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma amacıyla özel bir silindir kafası kullanılarak, gazla temas eden yüzeyde çeşitli malzemelerden yapılmış tabakalarla deney yapabilmek için büyük bir transduser portu dizayn edilmiş ve gaz tarafındaki yüzeye transfer olan ısının anlık oranları ölçülmüştür. Zirkonya ile kaplanarak yalıtılmış bir metal tabaka ile ölçülen değerler kıyaslanmıştır. Metal tabakanın yalıtılması, gaza bakan kısmın sıcaklığını yalıtımın olmadığı şartlardaki sıcaklığın üstüne çıkarmış ve 6.35 mm kalınlığında zirkonya ile kaplanmış tabakanın verdiği sonucu vermiştir. Zirkonya için yüzey sıcaklıklarındaki fark, araştırmacıların ısı transferi teorisinden beklediği kadar yüksek çıkmamıştır ama yalıtılmamış metale göre önemli ölçüde kararlı ısı akışları elde edilmiştir. Zirkonya için elde edilen yüzey sıcaklık seviyelerinin de, araştırma amacıyla kullanılan silindir kafasının yapısı sebebiyle getirilen termal yük sınırlamaları yüzünden daha fazla olamadığı açıklanmıştır.

ABSTRACT

Recently great expectations were put into the insulation of combustion chamber walls. A considerable reduction in fuel consumption, a marked reduction of the heat flow to the cooling water, and a significant increase of exhaust energy were predicted. In the meantime, there exist an increasing number of publications reporting on significant increase of fuel consumption with total or partial insulation of the combustion chamber walls.

In this study, after the information about adiabatic engines were presented and the heat transfer of those engines were researched. Resent experimental results are reported that confirm the effects, including the influence of the heat transfer coefficient which depends on the wall temperature, on the performance of engines.

Measurements of instantaneous surface temperatures and instantaneous heat flux flowing into wall surfaces of pistons of a 4-stroke gasoline engine and a 4-stroke direct injection diesel engine have been made possible by forming ceramic combustion walls and using thin film thermocouples developed by the authors. Thus, effects of heat transfer on engine performance were obtained.

1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisindeki gelişmelerin tamamen elektronik aksam ve aksesuarlar üzerinde olduğu günümüzde özellikle motorların performansları üzerinde yapılan ve yapılacak olan araştırmaların önemi çok büyüktür. Araştırmacılar motorların performans ve verimlerini arttırmak için çok çeşitli teoriler ortaya atmakta ve bu teorileri ispatlamak için de yoğun çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu amaçla yapılan çalışmalardan biri de “Adyabatik Motorlar” üzerinedir.

Bilindiği gibi içten yanmalı motorların verimleri % 30-40 civarındadır. Yani motordan 30-40 birimlik faydalı iş alabilmek için 100 birimlik enerjinin verilmesi gerekir. Bu nedenle otomobiller teknolojinin en önemli gelişmelerinden birisi olsa bile verimlerinin düşüklüğü nedeniyle aynı şekilde bir başarıdan söz edemeyiz. Çünkü verilen enerjinin %60-70' i kullanılmadan ortama atılmaktadır. Kullanılmayan enerjinin bir kısmı motor elemanlarını aşırı sıcaktan korumak maksadıyla soğutma suyuna ve ekzost gazı olarak atmosfere atılmakta, bir kısmı da sürtünmeye gitmektedir.

Bu olumsuzlukların giderilmesi amacıyla adyabatik motorlar geliştirilmektedir. Fakat bu çalışmanın asıl amacı, adyabatik motorlardaki ısı transferinin incelenmesi, bu amaçla yapılan deneylerin sonuçlarının yorumlanmasıdır. Son zamanlarda seramik kaplamalı motorlarda ısı transferinin arttığına ifade edilmesine dikkat çekilmiş ve bunun nasıl ve niçin olduğu üzerinde yapılan araştırmalar incelenerek yorumlanmıştır.

2. ADYABATİK MOTORLAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Adyabatik motor, motorun termodinamik çevriminin gerçekleşmesi için sıkıştırma ve genişleme periyotlarında dışarıdan ısı enerjisi verilmeyen ve proses sonunda dışarıya ısı atılmayan motordur. Adyabatik proseste termodinamik sistem yakın çevre ile ısı alışverişi yapmaz. Gazı oluşturan moleküller bilindiği gibi birbirinden bağımsızdırlar. Gazın bulunduğu silindir çevreden iyi yalıtılmayacak olursa silindir çeperlerine yakın olan moleküllere doğru bir ısı akımı başlar. Bu nedenle silindirin çok iyi yalıtılması sağlanmalıdır (MEB 1988). Böyle bir motorda soğutma sistemine ihtiyaç kalmadığından ısı kaybı da olmayacak ve verim artışı olması beklenecektir. Fakat pratikte tam adyabatik motor yapmak mümkün değildir. Bu nedenle yapılan araştırmalar beklenen sonuçları elde edememektedir. Çünkü soğutma sisteminin ve ısı kaçıışının olmadığı motorun çalışma sıcaklığı çok yüksek olmakta ve bu durum otto motorlarında yakıt hava karışımının olması gerekenden daha erken tutuşmasına (vuruntu) sebep olmaktadır.

Vuruntu, volümetrik verimi azaltan en önemli faktörlerden biridir. Vuruntulu yanma motorun hareket elemanlarını aşırı derecede mekanik ve termik olarak zorlar ve motor güçten düşer. Yakıt ve yağ sarfiyatı artar. Motorun hareket elemanları ile yataklar çabuk ve anormal aşınır. Supaplar ve piston üst yüzeyi yanar hatta erir. Bu nedenlerle vuruntudan kaçınılması şarttır fakat verimin düşmemesi için de motor vuruntu sınırına yakın çalıştırılmalıdır (Kaya O, 1993). Vuruntulu çalışmada adyabatik prosesten sağlanan verim artışı ancak volümetrik verimdeki azalmayı karşılayabilmektedir.

Vuruntu olayı otto motorlarında gözlenmektedir. Çünkü yakıt hava karışımının kendi kendine tutuşma sıcaklığı vardır. Diesel motorlarda ise taze dolgu hava olduğundan bu durum gözlenmez. Termodinamik açıdan en uygun zamanda silindir içerisine yakıt püskürtülürse yanma sağlanacağından vuruntu kaynaklı verim düşüşü olmaz. Öyleyse adyabatik motor çalışmaları dizel motor karakteristiğine daha uygun olduğundan, bu konudaki araştırmalar dizel motorlar üzerinde yapılmaktadır.

Motorlarda ısı kaybı azaldığında motorun veriminin artacağı bilinmektedir. Bu nedenle piston üst yüzeyi, silindir kafa yüzeyi, supaplar ve silindir cidarlarında termal

bariyer kaplamaları yapılarak soğutmaya ve diğer yerlere kaçan ısı miktarı azaltılarak verim arttırılmaya çalışılacaktır.

Yapılan araştırmalar 3.5 mm kalınlığındaki seramik kaplamanın ısı kaybını %80 azalttığını ortaya çıkarmıştır. (Hocking M.G, et al. 1989) Fakat yinede tatminkar bir izolasyon için 5 mm'lik kaplama kalınlığına ihtiyaç vardır. (elik H. 1991)

Adyabatik prosesi sağlamak amacıyla diesel motorlarında yapılan kaplamalar, soğutma sistemine geçen enerjiyi azaltmayı hatta soğutma sistemini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Soğutma sistemi elemanlarının (pompa, vantilatör, su kanalları, radyatör vb.) ortadan kalkmasıyla ağırlık, parça maliyeti ve ekonomisi, motor gücünün artması adyabatik motordan beklenen en önemli özelliklerdendir. Bu amaçla yapılmış olan çalışmalarda yüksek yatak sıcaklıkları ve yüksek yağ sıcaklıklarının ortaya çıkardığı olumsuzluklar öne sürülmüşsede yapılan araştırmalar ümit verici boyuttadır.

Genellikle polyester esaslı yağlarla bu problem özölmektedir.(elik H.A, 1991) Adyabatik motorlarda güç yoğunluğu artışı olması beklenmektedir. Zira motorun hafiflemesiyle elde edilen gücün artması güç yoğunluğunu arttırır.

Silindir içi cidar sıcaklıklarının artmasıyla tutuşma gecikmesi süresi kısılır bu da volümetrik verimi arttırıcı özelliktir. Aynı sebepten dolayı daha kalitesiz dizel yakıtlarının yanması mümkün olacak bu da ekonomikliği sağlayacaktır. Ayrıca tutuşma gecikmesi süresinin azalmasıyla diesel motorunda oluşan güröltü azalır ve daha sessiz bir motor elde edilmiş olur. Bilindiği gibi diesel motorları kontrolsüz yanmadan kaynaklanan vuruntudan dolayı otto motorlarına göre çok daha güröltülü çalışırlar. Bu nedenle diesel motoru taşıyan otomobiller pek tercih edilmezler.

Isı kayıplarının azaltılması sebebiyle diesel motorlarında sıkıştırma sonu gaz sıcaklığı artacağından daha kolay ilk hareket sağlanacaktır. Adyabatik motorda egzost gazlarının sıcaklıkları da fazla olacağından turbokombine ve turboşarj sistemleriyle elde edilen güç de artar. Bu da motorun performansını iyileştirir.

Adyabatik motorların yüksek sıcaklıklarda çalışacak olması silindirde kullanılacak malzemenin termal mukavemetinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Yapılan araştırmalar bu türdeki en iyi malzemenin seramikler olduğunu ortaya çıkarmıştır. Seramikler, hem kaplama tekniğine çok uygun hem de geliştirilmeye çok müsaittirler.

Isı yalıtımı amacıyla, seramiklerin geniş çapta kullanıldığı dizel motorlarına 'Adyabatik Motor' denir. 'Adyabatik' adı araştırma çabalarının yöneltileceği teorik hedefi ifade etmektedir. Yoksa böylesine ideal motorun yapılacağı anlamı çıkarılamaz.

Adyabatik motorların geliştirilmesi amacıyla, çeşitli ısı yalıtım stratejileri altında motor performansını ve özgül ısı transferini belirlemek, aynı zamanda motor parçalarının sıcaklıkları bakımından sınır koşulları olan termal ve mekanik araştırmalar için bilgi sağlamak amacıyla 'çevrim simülasyonu' kullanılır. Silindir içi ısı transferi bağıntısı çevrimsel motor simülasyonunun yan modellerinden birisidir ve bu bağıntılarının doğruluğu simülasyonun geçerliliği ile yakından ilgilidir.

Silindir içi ısı transferi mekanizmasının bilinmesi, evrensel bir kural olarak uygulanabilecek ısı transferi bağıntısının geliştirilmesinde temel teşkil etmiştir ve silindir yüzeyleri üzerinde ihtiyaç duyulan evrensel çözümleri sağlar.

Isı transferi bağıntılarının ayrıntılara varacak kadar doğru ve kesin bir ifadesi bulunamaz. En karmaşık olaylardan olan silindir içi ısı transferini ortaya çıkaracak çalışmalarda makro görüşe ve mikroskobik yaklaşımlara ihtiyaç duyulur. Uzun vadede ısı transferi modellerinde olağanüstü incelikte sınır tabakası, temel türbilans ve akışkanlar mekaniği parametrelerine bağlı olarak çok boyutlu akışkanlı motor modellerine ihtiyaç duyulur. Kısa vade de ise yarı ampirik formüllerin geliştirilmesinde geçerliliği olan geniş aralıklı cidar sıcaklıkları, cidar malzemeleri ve motor yükleri termodinamik çevrim simülasyonları için gereklidir.

Adyabatik motorların gelişmesi, kuşkusuz ısı transfer mekanizması hakkındaki ayrıntılı bilgi eksikliğinden durdu. Malzeme seçimi gibi sorunlar motor performans hedeflerine bağlı olarak ulaşılabilecek silindir cidar sıcaklıkları hakkında bilgi sahibi olduktan sonra çözümlenmelidir. Bir adyabatik motorda, silindir yüzey sıcaklıklarındaki dairesel dalgalanmaları silindir cidar malzemelerinin termal şok sınırları ile aynı büyüklük derecesinde olabilir.. Termal şok olumsuzluğu göz önüne alındığında muhtemel sebep, seramik parçalar arasındaki termal uyumsuzluktur. Bu tip malzemelerin tasarım hesaplamaları, silindir yüzeyindeki termal olaylar hakkındaki yetersiz bilgilerden dolayı sınırlanmıştır. Isı transferinde (rejection) önemli ölçüde azalma yapabilmek için malzeme teknolojisi kadar yalıtma stratejisi de belirlenmelidir. Bu

bilgiler deneylere bağlı olarak çok kolay elde edilebilir ve bu verileri elde etmek de ilk hedefimiz olmalıdır.

Silindir içi ısı transferinde yüksek silindir yüzey sıcaklıkları konveksiyon ve radyasyonun etkisiyle oluşur ama pek bilinmezler. Adyabatik motor ile klasik soğutmalı motor karşılaştırıldığında, birisinde yanma sırasında ısı transferinin konvektif kısmında şiddetli bir azalma, parlak kısımlar değiştirilmeden sağlanır. Şayet yanma odası yüzeyindeki sınır tabakanın davranışları, yüzeyde biriken ısı tabakasının karakteristiği ve adyabatik motorun yanma karakteristiği, klasik soğutmalı motorlardan çok farklı olmasaydı bu iyi bir tahmin olurdu. Eğer alışan bir adyabatik motorun seramik yüzeyin üzerinde biriken ısı yeterince ince olursa, eski bilgilere dayanarak, yapılan ısı akısının tahmini seramik maddelerin gerçekte hem yarısaydam hem de yansıtıcı olmasından dolayı önemli lde sapma gösterebilir. Belirtilen bu olumsuzluklardan dolayı adyabatik motorlarda silindir içi ısı transferi ve motor işletme parametreleri, klasik soğutmalı motorlardan farklı olabilir ve adyabatik motorlar için yapılacak ısı transferi hesaplarında klasik soğutmalı motorların ısı transferi verilerine dayanarak hesap yapmak için, deneysel çalışma gerekir.

3. SERAMİK MALZEMELER VE MOTOR YALITMA İŞLEMLERİNDE KULLANIMI

Seramikler, mühendislikte kullanılan diğer malzemelere göre yüksek sıcaklıklara karşı daha mukavemettirler. Ayrıca termal bariyer olarak kullanımları verimlidir. Adyabatik motorlarda daha verimli kullanılabilmesi amacıyla geliştirilmeye müsait yapıdadırlar. Bu amaçla yapılan çalışmalarda çok iyi sonuçlar alınmıştır.

Seramik malzemelerin başlıca özellikleri şöyle sıralanabilir;

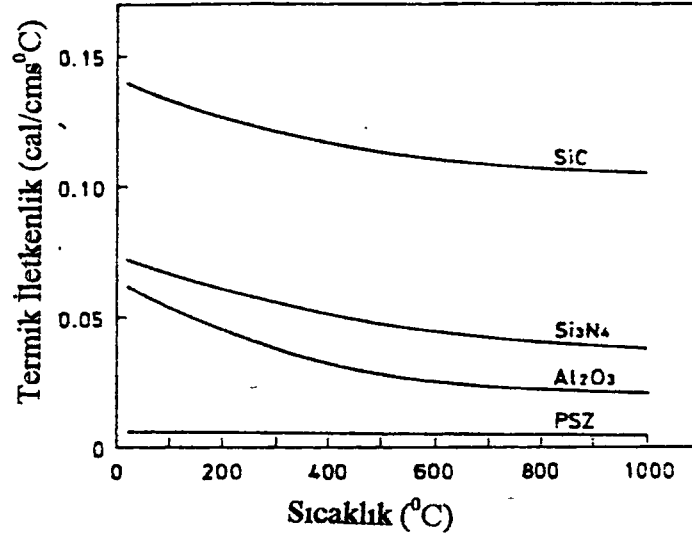
1. Yüksek sıcaklıklara karşı mukavemeti fazladır.
2. Isı iletkenlikleri düşüktür.
3. Kimyasal ve mekanik aşınmalara karşı dayanıklıdır.
4. Termal şok dayanımları iyidir.
5. Sürtünme katsayıları düşüktür.
6. Hammadde olarak tabiatta bol ve ucuz olarak bulunur.
7. Toz haline getirilerek kullanılabilir.
8. Kırılgandır.

Bir motoru tamamen seramikten imal etmek mümkün olmadığından silindirin özellikle ısı kaçışının olduğu bölgelerinin seramik malzeme ile kaplanması daha uygundur. Kaplama işleminde de karşımıza bazı pürüzler çıkmaktadır. Bunlardan en önemlisi seramik ve metal malzemelerin genleşme katsayılarının farklı olmasıdır. Bu nedenle iki malzeme uyumlu çalışmamaktadır. Çünkü ani sıcaklık değişimlerinden doğan termal gerilmelerin etkisiyle seramik malzeme çatlamaktadır.

Yapılan araştırmalar dökmedemir üzerine kaplanabilecek en uygun seramiğin PSZ (Partially Stabilized Zirconia) yani kısmen dengelenmiş zirkonya olduğu ortaya çıkmıştır.

Sertleştirilmiş PSZ seramikleri adyabatik motorlar için önemli avantajlara sahiptir. Magnezyum-PSZ malzemelerin aşınmalara karşı dirençleri iyidir mukavemetleri yüksektir ve izolasyonu çok iyi olan en sert seramiktir. Mg-PSZ, piston kafası, supap yatakları, supap kılavuzları, silindir gömlekleri gibi yerlere uygulanması olumlu sonuçlar vermiştir. Şekil -3.1 'de PSZ, SiC(Silikon karpit), Si₃N₄ (silikon nitrit)

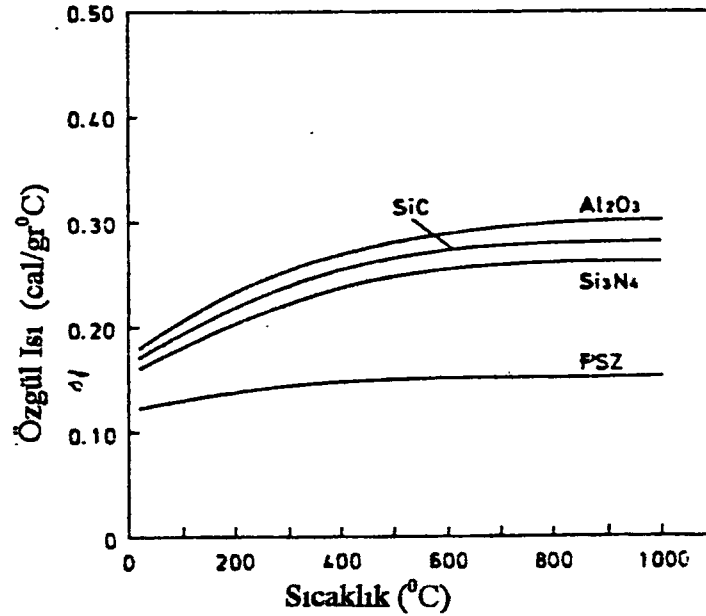
ve Al_2O_3 gibi yüksek mukavemetli seramiklerin termik iletkenlikleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Tipik seramiklerin termik iletkenlikleri

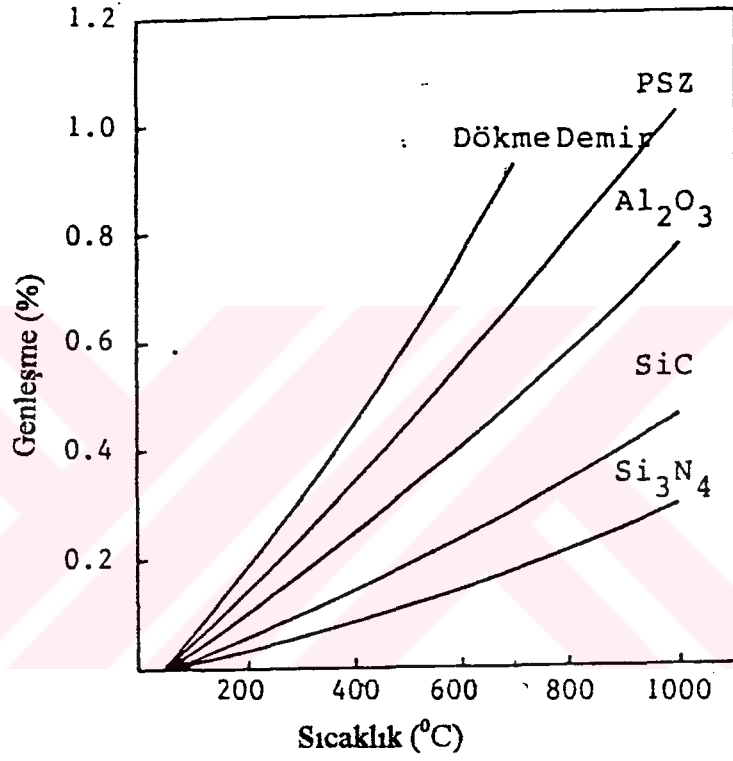
PSZ'nin termik iletkenliği 0-1000 °C'ler arasında diğer malzemelerden daha düşük ve yaklaşık olarak 0.006 cal/cms°C değerinde olduğu görülmektedir.

Şekil-3.2' de yüksek mukavemetli seramiklerin özgül ısı değişimleri gösterilmiştir. Buna göre özgül ısısı en düşük olan seramik PSZ olmaktadır. Özgül ısının düşük olması önemli bir avantajdır çünkü giriş gazı sıcaklığının artırılması gerekliliğini ortadan kaldırır.



Şekil 3.2. Tipik seramiklerin özgül ısıları

Şekil-3.3 'de belli başlı seramiklerin ve dökme demirin genleşme katsayıları verilmiştir. Görüldüğü gibi demirin termik genleşme değerine en yakın genleşmeye sahip malzeme PSZ' dir. Bu da daha önce bahsedilen genleşme dengesizliğini ortadan kaldırması bakımından çok önemli bir gelişmedir.



Şekil 3.3. Tipik seramiklerin ve dökmedemirin genleşme katsayıları

5. KÜÇÜK BİR SERAMİK DİSEL MOTORUNDA YAPILAN DENEY ÇALIŞMASI

Bu deney çalışması Yoshiteru ve Yoshiki (7) tarafından Kyocera Firması için yapılmıştır. Deneyde Tek silindirli ve dört silindirli deney motorları; mukavemetliği yüksek seramik pistonlar, silindirler silikon nitrattan yapılan silindir kafası yüzeyleri ve cermet esaslı titanyum nitritten yapılan piston segmanları ile hazırlanmıştır. Mukavemetleri tam yükte ve maksimum rpm'de 100 saatlik çalışmayla ispatlanmıştır. Yüksek silindir cidarı sıcaklıkları nedeniyle tek silindir versiyonunda erken ateşleme ve geç ateşleme gözlenmiştir. Piston oyuğundaki dizayn değişikliği ile motor yakımında olduğu gibi türbilans artmış ve daha iyi hava-yakıt karışımı sağlanmıştır. 4 silindirli versiyonda, tam yükte çalışmada sıcaklıkların arttığı ve buna bağlı olarak silindir kafasındaki metal parçalarda deformelerin başladığı tespit edilmiş ve bundan dolayı bu çalışmada su soğutmalı soğutma sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Daha iyi bir performans için motor dizaynı çalışmalarının hızlandırılması gerekirken yapılan bu deneylerde seramik parçaların dayanıklılığı onaylanmıştır.

Seramik motor parçalarının gelişme faaliyetlerinin çoğu türbinlerde yoğunlaşmış olarak yaklaşık 15 yıl önce başlamıştır. Bugün, pek çok ülke seramik kaplamalı diesel motorları geliştirmeye yönelik çalışmalarını sürdürmektedir. Malzemeler, silikon nitrit ve karbit gibi paslanmayan malzemelerin gelişmesiyle gözle görülür bir şekilde düzelmiştir. İçinde bulunduğumuz on yıl, hammaddelerin ve seramik malzemelerin işleme teknolojisinde (şekil verme, sinterleme, makinada işleme, seramik ile metalin birleşmesi vb.) dizayn etme, NDE ile güvenilirlik testi gibi uygulama teknolojisindeki gelişmelere sahne olmuştur. Böylece yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için seramik malzemelerin mekanik özellikleri ve güvenilirliği büyük oranda düzelmiştir.

4.1. MOTOR DİZAYNI

Yolcu arabaları için; küçük, soğutmasız, direkt injeksiyonlu bir motor dizayn edilmesi için deneyden önce pek çok motor konfigürasyonunun incelendiği belirtilmiştir. Bunlar; tek sıralı silindirlerden oluşan motor, V-tipi motor, karşıt silindirli motor, 2 stroklu, 4 stroklu ve rotary motor gibi versiyonlardır. Sonuç olarak, silindir gövdesi ve kafasındaki termal deformasyonu azaltması bakımından seramik elemanların

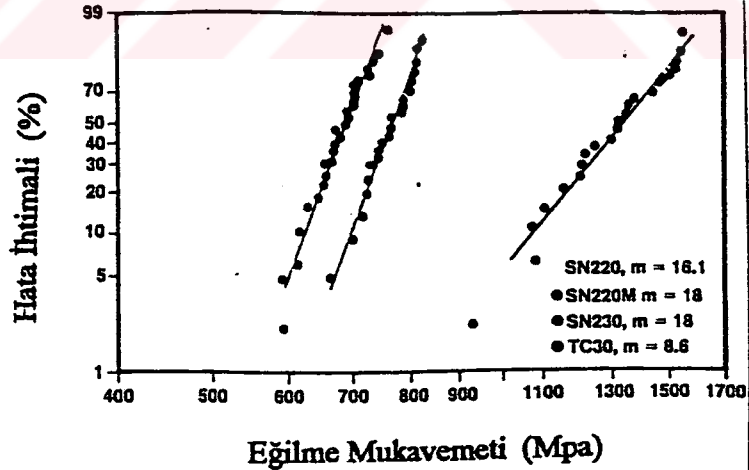
kullanıldığı yatay ve karşıt silindirli, 4 stroklu, 4 silindirli bir motorun kullanılmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Başlangıçta seramik yardımcı parçalarının gerilme şartlarının iyileştirilmesi, çekilme ve kesme gerilmelerinin azaltılması amacıyla Fuji Ağır Sanayi'ye ait Robin DY30D tipi tek silindirli bir DI motoru dizayn edilmiştir. SiC, sıcak preslenmiş silikon nitrit ve kısmen stabilize edilmiş zirkonyanın (PSZ) da dahil olduğu adaylar arasından sinterlenmiş silikon nitrit ve titanyum nitrit cermetler seçilmiştir. Bunlar kırılma mukavemeti, termal şok direnç ve işleme kolaylığı bakımından daha uygun malzemeler olduğu belirtilmektedir.

Pistonlar, silindirler, silindir üst yüzeyleri ve piston segmanları sinterlenmiş silikon nitrit (SN220) ve ya titanyum nitrit esaslı cermet (TC30)'ten yapılmışlardır. Her parçaya FEM gerilme testleri uygulanmış olup motor performansını ve dayanıklılığını daha da geliştirmek için bu analizler motor test sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır.

Aşırı doldurmalı, 4 silindirli bir motor olan KC-401, tek silindirli motorun test sonuçları da esas alınarak, pistonlar, piston segmanları, silindirler, silindir kafası yüzeyleri ve aşırı doldurma çarkı gibi elemanlara seramik kaplanması suretiyle dizayn edilmiştir. Pistonlar, silindirler ve silindir kafası yüzeyleri için, sinterlenmiş silikon nitritin daha da geliştirilmiş bir versiyonu olan (SN230) kullanılmıştır.

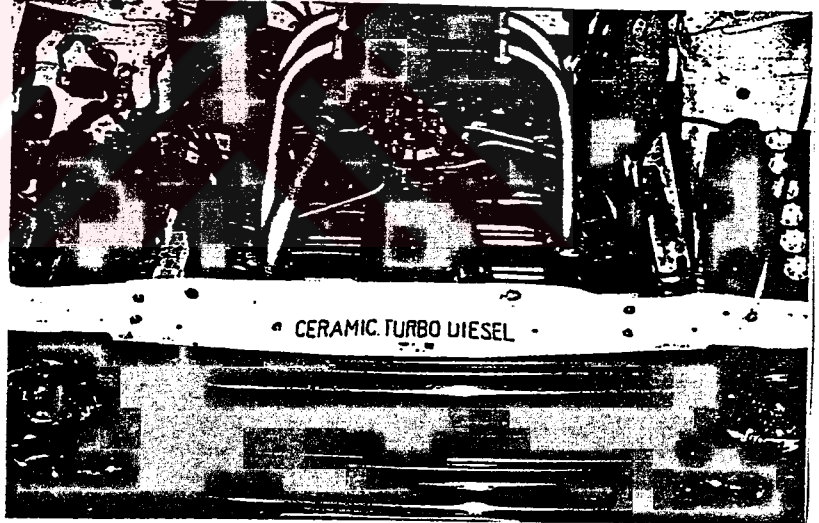
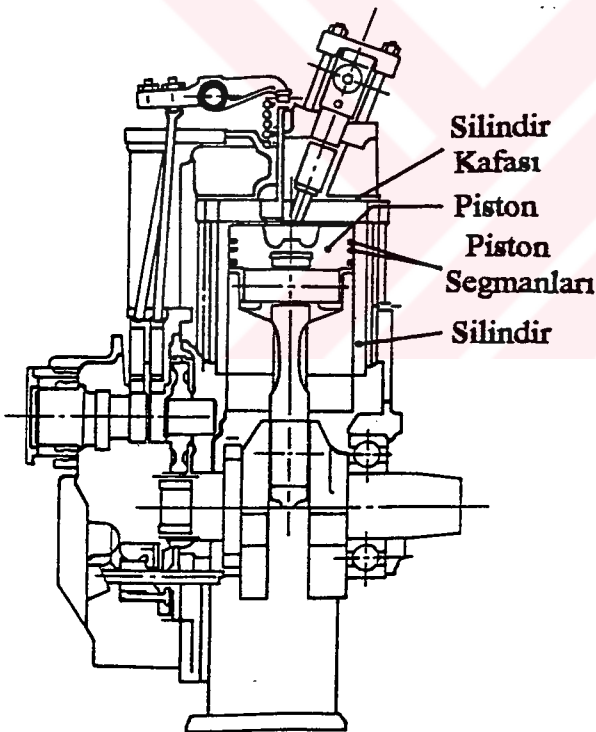
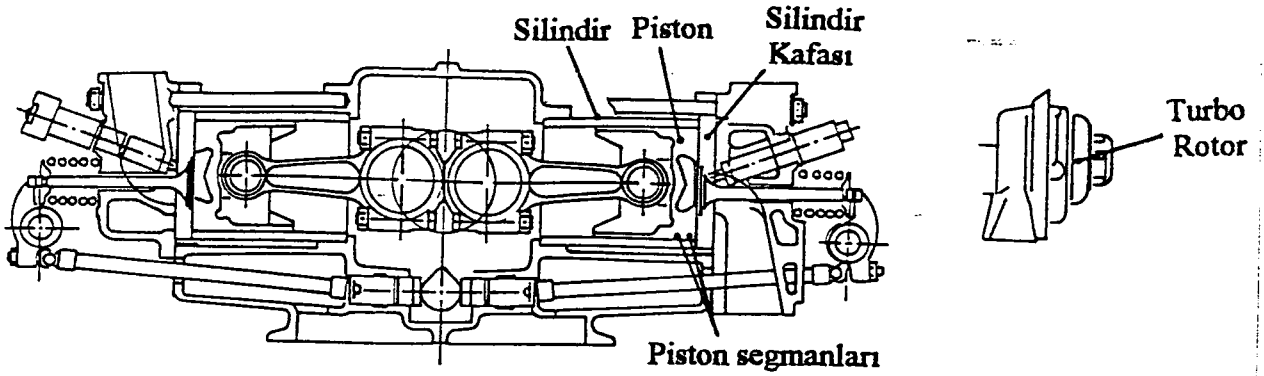
Şekil (4.1); Dört Kyocera malzemesinin tipik dayanıklılık verilerini gösterir.



Şekil-4.1.

KC-401 için SN230 kullanılırken, KC-201 (4 zamanlı, üç silindirli silindirleri tek hizada olan DI diesel motoru) 'in ve KC-301 (tek silindirli versiyon) 'in piston vb.

parçaları için SN220 kullanılmıştır. Bu iki malzeme, izopresleme, ham olarak makinada işleme ve sinterleme aşamalarından geçerek işlenmiştir. SN220M'nin, kayma döküm ve sinterleme aşamalarından geçerek işlenmiş olduğu belirtilerek aşırı doldurma çarkında kullanıldığı ifade edilmiştir. Piston segmanlarında da titanyum esaslı cermet olan TC30 kullanılmıştır. Şekil (4.2) ve (5.3) 'te KC-301 ve KC-401 sırasıyla görülmektedir.



Şekil-4.2. Tek silindirli motor versiyonu (KC-301) görülmektedir.

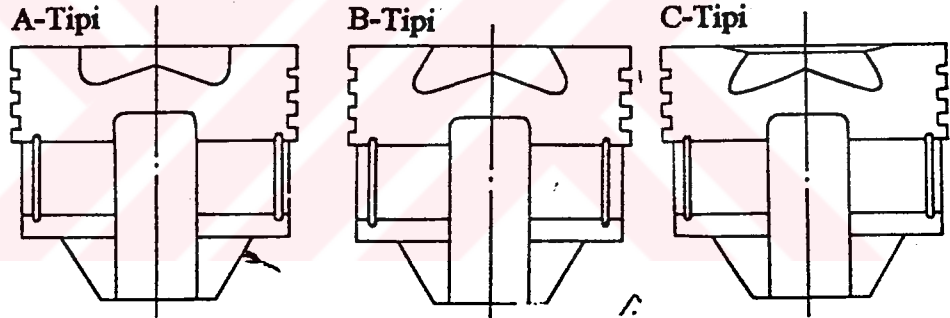
Şekil-4.3 Her iki şekil dört silindirli DI diesel motorunun (KC-401) kısmi çizimleri ve motorun taşıt arabalarına uygulanmış şekli görülmektedir.

4.2 MOTOR ELEMANLARININ YAPIMI

Seramik parçaların yapımında, kuru presleme, izo-presleme ve ham olarak makinada işleme, kayma döküm, injeksiyonlu kalıplama, sıcak presleme, sıcak izo-presleme ve spray kaplama gibi pek çok işleme teknolojisinin kullanımının mümkün olduğu belirtilmektedir. Kompleks şekilli az sayıdaki parçada izo-presleme ve ham olarak makinada işleme en uygun olanlardır. Türbin kanatları buradaki tek istisna olup SN220'nin kayma dökümü ve sinterlenmesi yoluyla yapılmıştır.

Çalışmadan önce; ultrasonik kontrol ve radyografi gibi NDE testlerinin, sinterlemeden ve son işlemden sonra her parçaya uygulandığı, imalat sırasında oluşan ve parçaların ömrünü etkileyen hatalı parçaların çıkarıldığı bazı durumlarda, parçaların mekanik ve termal gerilme şartları altındaki performans testlerinin yapıldığı belirtilmiştir.

Piston: Şekil 4.4, KC-401 pistonunun üç değişik dizaynını göstermektedir.



Şekil-4.4 Yanma odasında sadece piston dizaynında değişiklikler yapıldı. En etkili pistonun A tipi olduğu ispatlandı.

Sadece yanma oyukları farklı olan bu pistonların, motor performansı üzerindeki etkileri mukayeseli olarak incelenmiştir.

Piston Segmanları: Şekil (4.5), piston segmanları (iki seramik sıkıştırma segmanı ve bir metal yağ segmanı) yerleştirilmiş bir pistonu göstermektedir. Daha önce belirtildiği gibi kurulma ve işletme şartlarından doğan gerilmelere ait FEM analizinden sonra TC30 malzemesi, silikon nitrit silindirleri ile eşleştirildiğinde gösterdiği yüksek

mukavemet, düşük sürtünme ve az aşınma özelliklerinden dolayı segman malzemesi olarak seçilmiştir (Yoshiteru et. al.).



Şekil-4.5 İki seramik kompresyon segmanı ve bir metal yağ segmanı yerleştirilmiş piston görülmektedir

Silindir: KC-401'de (ekil 4.3) iki çift bağımsız silindir ve silindir kafa yüzeyi, silindir kafası ve silindir bloğu arasına, her bir silindire dört tespit vidası düşecek şekilde tutturulmuştur. Balıklar ve blok, klasik malzemelerden dökülerek dizayn edilmiştir.

Silindir Kafası Yüzeyleri: Şekil (4.6), SN230' dan yapılan ve elik bir halkaya sıkı geçirilen silindir kafasını göstermektedir. Supaplar, silindir kafa yüzeyiyle tam temas edecek şekilde dizayn edilmiştir. Supaplar aynı zamanda mekanik ve termal gerilmelere en çok maruz kalan parçalardır. FEM gerilme analizleri yapılmış olup seramik parçaların dizaynını ve sıkı geçme şartlarını belirleyen deneysel gerilme verileri ile mukayese edilmiştir.

Aşırı Doldurma: Bir aşırı doldurma rotoru imalatında, trbn tekerlekleri metal sağıllara pirinç kaynağı ile tutturulmuş olup 600 m/s' lik bir u hızda döndürülerek test edilmiştir.

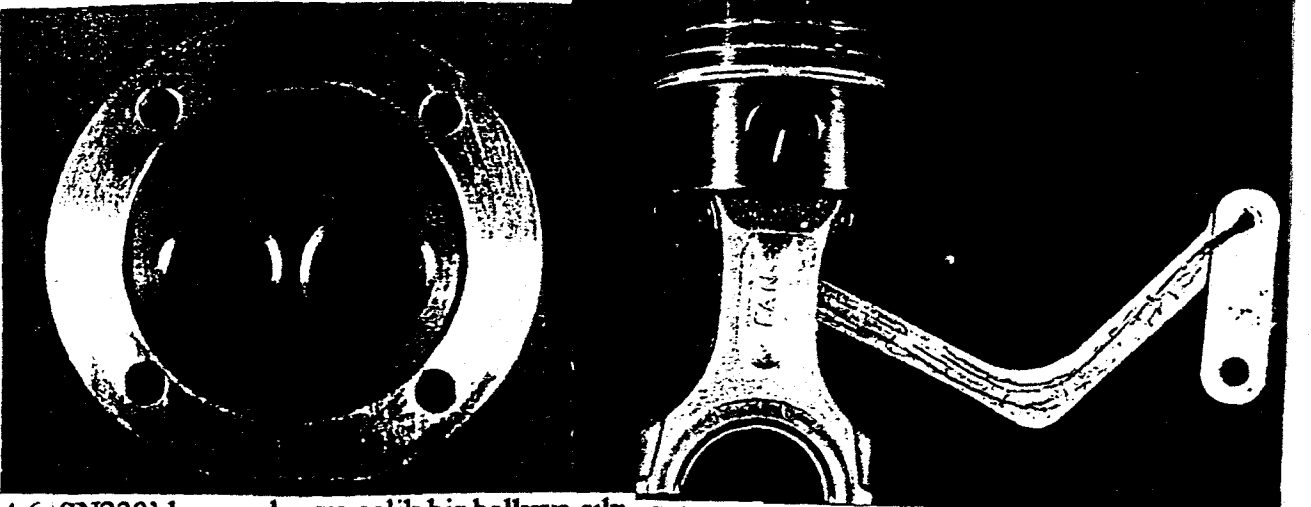
4.3 KC-301 MOTOR TESTİ

Yanma Prosesi: KC-301 'in güç çıkışı ve torku ile esas motorun (DY30D) değerleri tam yükte ve 500-3500 rpm hız sınırları aralığında mukayese edilmiştir. Isı transfer oranı ve silindir basınçları krank açısının bir fonksiyonu olarak ayrıca belirlenmiştir. Esas motorun piston oyuğunun benzerine sahip olan KC-301 'in yanma prosesi farklı olmuştur.

KC-301 'deki ısı transferinin başlangıçta çok düşük, bunu izleyen asıl yanmada düşük ve sonraki yanma periyodu sırasında yüksek olduğu belirtilmektedir. Burada, yüksek cidar sıcaklığı nedeniyle yakıt hava karışımının tam olması için öncesindeki ön yanma sebebiyle oluşabilecek kısa yanma gecikmeleri göz önüne alınmıştır. Yüksek cidar sıcaklığı gösteren motorların yanma prosesindeki gelişmenin, emilen havanın miktarındaki gelişme kadar kritik bir problem olduğu ifade edilmektedir.

Sıcaklık Dağılımı: Pistonlar, iş gazı tarafından yapılan mekanik gerilmelere maruz kalıp, gerilmeler hem gaz basıncına hem de piston dizaynına bağlıdır. Termal gerilmeler, düşük ısı iletimi ve büyük sıcaklık aralıkları nedeniyle özellikle seramik pistonlar için ayrıca göz önüne alınmalıdır.

Bir SN220 pistonunun sıcaklığı, motorun çalışması sırasında termokupllar ve mekanik olarak bağlanmış kurşunlar vasıtasıyla ölçülmüştür (şekil-4.7).



Şekil-4.6 SN230'dan yapılan ve çelik bir halkaya sıkı geçirilen silindir kafası görülmektedir.

Şekil-4.7 SN220 piston sıcaklığı termokupllar ve kurşunlar vasıtasıyla ölçülmüştür.

pistondaki ve alt tabakalardaki maksimum sıcaklıklarda belirgin farklılıklar gözlemlendiği belirtilmiştir. KC-301 için 3.5 mm 'de 24 °C sıcaklık varken esas motorda ise 4mm 'de 3 °C sıcaklık vardır. Termal gerilme, silikon nitrat pistonda 80 MPa ve alüminyum pistonda da 18 MPa olacak şekilde hesaplanmıştır.

KC-301 'in maksimum segman sıcaklığı 300 °C 'dir. Bu, yaklaşık olarak 130 °C 'lik bir sıcaklığa sahip olan esas motorun segman sıcaklığından daha yüksektir. Bu sıcaklıklar, piston segmanları yoluyla olan ısı akısını anlamada ve motor yağının ısıya bağlı olarak bozulmasını tahmin etmede çok önemli yer tutarlar.

Bir KC-301 silindirindeki ve hava soğutmalı olan esas motordaki sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Her iki motorun dereceleri neredeyse aynı, fakat, seramiğin sıcaklığı 130 °C daha büyük olmuştur. Kafa yüzeyi sıcaklıkları hava soğutmalı esas motorunkinden yaklaşık olarak 70 °C kadar yüksektir. Sıcaklıktaki bu artış termal olumsuzluklar ve deformasyonlar ile birlikte emilen hava miktarında azalma gibi pek çok önemli dezavantaja neden olur. Bundan dolayı motor performansını ve dayanıklılığını daha iyi hale getirmek için silindir kafa yüzeylerinde yapılacak etkin termal izolasyon çok önemlidir.

Seramik Parçaların Dayanıklılığı:

KC-301 motor testleri, seramik motor parçalarının dayanıklılığını ispatlamak için yapılmıştır. Yapılan deneylerde pistonlar, silindirler ve silindir kafa yüzeyleri tam yükte ve 3600 rpm hızda 100 saatlik çalışmayı başarıyla aşmışlardır.

4.4. KC-401 ' İN MOTOR PERFORMANSI

KC-401 motorunun hazırlanması sırasında, silindir kafaları, silindir blokları ve yakıt enjeksiyon pompalarının, orijinal olarak dizayn edildiği ve klasik malzemelerden imal edildiği, 300 cc'lik benzinli bir motorda sınırlı değerlerde supap ayarı geliştirilmiş bir supap sisteminin kullanıldığı bildirilmiştir.

Motor, bir motor dinamometresi üzerinde test edilmiş ve deneme çalışmaları için bir binek otomobiline takılmıştır.

KC-401' in motor dinamometresi üzerinde test edilmesi sırasında, motor, yüksek güç seviyelerinde çalışırken silindir kafası sıcaklığında artış ve buna bağlı olarak metal

parçalarda bozulmalar gözlenmiştir. Bu nedenle, silindir kafası, bundan sonraki deneylerin yüksek güç kademelerinde su ile soğutulmuştur.

Motor performansı, şekil (4.4) 'deki üç piston kullanılarak karşılaştırılmıştır. A tipi piston şeklinin en iyi olduğu B ve C versiyonlarının ise eksenel türbilans hareketlerinin artmasına sebep olduğundan daha iyi bir yakıt-hava karışımı elde etmeye yönelik olduğu belirtilmiştir. B ve C tiplerinin güç çıkışları A tipi pistonlarınkinin çok altındadır. Bu piston dizaynlarının motor gücündeki değişiklikler üzerine etkisinin dikkate değer olduğu kabul edilmiştir.

Yakıt enjeksiyon basıncı, DI motorlarında yaygın olan 19 MPa'dan 32 MPa'ya çıkarılmıştır. Çünkü bilindiği gibi, daha yüksek bir motor performansı için daha iyi bir yakıt-hava karışımı gerekir. Bununla beraber, bu deneyde, en yüksek performans, en düşük enjeksiyon basıncında elde edildiği ifade edilmiştir. Bu sebeple, meme ve piston oyuğu dizaynı üzerine daha yoğun araştırmaların yapılması tavsiye edilmektedir.

KC-401, binek arabalarında kullanılırken soğutmaya gerek duyulmamıştır. Bunun sebebini, araba sürerken güç ihtiyacının düşük olması ve otomobil sürüş testinin KC-401' in dayanıklılığının tahmin edilmesine etkili bir yöntem olmamasına bağlanmıştır.

5. SERAMİK KAPLAMALI DİSEL MOTORUNDAKİ ISI TRANSFERİNİ İNCELEMELİK VE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASINI YAPMAK AMACIYLA YAPILAN BİR DENEY ÇALIŞMASI

Ülkemizde adyabatik motor çalışmaları genellikle üniversitelerde yüksek lisans veya doktora çalışması olarak yapılmaktadır. Yerli otomotiv sektörümüzün araştırma ve geliştirme çalışmalarına gereken önemi vermediği ve teknoloji üretmek yerine teknoloji ithal etmeye yönelmesi bu ve bunun gibi çalışmaların küçük boyutlarda sadece öğrenci çalışmasından öteye gitmemesine neden olmaktadır.

Bu bölümde; 1991 Yılında Marmara Üniversitesi Makina Bölümünde silindir kafası yüzeyleri ve supabları seramik ile kaplanmış, tek silindirli, 4 stroklu, direkt püskürtmeli bir diesel motoru üzerinde yapılan deney çalışması ve deney sonuçları karşılaştırmalı olarak anlatılmıştır.

Bu motorun deney motoru olarak kullanılmasının en önemli nedenlerinden birisi silindir kafasının dökme demirden yapılmış olmasıdır. Çünkü silindire kaplanacak seramik ile dökmedemirin genleşme katsayıları arasındaki yakınlık kaplamanın ömrünün uzun olmasını sağlayacaktır (H.A. Çelik 1991).

Araştırmacının yaptığı deneyde biri kaplamasız standard motor kafası, diğeri ise seramik kaplamalı olmak üzere iki adet silindir kafası kullanılmıştır. Kaplama yapılan silindir kafasında yanma odası yüzeyi ile emme ve egzost supablarının tablaları 0.5 mm. kalınlığında PSZ ile yalıtılmıştır. Uygulama emniyeti, kolaylığı ve işletme şartlarının bozulmaması için silindir kafasının yanma odası yüzeyi ve piston kafası da 0.5 mm. derinliğinde boşaltılmış ve üzerine PSZ kaplaması yapıp hassas taşlama ile kafa yüzeyleri düzeltilmiştir. Böylece standart motor ile aynı sıkıştırma oranını sağlayacak boyutlar kazandırılmıştır.

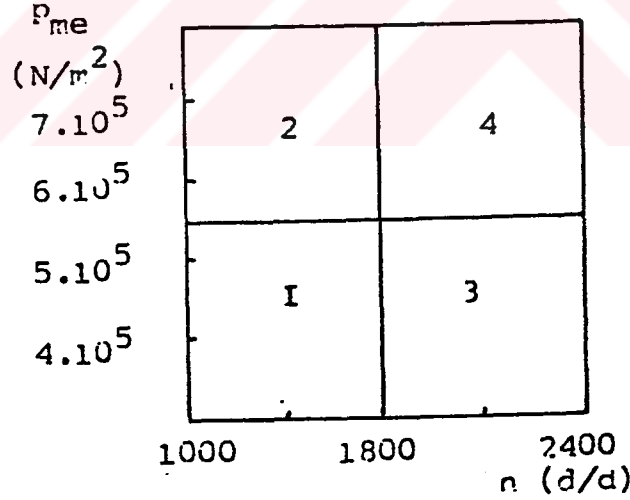
Yapılan deneysel çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve seramik kaplamanın ısı transferine etkisi aşağıda sunulmuştur.

Standart motor için kabul edilen ve uygulanan değerler ile bunların sonuçları, adyabatik motor ile aynı değildir. Motorda kısmen ısı yalıtımı yapılması cidar sıcaklıklarının artması ile, başta tutuşma gecikmesi süresinin azalması olmak üzere, yanma veriminin iyileşmesi, ilk hareket kolaylığı ve soğutma sistemi yükünün değişmesi ile standart motorun özellikleri değişmiş, kısacası başka bir motor olmuştur. Yanma

yumurta eğrilerinde adyabatik motorun standart motor ile mukayesesini özgül yakıt tüketimi cinsinden görmek mümkündür. 0.25 mm emme ve egzost supab ayarlı motorun yumurta eğrileri incelendiğinde minimum özgül yakıt tüketimi 1400-1800 d/d arasında ve ortalama efektif basıncı (P_{me}) 4.5×10^5 ve 5.9×10^5 N/m² arasındaki bölgelerde bulunduğu açıkça görülmektedir. Her iki motorun bu ortak özelliği özgül yakıt tüketimi yönünden karşılaştırıldığında, seramik kaplamalı motorun 1600-1850 d/d ve 4.5×10^5 - 5.7×10^5 N/m² değerlerinde 265 gr/kWh'lik özgül yakıt tüketimine karşılık standart motorda minimum 272 gr/kWh özgül yakıt tüketimi görülmüştür. Fakat bu alan 1700-1900 d/d ve 5.2×10^5 - 5.9×10^5 N/m² ortalama efektif basınçlarındaki daha küçük bir çalışma alanında bulunduğu görülmektedir. Özet olarak minimum özgül yakıt tüketimi açısından seramik kaplamalı motor, standart motora göre daha avantajlıdır.

Seramik kaplamalı motorun 272 gr/kWh' lik özgül yakıt tüketimi alanı standart motorda çok daha geniş bir çalışma alanına sahiptir.

Daha detaylı bir inceleme ve mukayese için şekil 5.2 'de gösterilen 4 ayrı bölge incelenir.



Şekil 5.2. Yumurta eğrilerine ait bölgeler

Birinci bölge düşük yük düşük devir, ikinci bölge yüksek yük düşük devir, üçüncü bölge düşük yük yüksek devir, dördüncü bölge yüksek yük yüksek devirdir. Birinci bölgede minimum özgül yakıt tüketimi merkezdedir. Seramik kaplamalı motorun bu bölgedeki avantajı önemlidir. Özgül yakıt tüketimi açısından bu bölgede standart motora göre oldukça iyi sonuçlar oluşmuştur. Supab boşluk değerleri değiştirilmiş bir motordan (emme 0.15, egzost 0.2 mm) alınan değerlerle çizilen şekil 5.3'e ait birinci bölge incelendiğinde yine bu bölgede seramik kaplamalı motorun özgül yakıt tüketimi açısından daha iyi olduğu görülür. Özellikle motor çalışmasındaki orta ve daha az yük ile devirlerde çalışma, stasyonier motorlar ya da çalışma aralığı bu alanlarda olan motorlar için dikkate değer bir fayda sağlar.

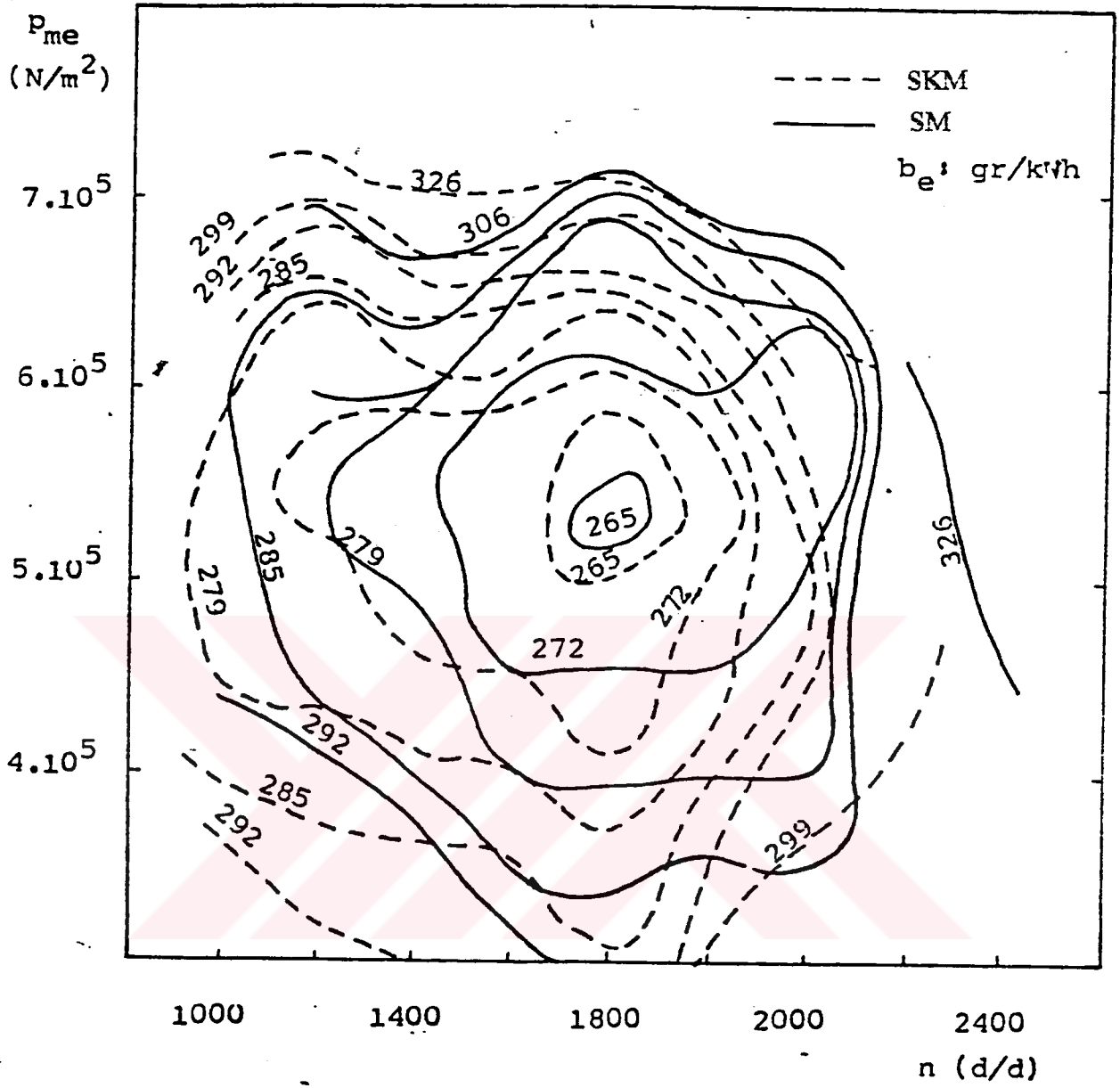
İkinci bölge incelendiğinde ise birinci bölgedeki avantaj merkezden başlayarak giderek azalır. Tam yük durumunda seramik kaplamalı motorda tamamen kötüleşme görülmektedir.

Üçüncü bölgede merkezden uzaklaştıkça seramik kaplamalı motorun özgül yakıt tüketiminde artma görülmekte hatta tam gaz durumunda kararsız bir çalışma göze çarpmaktadır.

Dördüncü bölgede, merkezde iyi olan kaplamalı motor, yük devri arttıkça özgül yakıt tüketimi açısından standart motor karşısında dezavantaj oluşturmaktadır. Değiştirilmiş supab ayarlı motorun değerleri orijinal supab ayarlı motorun özgül yakıt tüketimi değerlerine paralel bir değişme göstermektedir.

Özet olarak yumurta eğrileri üzerinde yapılan özgül yakıt tüketimine ait mukayesede iki ayrı supab ayar değeri ile iki ayrı deney yapılmış ve seramik kaplamalı motorun her iki deney şartlarında da birinci bölgede daha iyi , ancak ikinci, üçüncü, dördüncü bölgelerde merkezden uzaklaştıkça giderek daha kötü değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Seramik kaplamalı motor ve standart motorun deney anında ölçülen egzost gazı sıcaklıkları şekil 5.4'te gösterilmiştir. Egzost sıcaklığının değerlendirilmesi deney şartlarının durumu ile çok ilgilidir. İki motor tipinde de özellikle cidar sıcaklıklarının farklı olması, soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının özelliği ve supab ayar boşluğunun artması veya azalması (kaplama etkisi ile) supabın erken veya geç açılmasına sebep olmakta ve egzost gazı sıcaklığındaki gerçek yükselmeyi tesbit etmemizi etkilemektedir.



Şekil 5.3. SKM ve SM 'a ait değiştirilmiş supab ayarı sonunda elde edilen eş özgül yakıt tüketimi eğrileri

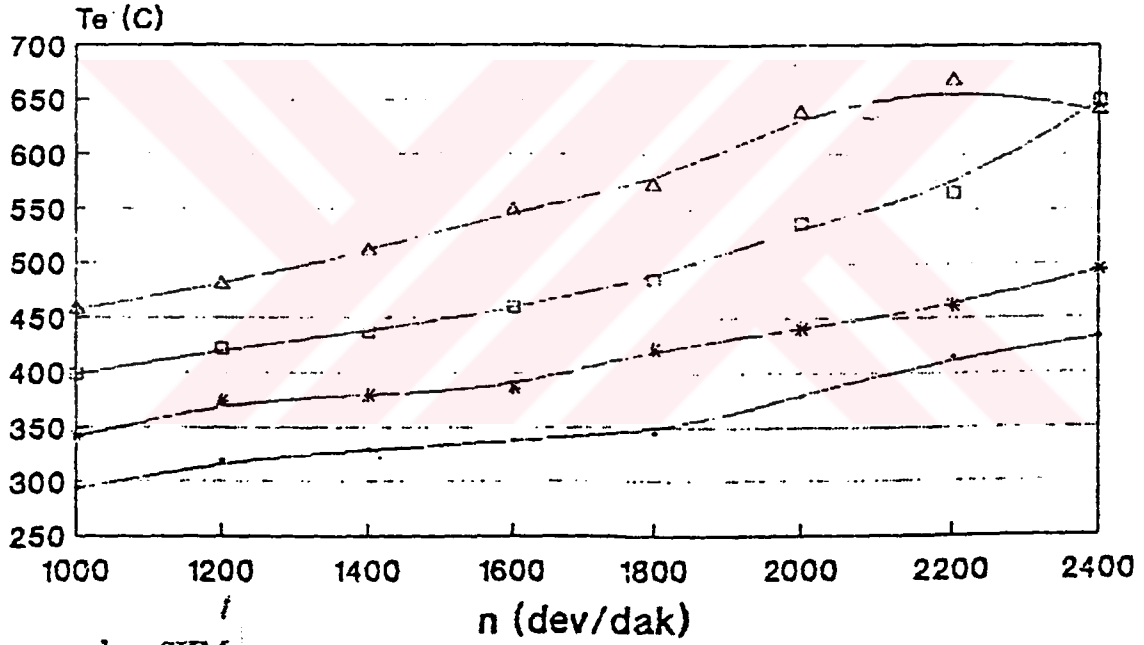
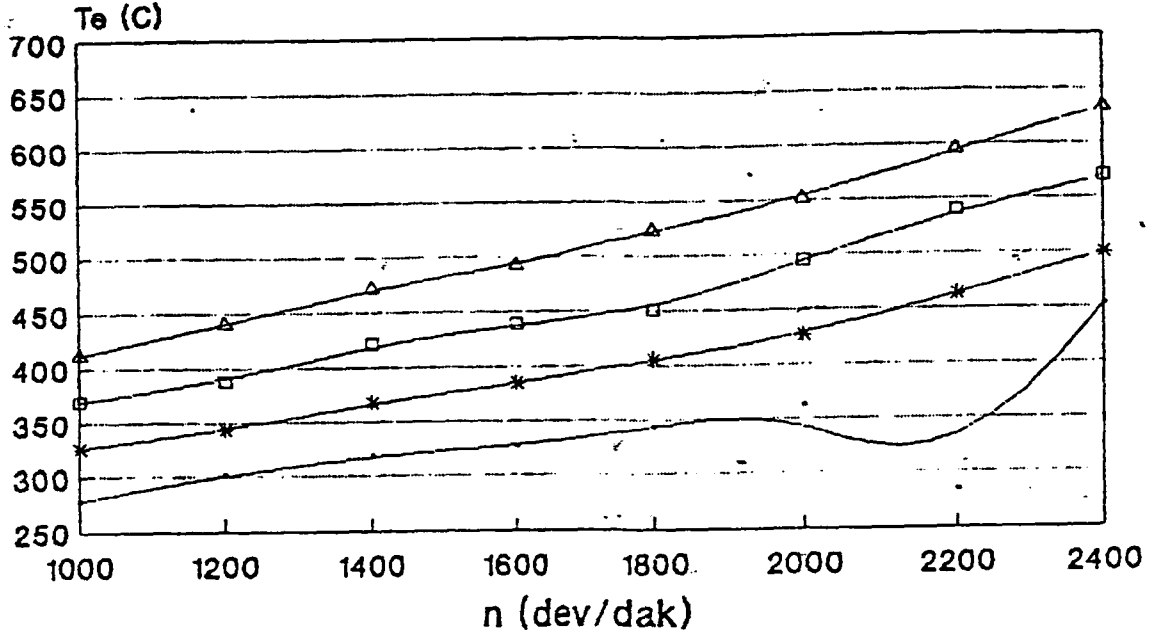
Eşit şartlarda yapılan deneyde seramik kaplamalı motorun daha yüksek egzost gazı sıcaklıklarına sahip olduğu görülmüştür. Motor devri ve yükü arttıkça bu fark belirginleşmektedir. Şekil 5.4'te egzost gazı sıcaklığının devir sayısı ile değişimi ve ortalama efektif basınç ile ilişkisi mukayeseli olarak grafik halinde gösterilmiştir. Seramik kaplamalı motor ve standart motorun deney sonuçlarına dayanılarak bilgisayar yardımı ile hesaplanmış değerler ve bunlara ait T_e-n , Q_e-n , P_e-n , b_e-n , $Q_{tr}-n$, $Q_{tr}\%-n$, Q_T-n , P_e-Q_e , $Q_e\%-n$ grafikleri sunulmuştur. Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'daki eğrilerde egzost sıcaklığı egzost enerjisi ve % egzost enerjisinin P_{me} (yük) ve devir arttıkça arttığı görülmektedir. Her iki diyagramda da görülmektedir ki devir arttıkça özellikle tam yükteki egzost gazı sıcaklığındaki ve enerjisindeki artış daha fazla olmaktadır.

Şekil 5.7 incelendiğinde motor devri arttıkça soğutmaya transfer edilen enerji miktarının arttığı ve bu artışın motor ortalama efektif basıncı ile (yük) doğru orantılı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi motorun devri arttıkça kullandığı enerjinin artması ve bu tüketilen enerjiden soğutmaya transfer edilen enerjinin de artmasıdır. Soğutmaya transfer edilen enerjinin % miktarı ile devir ilişkisini sunan şekil 5.8 ise motor devri arttıkça soğutmaya geçen ısının toplam enerjiye göre % olarak azaldığını ifade eder. Tamamen deney sonuçlarına dayanılarak yapıldığı belirtilen bu hesaplamaların ve bilgisayar çıktılarının daha önce yapılan çeşitli araştırmalara paralellik gösterdiği açıklanmıştır. Belirtilen araştırmalarda, standart motor için ifade edilen % ısı kaybı azalmasının motor devri arttıkça azalması seramik kaplamalı motorda da görülmektedir.

Şekil 5.9'da b_e-n ilişkisi düzeltilmiş bir ifade ile düşük ve yüksek motor devirlerinde özgül yakıt tüketimi fazla, orta devirlerde ise minimum seviyededir.

Şekil 5.10'daki toplam enerji ve devir ilişkisini ifade eden Q_t-n grafiği, görüldüğü gibi motor ortalama efektif basıncı ve devir arttıkça artan eğriler şeklindedir.

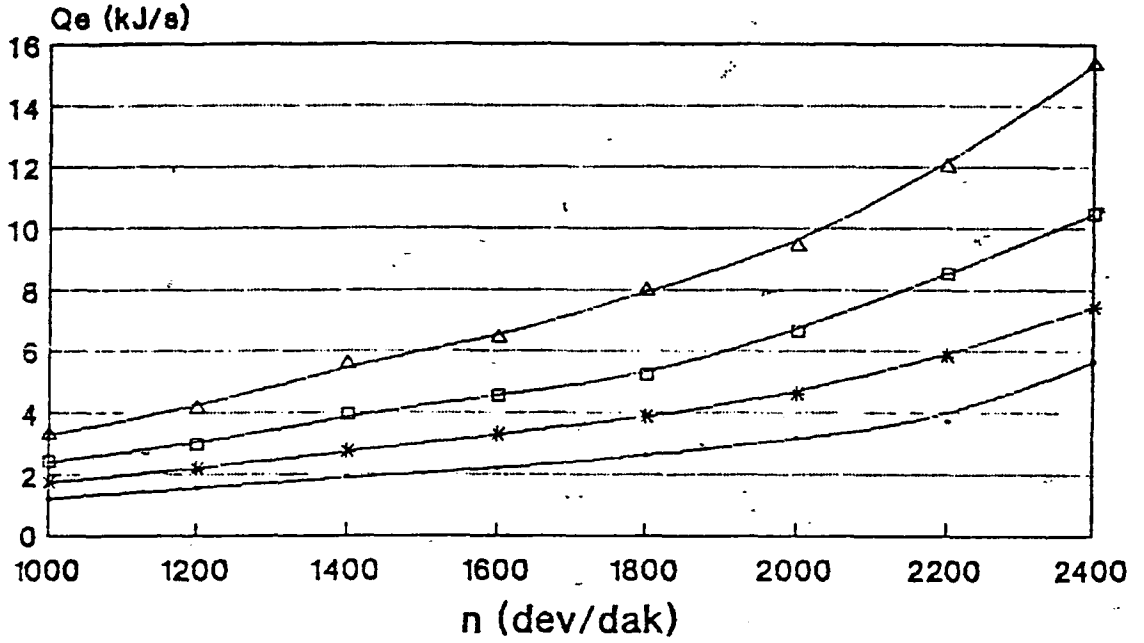
Şekil 5.11' de P_e-n ilişkisi yük ve devir artışıyla orantılı olarak lineer bir artış göstermektedir. Ancak artış hızının devir arttıkça daha fazla olduğu görülmektedir.



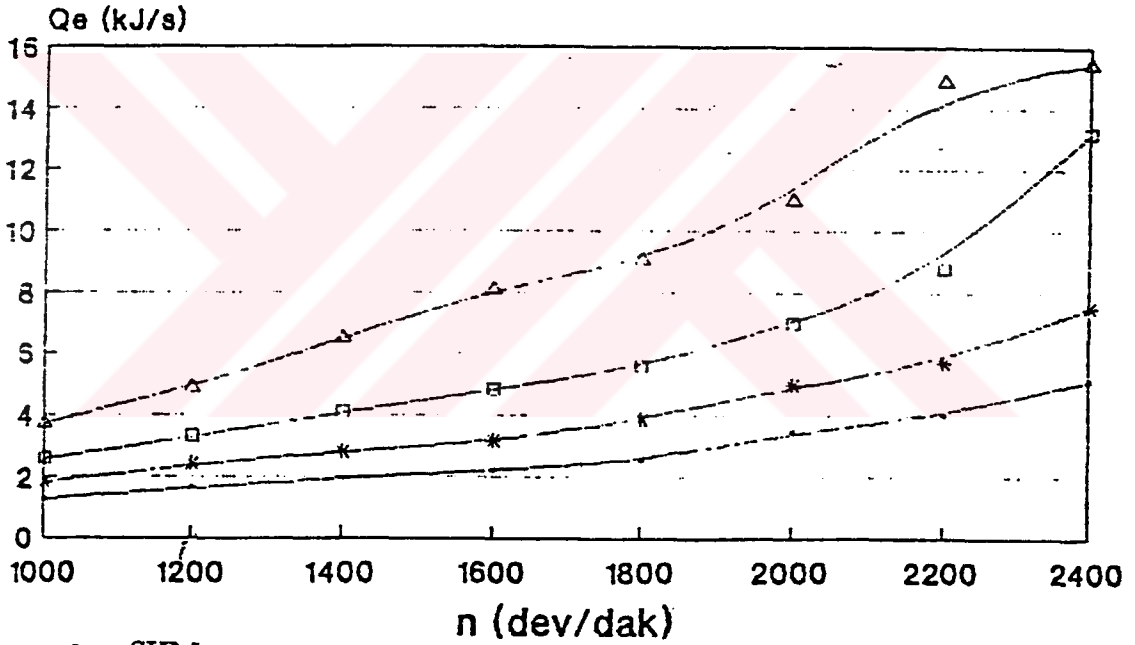
— Seri 1 * Seri 2 □ Seri 3 △ Seri 4

1. 65 N (düşük yük)
2. 80 N
3. 100 N
4. 115 N (tam yük)

Şekil 5.4. Sabit P_{me} şartlarında motor devrine bağlı olarak egzost sıcaklığının değişimi.



a- SM



b- SKM

— Seri 1 * Seri 2 □ Seri 3 ▲ Seri 4

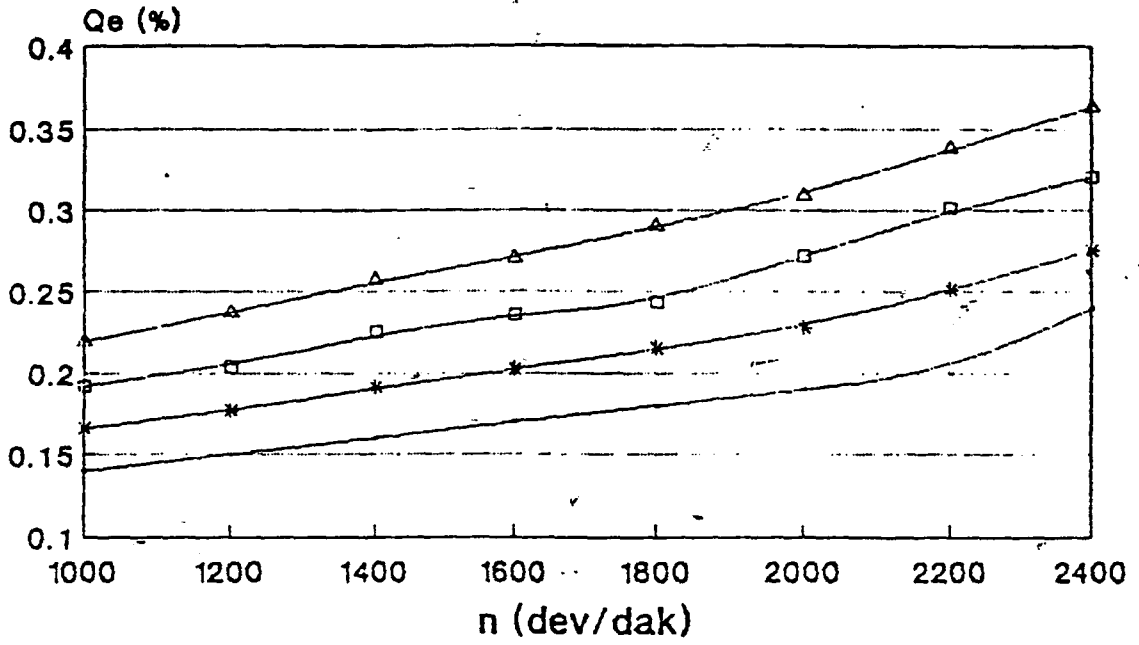
1.65 N (düşük yük)

2.80 N

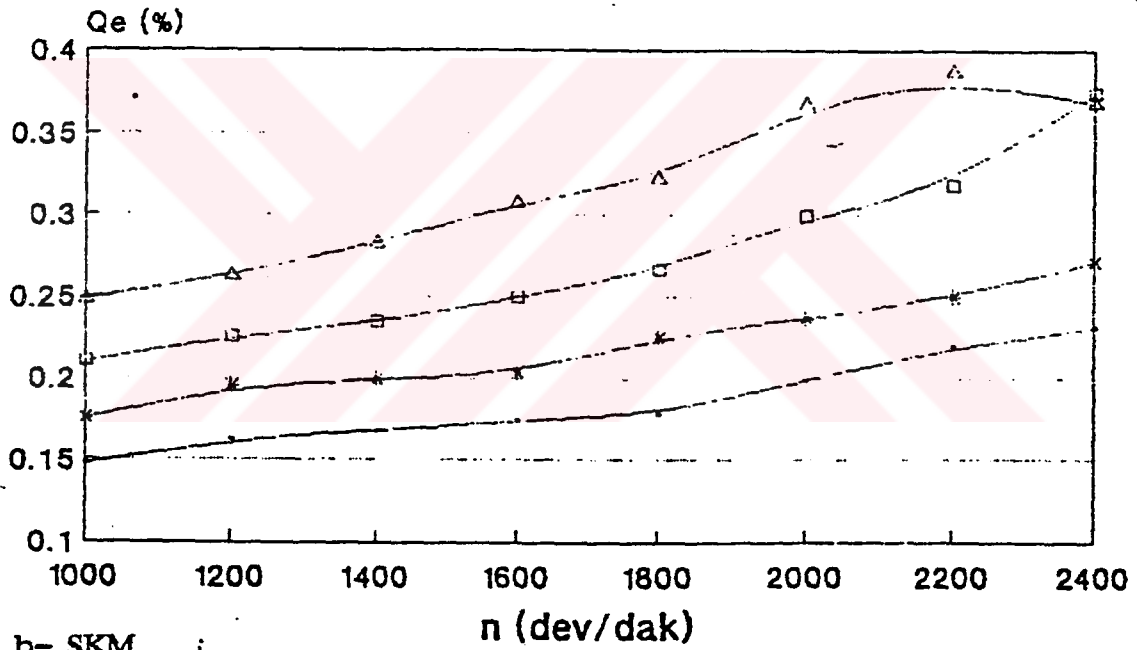
3.100 N

4.115 N (tam yük)

Şekil 5.5. Sabit Pme şartlarında motor devrine bağlı olarak egzost enerjisinin değişimi.



a-SM



b-SKM

— Serl 1 * Serl 2 □ Serl 3 ▲ Serl 4

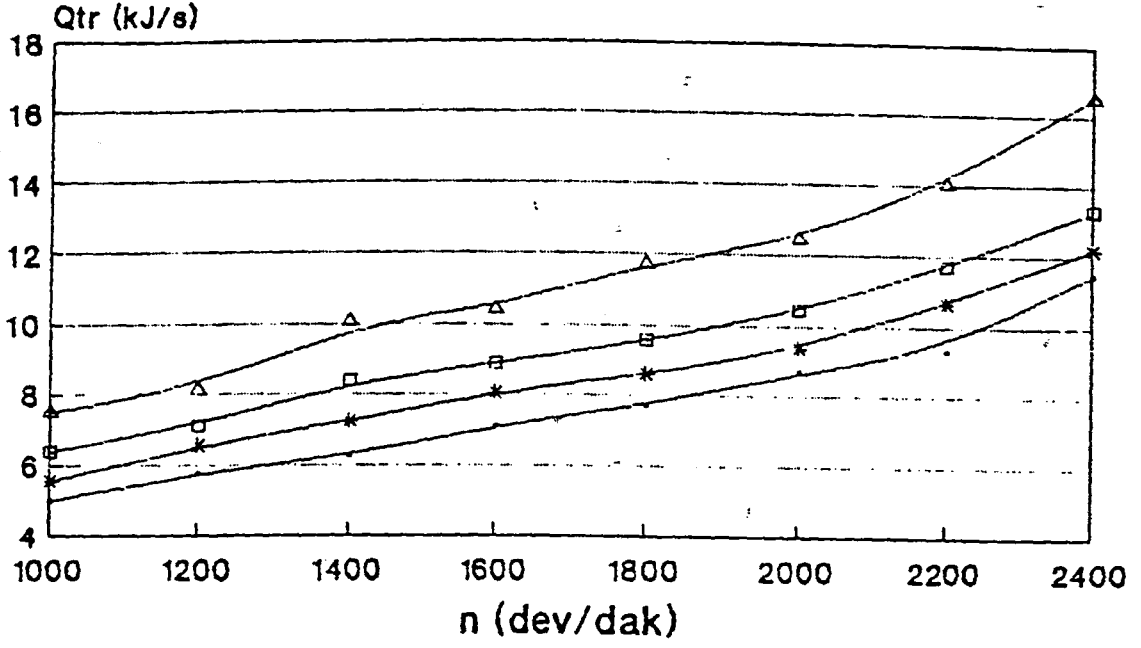
1. 65 N (düşük yük)

2. 80 N (

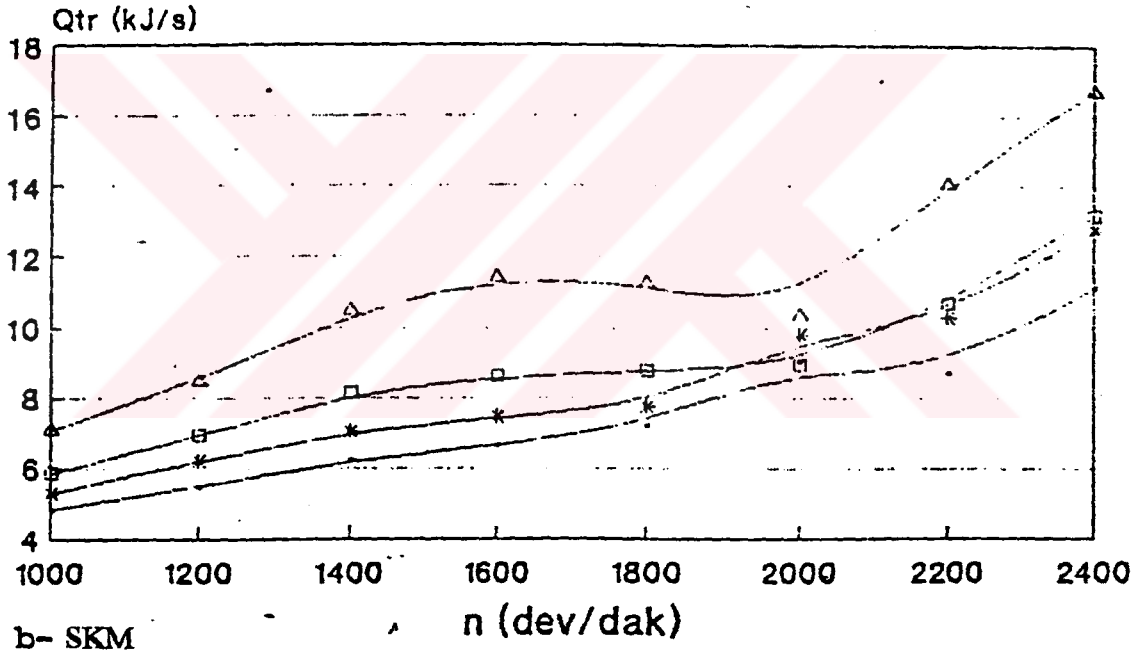
3. 100 N

4. 115 N (tam yük)

Şekil 5.6. Sabit P_{me} şartlarında motor devrine bağlı olarak % egzost enerjisinin değişimi.



a-SM



b- SKM

— Seri 1 * Seri 2 □ Seri 3 ▲ Seri 4

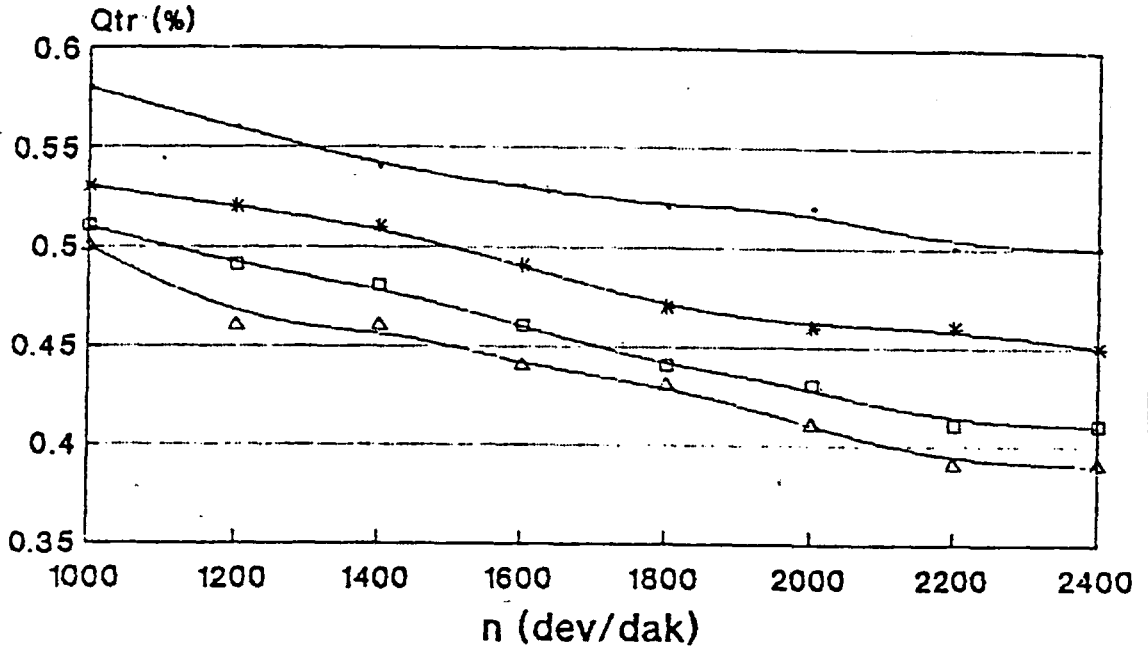
1. 65 N (düşük yük)

2. 80 N

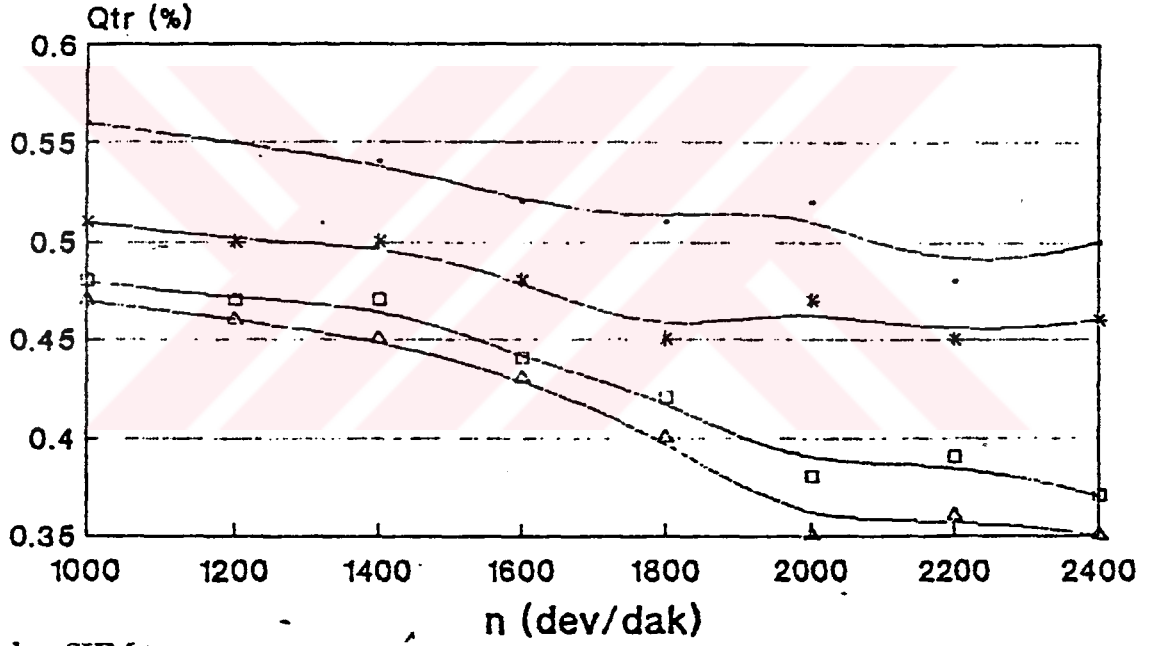
3. 100 N

4. 115 N (tam yük)

Şekil 5.7. Sabit Pme şartlarında motor devrine bağlı olarak soğutmaya transfer edilen enerjinin değişimi.



a-SM



b- SKM

— Serl 1 * Serl 2 □ Serl 3 ▲ Serl 4

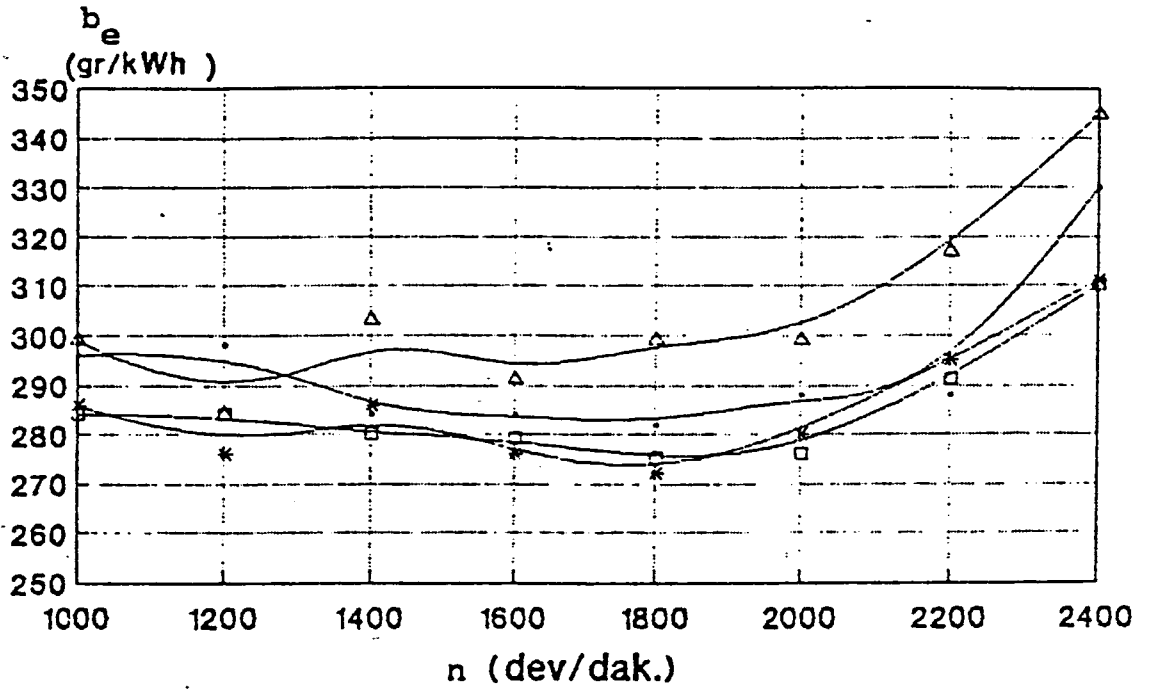
1. 65 N (düşük yük)

2. 80 N

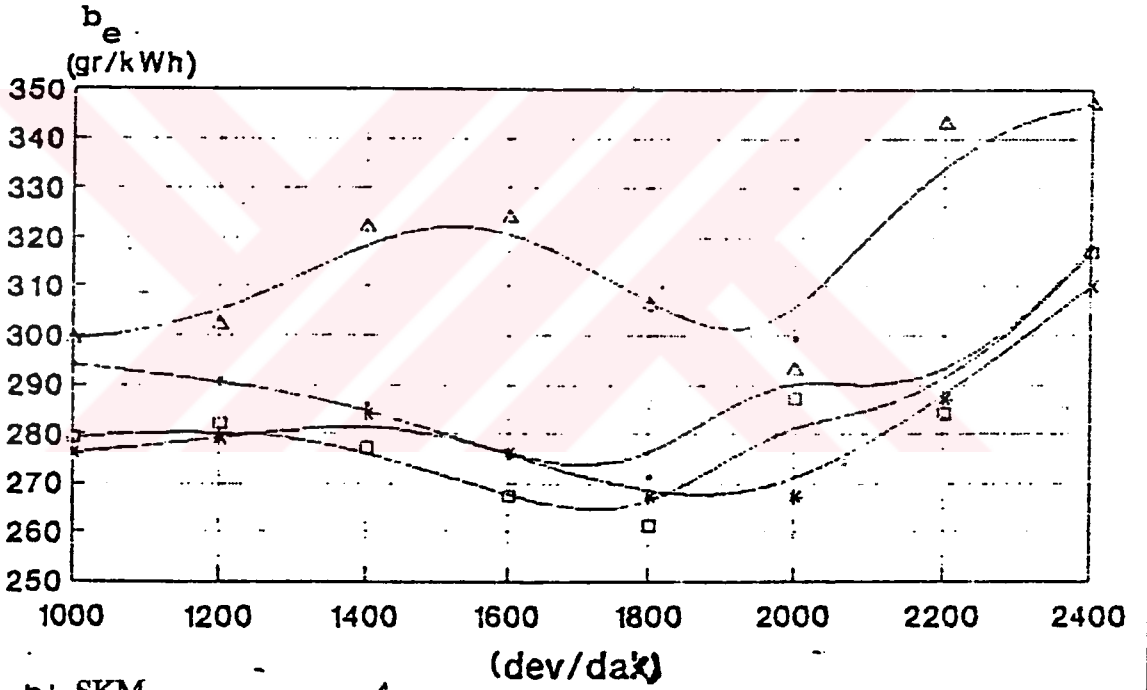
3. 100 N

4. 115 N (tam yük)

Şekil 5.8. Sabit Pme şartlarında motor devrine bağlı olarak soğutmaya transfer edilen enerjinin oransal olarak değişimi.



a-SM

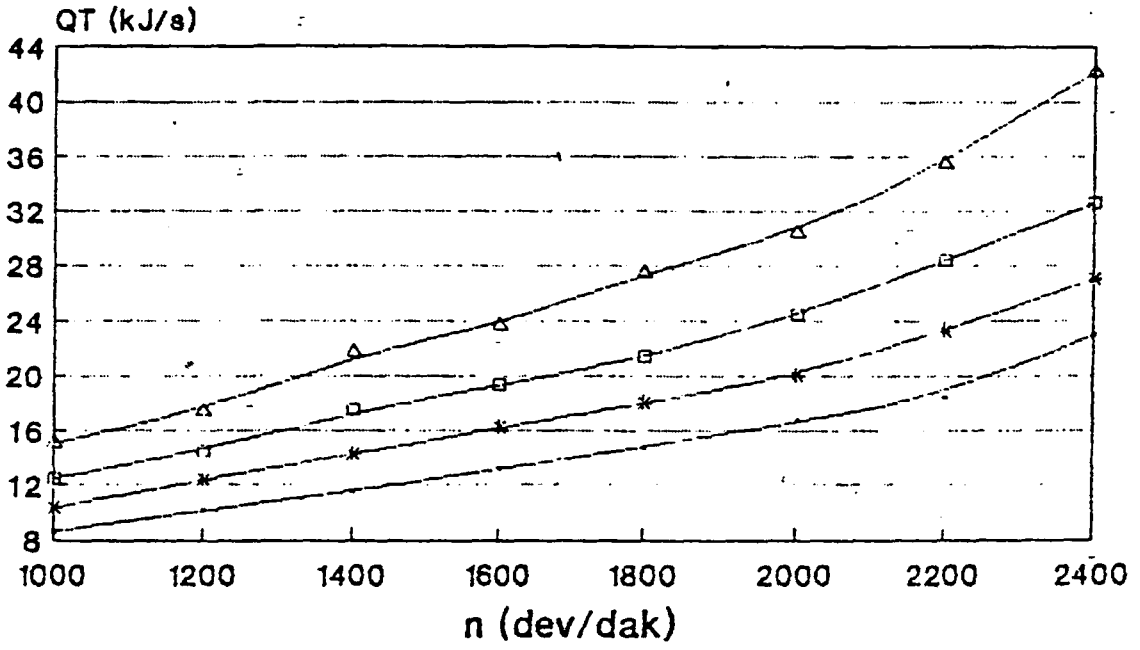


b-SKM

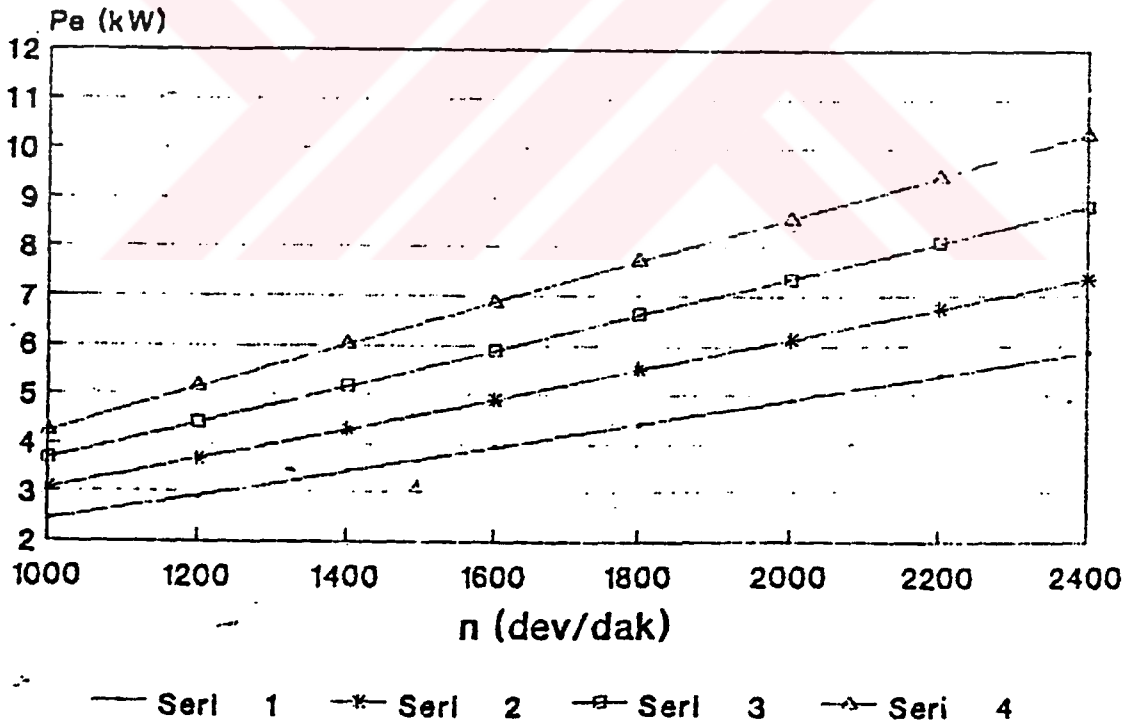
— Seri 1 —*— Seri 2 —*— Seri 3 —▲— Seri 4

1. 65 N (düşük yük)
2. 80 N
3. 100 N
4. 115 N (tam yük)

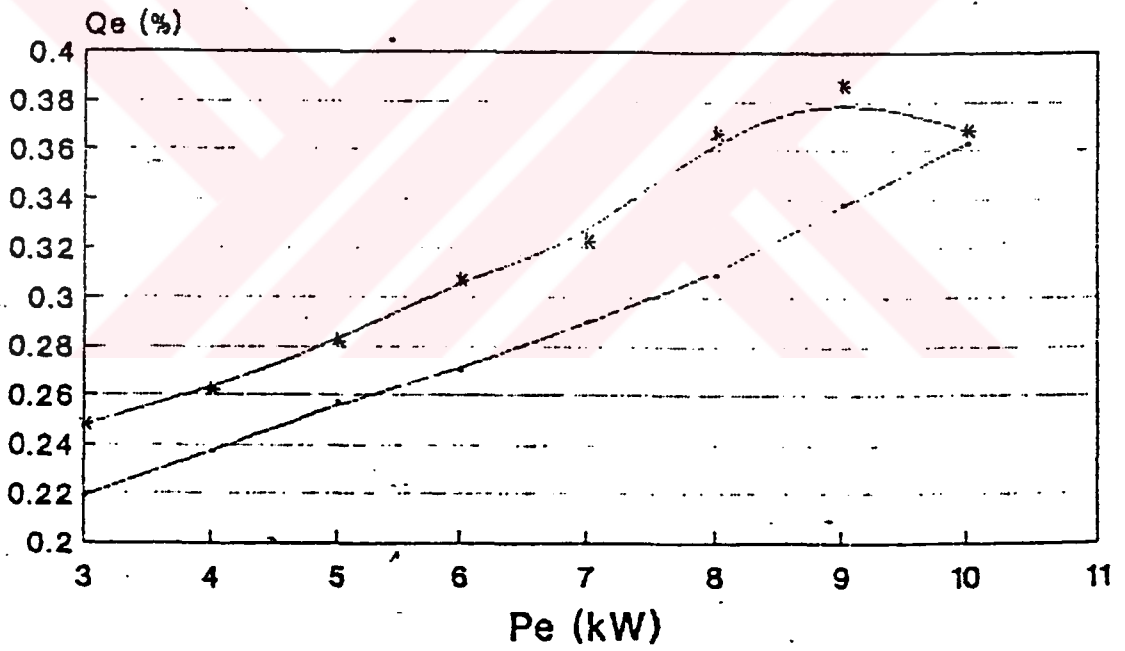
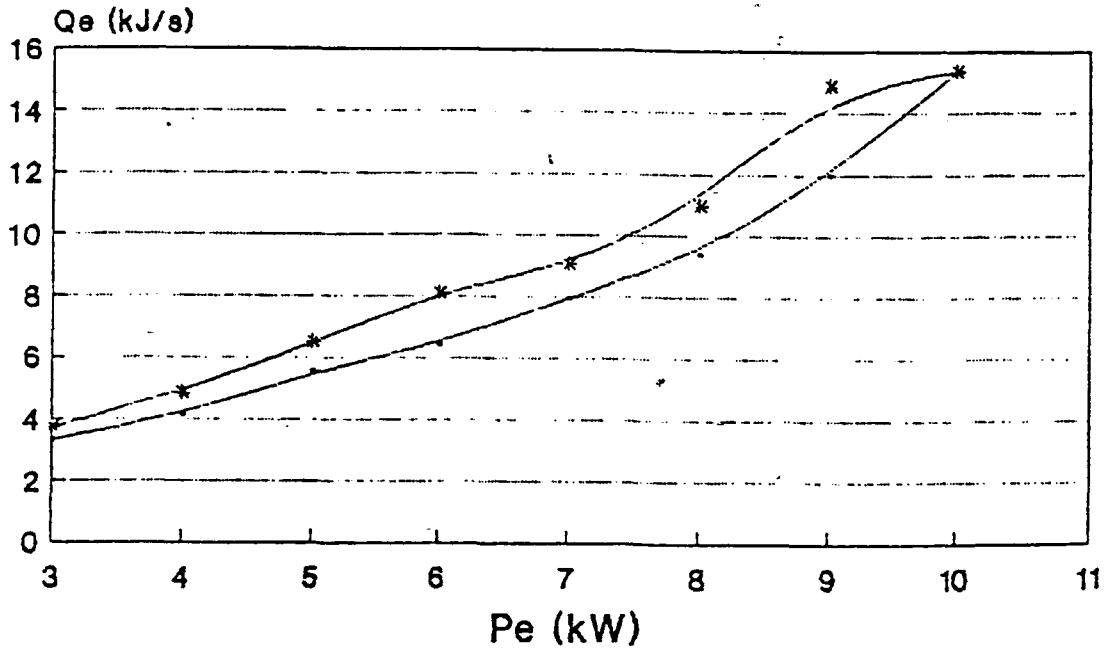
Şekil 5.9. Sabit Pme şartlarında motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimi.



Şekil 5.10. Toplam enerjinin motor devri ile değişimi



Şekil 5.11. Motor efektif gücünün motor devri ile dört ayrı yükte değişimi

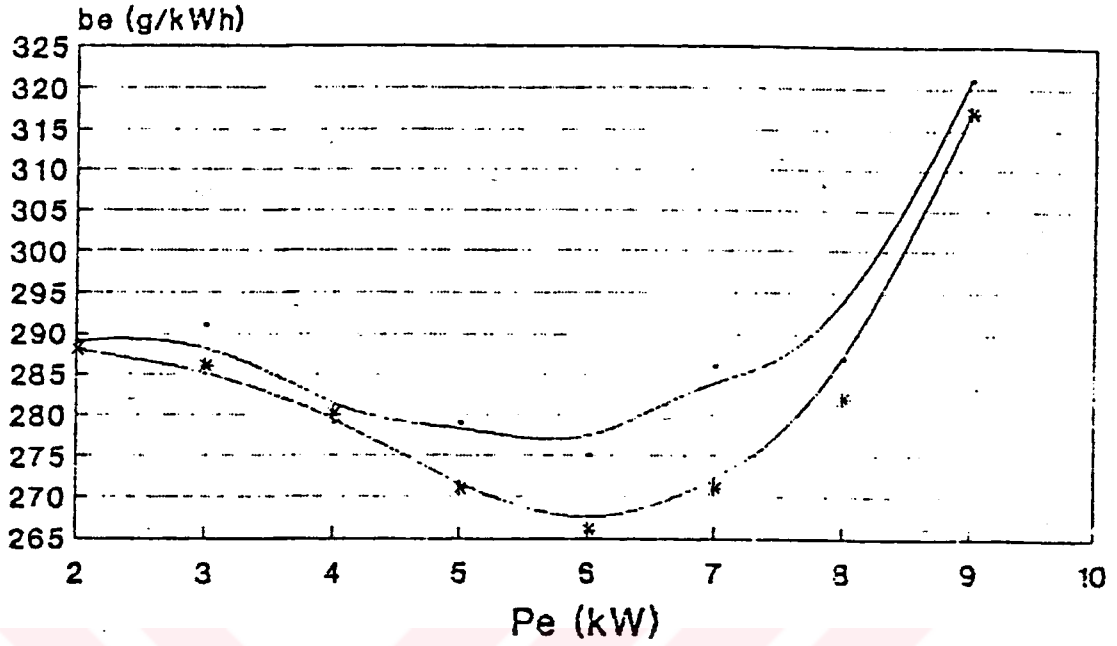


— Serl 1 * Serl 2

1. SM'un düşük yükteki durumu

2. SKM'nin düşük yükteki durumu

Şekil 5.12. Egzost enerjisinin sabit ortalama efektif basınçlarda motor gücü ile değişimi



— Seri 1 * Seri 2

1. SM'un düşük yükteki durumu
2. SKM'nin düşük yükteki durumu

Şekil 5.13. Özgül yakıt tüketiminin sabit ortalama efektif basınçta motor gücüyle değişimi

Toplam enerjinin artması nedeniyle egzosta giden enerjinin, transfer edilen enerjinin ve motor gücünün artacağı diyagramlarda görülmektedir.

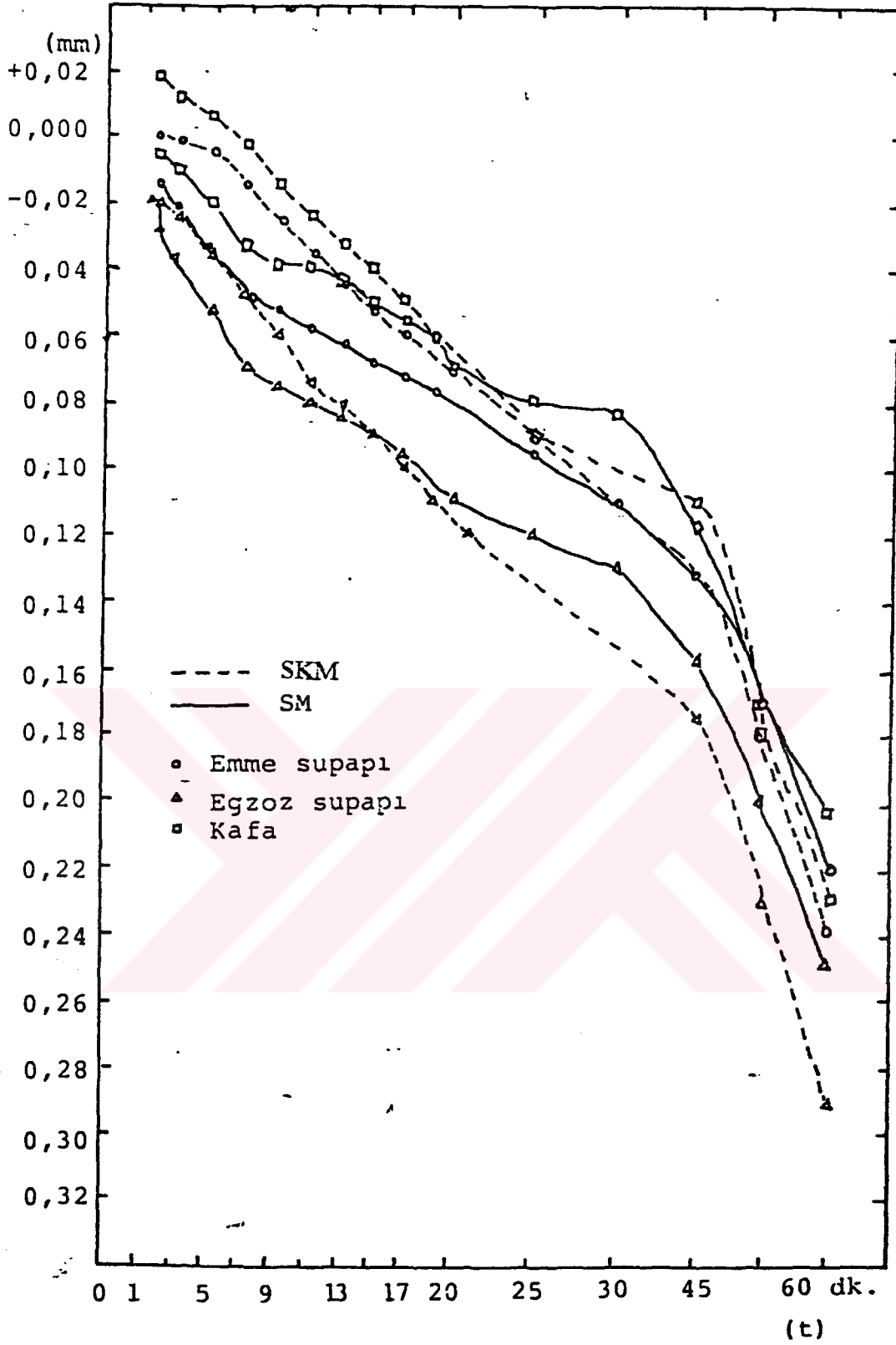
Şekil 5.12'de motor gücü arttıkça egzost enerjisi Q_e 'nin arttığı görülmektedir. Şekil 5.13'de ise efektif güç ve özgül yakıt tüketimi arasındaki ilişkiyi ifade eden Pe - be eğrisi görülmektedir. Bu eğri genel olarak ortalama efektif basınca çok bağlı olmakla birlikte herhangi bir yük konumu için değerlendirildiğinde, minimum ve maksimum motor gücü arasındaki bir noktada minimum özgül yakıt tüketimi değerine rastlandığını göstermektedir. Bu bölgede, stasyonær ve ya sınırlı aralıklarda çalışabilecek motor için önemli ekonomik faydanın sağlanacağı ifade edilebilir. (H.A. Çelik, 1991).

Ortalama gaz sıcaklığı (T_g), gaz cidarı sıcaklığı ve soğutucu cidar sıcaklığı gibi değerlerin tesbit edilmesi, deney anında ölçülen su giriş ve su çıkış sıcaklıkları, debisi ve silindir kafası içerisinden alınan T_d değerlerinin kullanılmasıyla gerçekleşmiştir. Bu değerler ısı transferi denklemlerine uygulandığında standart motor ve seramik kaplamalı motora ait genel mukayese değerleri şekil (4.3b)'de verilen eğrilerle ifade edilmiştir. Burada T_d noktası referans noktalarından biridir. Seramik kaplamalı motorun yalıtım tabakasının altında görülen daha yüksek sıcaklık (standart motora göre), kaplama etkisiyle sağlanan gaz cidarı sıcaklığı sebebiyledir. Normal olarak T_d sıcaklığının seramik kaplamalı motorda daha düşük olacağı tahmin edilir. Bu noktanın optimum değer alma noktası olmadığı düşüncesi ile yorum yapılırsa mukayesede de aynı farkları sağlanması beklenir. Şekil (4.3b)'de sunulan eğri ve bulunan değerler gerçekte iki farklı özellikteki motora uygulanan aynı deney şartlarının sonuçlarıdır. Yani kaplamayla motordaki işletme ve dizayn parametreleri değişikliğe zorlanmıştır.

Şekil (4.4)'de metal ve seramik tabakanın fiziksel özellikleri değerlendirilerek bu motor için verilen basit bir şematik yaklaşım sunulmuştur. Görüldüğü gibi sonuçlar ısı kayıplarını azaltıcı niteliktedir. Deneyde yanma odası gaz sıcaklığı ve cidar sıcaklığı standart motorda olduğu gibi kabul edilirse bu ifadenin isabetli olduğu kabul edilecektir.

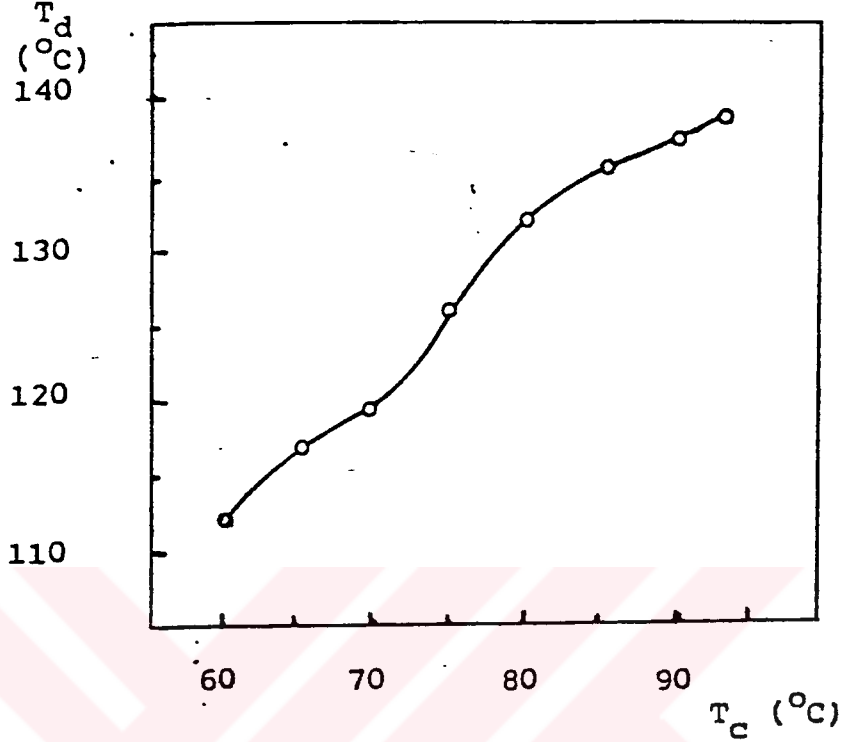
Araştırmacının yaptığı çalışmada supab ayar boşlukları ile mekanizmasının, yük ve devire bağlı olarak motor sıcaklığı etkisiyle nasıl bir değişikliğe uğradığı da şekil 5.14'deki grafikte gösterilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız motorlara ait deney sonuçları incelendiğinde kaplamalı motorun egzost ve emme supabları ile silindir kafasının daha fazla uzadığı görülür. Teorik olarak bilinir ki bu olay sıcaklık farkından kaynaklanmaktadır.

Yapılan deneyde ölçülen T_d değerinin T_c ile değişimi şekil 5.15'deki eğri ile gösterilmiştir. Seramik kaplamalı motor için literatürde ifade edilen volümetrik verim üzerinde supab mekanizmasının önemli etkisi olduğu belirtilmektedir. Şekil 5.16'da görüldüğü gibi supab mekanizmasındaki değişikliğin bir sebebi de cidar sıcaklığı

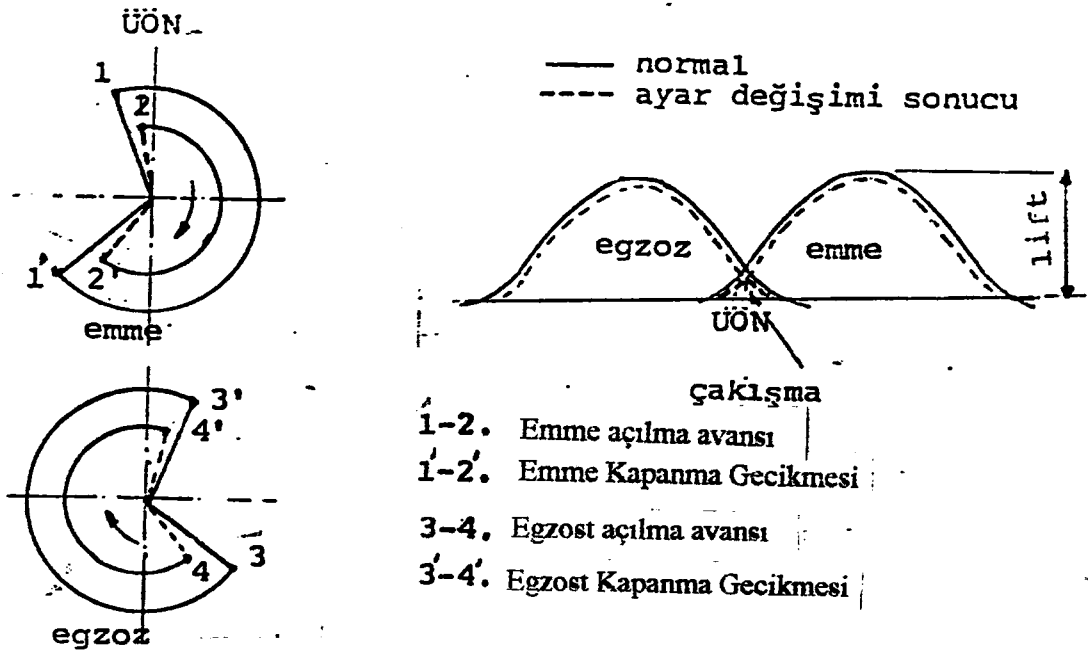


Şekil 5.14. SKM ve SM'un 1200 d/d' da ve $5 \cdot 10^5$ N/m² 'de çalışması sırasında emme ve egzoz supabı ile silindir kafasındaki büzülme miktarları ve hızı

sebebiyle oluşan sıcaklık farkı değişimi ve voltümetrik verimdeki azalmadır. Sonuç olarak dizayn parametreleri kaplamalı ile kaplamasız motoru farklılaştırır ve yeni işletme parametrelerini gerektirir



Şekil 5.15. Silindir kafasından temkulla alınan T_d sıcaklığının soğutma suyu çıkış sıcaklığı (T_c) ile değişimi



Şekil 5.16. Supab mekanizmasında sıcaklık etkisiyle meydana gelen değişim

İçten yanmalı motorların yanma odalarında yapılan seramik kaplamanın amacı ısı kayıplarını azaltmaktır. Araştırmacının yaptığı literatür çalışmalarında yanma odasındaki ısı kaybı her bir eleman için aşağıda gösterildiği gibi tesbit edilmiştir.

<u>Parçalar</u>	<u>Soğutma Kayıpları (%)</u>	<u>Hedeflenen Isı Azalması Oranı (%)</u>
Piston	27	75
Silindir Gömleği	40	35
Silindir Kafası	20	75
Egzost Portu	9	90
Diğerleri	4	75
Motor Toplamı	100	60

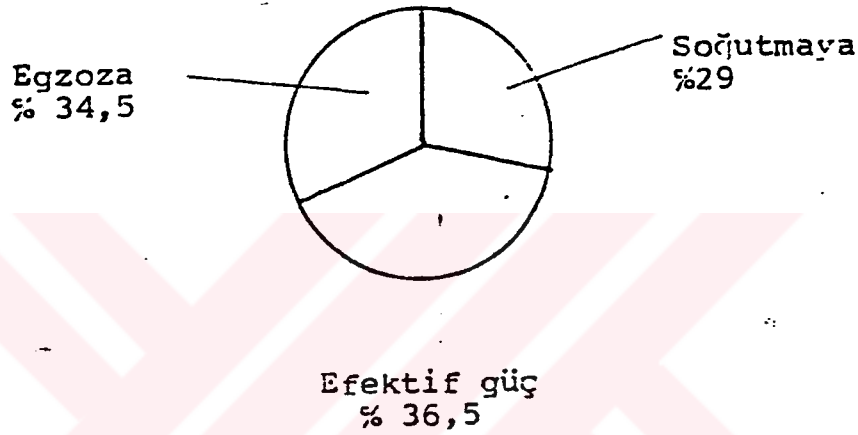
Yapılan deneyde karşılaşılan en önemli zorluğun alüminyum alaşımli piston üzerine zirkonya tabakasının emniyetli ve sürekli tutturulması olduğu belirtilmiştir. Termal genleşme katsayıları arasındaki büyük fark kaplama başarısını engeller. Bağlayıcı tabaka ve kaplama kalınlığı motor çalışması sırasında, kaplamanın mukavemeti ve başarısını oldukça fazla etkiler. Hatta bu etkinin kaplama tekniği ile de alakalı olduğu ifade edilmektedir. Çalışmadan sonra, belirtilen bu gibi olumsuzluklardan dolayı motor pistonunda özellikle yanma hücresi ve tepe yüzeyinin orta kısımlarından kaplamanın tamamen koptuğu açıklanmıştır. Silindire yakın olan yaklaşık 1 cm'lik çember şeklindeki kısımda ise kopmanın meydana gelmemesi ve silindir cidarına yakın kısımdaki kopmanın kısmi olması, bu bölgede ısı iletiminin daha iyi olması ile termal genleşme farkının aşırı artmasına bağlanmaktadır. Diğer kısımlardaki kopma ise bağlayıcı tabakanın etkisizliği ve termal uyumsuzluğun belirtisidir. Bir başka pistonla yapılan çalışmada yanma hücresi kenarlarındaki sıcak kısımda kopmalar, yüzeyde ise mikro çatlaklar görülmüştür. Çalışmaya, kaplanmamış piston ve supablar ile kaplanmış silindir kafası yüzeyi kullanılarak devam edilmiştir. 100 d/d'dan 2600 d/d'ya kadar bütün yük ve devir aralıklarında yaklaşık 90 saatlik motor çalışma sonrasında silindir kafa yüzeyi kaplamasında oldukça başarılı

sonuçlar elde edilmiş emme supabı üzerinde mikroçatlaklar, egzost supabında ise daha belirgin çatlak ve kısmi deformasyon tesbit edilmiştir. (H.A. elik, 1991)



6. SERAMİK KAPLAMALI MOTORDAKİ ISI TRANSFERİ

Motor silindirleri içinde yakılan enerjinin dağılımı ve faydalı miktarının artırılması içten yanmalı motorlar için önemli bir hedefdir. Toplam enerjinin bir kısmı faydalı güç olarak kullanılırken, bir kısmı egzosttan bir kısmı da soğutucu ile atmosfere atılır. Standart bir diesel motor için enerji dağılım dengesi faydalı enerji (Pe) %36.5, egzost enerjisi %34.5, soğutucu enerjisi %29 civarındadır. Şekil 6.1'de bu enerji dağılımı gösterilmektedir. Enerjinin bir kısmı eksik yanma, yağlama yağı ve artık kayıplar şeklinde kaybolur. (H.A.Çelik,1991)



Şekil 6.1. Standart bir diesel motora ait enerji dengesi

Silindirdeki gazların çok hızlı hareketlerinden ve sürekli sıcaklık ve yüzey alanı değişimlerinden dolayı, silindirlerden çevreye olan ısı transfer hızı her an değişmektedir. Sistemdeki ısı iletimi ile buna etki eden faktörleri tam olarak formülize etmek mümkün değildir. Bir diesel motoru için alınan sonuçlar bir başka motor için geçerli olmayabilir.

Motordaki ısı transferinin büyük bölümü zorlanmış konveksiyonla meydana gelir. Ancak özellikle yanma ve genişleme periyodu esnasında radyasyonla ısı transferi de önem kazanır. Motor yanma alevlerinden elde edilen radyasyon araştırmaları göstermiştir ki, alevin yayılma özelliği zamana, karışım oranına, yakıt tüketimine, mevcut vuruş miktarına bağlı olarak hem dalga boyu dağılımı hem de toplam yoğunluk bakımından değişir. Araştırmalar göstermiştir ki radyasyonla olan ısı kaybı

%5 ile 1 arasında olabilir. Bazı kaynaklarda bu oran % 20'ye kadar artsa bile hesaplamalarda önemli bir etkiye sahip olmadığı ifade edilir.

Motorlarda gaz tarafındaki ısı akış oranı ve akış sisteminin geometrisi düzensizdir. Gaz sıcaklıkları sistemdeki krank mili pozisyonuna bağlı olarak geniş bir şekilde ve periyodik olarak değişir. Duvarların iletkenliği iç ve dış yüzeylerdeki birikmiş olan yağ, karbon ve diğer madde miktarları ile bölgesine göre değişir. Yüzey sıcaklıkları hem gaz hem de soğutucu tarafında noktadan noktaya düzensiz olarak değişir. Isının bir kısmı piston sürtünmesinden dolayı silindir gömleğine taşınır ve silindir cidarlarında ısı akışı daha sıcaktan daha soğuğa doğrudur. Yukarıdaki düşünceler gösterir ki motorlardaki ısı akışı çok önemli ve karışık yönlü bir problemdir.

Bir diesel motorunda soğutucuya geçen ısı benzer bir benzin motorundakinden daha azdır ve efektif güç daha büyüktür. Soğutmaya giden enerjinin yaklaşık %8 kadarı yanma, %6'sı genişleme, %9'u egzost periyodunda kaybedilir. Belirtilen bu kayıpların önemli bir kısmı faydalı hale getirilebilir. Örneğin tam gazda yanma periyodunda kaybedilen %8'lik enerjinin %55'i tekrar faydalı hale getirilebilir. Sonuç olarak toplam faydalı enerjide %51.4 kadar bir yükselme beklenebilir. Bu değerler bir diesel motorunun %30 hava fazlalığı ile çalışmasına göredir. Hava fazlalığının daha büyük olduğu düşük yüklerde soğutucuya ısı geçişi daha az olacaktır.

Standart içten yanmalı motorlarda yanma odasındaki elemanlardan ısı transferi özellikle piston, segman ve silindirler yoluyla olmaktadır. Bir miktar ısı yağlama yağına etki etse bile bu etki piston sürtünmesi ile oluşan ısı ile eşit kabul edilir. Diğer etkili ısı transfer yolu silindir kafası yüzeyi ve supablardır. Hacim ve alan olarak ısı geçiş oranını ifade etmek kolay değildir. Çünkü silindir hacmi ile yanma gazlarının temas alanı ve soğutucu temas alanı piston AÖN'da bulunduğu sırada oldukça büyüktür. Kafa yüzeyi, gaz ve soğutucu temas alanı ise daha az değerdedir. Burada silindirdeki ısı kayıplarının çok büyük kısmının silindir gömleği yoluyla iletildiği tahmin edilebilir. Halbuki yanma olayı piston ÜÖN'ya yakınken cereyan eder ve maksimum sıcaklık ile basınç bu bölge civarında oluşur. Dolayısıyla hava hareketi, yanma hızı ve alev oluşumu dikkate alınır, piston ÜÖN bölgesindeyken silindir kafa yüzeyi gaz ve soğutucu alanı ile, silindir-piston gaz ve soğutucu temas alanı çok büyük farklılık göstermez. Böylece ısı kaybı oranlaması için tam bir oranlama yapılması çok zordur. Yük azaldıkça ortalama alev

sıcaklığı azalması sebebiyle termik verim gittikçe artmakta, yük azaldıkça soğutmaya geçen ısı miktarı biraz artmaktadır.

Herhangi bir sistemden ısı geçişi termodinamiğin ikinci kanununa göre işler. Fourier'inde ifade ettiği gibi ısı enerjisi daima daha sıcaktan daha soğuğa doğru akar ve bu akış sıcaklıklar eşit oluncaya kadar devam eder.

Isı geçiş miktarı ne olursa olsun içten yanmalı motorlarda ısı iletimi radyasyon, konveksiyon ve kondüksiyonla meydana gelir. Isı transferi ne çeşit ve nereden olursa olsun bir ısı iletimi katsayısı kullanılarak hesaplanır.

Silindir içinde gaz ortamından yayılan ısı gaz sıcaklığını (T_g) arttırdığı gibi, oradan silindir cidarına (T_{sg}) belli bir ısı iletim katsayısı ile (hg) geçer. Gaz cidarından ısı / kalınlığını, k ile ifade edilen bir ısı iletim katsayısı değeri ile, cidardan soğutucu akışkana hc ile ifade edilen bir ısı iletim katsayısı ile geçer. Isı iletim katsayısı genellikle ampirik ifadelerle tesbit edilip konveksiyon ve radyasyonun ortak etkisini taşır.

Araştırmacılar tarafından değişik parametrelere dayanan ısı iletimi katsayıları türetilmiştir. Bunlar silindirdeki gaz hızına, ortalama piston hızına, ortalama çevrim gaz basıncına, ortalama çevrim sıcaklığına, silindir çapına ve bazı çarpım faktörlerinin birkaçının etkisine bağlıdır. Woschni, Hütte, Nusselt, Van Tyen, Brillling, Eichelberg eşitikleri sayılabilir.

Woschni'nin gazlardan cidara geçen ısı iletimi hesaplamalarında kullanılan model için geliştirdiği ısı iletim katsayısı aşağıda ifade edilmiştir.

$$hg = 0,0136.a. (V_g \cdot p)^{0,8} / (b^{0,2} \cdot T^{0,547}) \quad (6.1)$$

hg : Isı iletim katsayısı

P : Basınç

b : Silindir Çapı

T : Sıcaklık

V_g : Ortalama gaz hızı

a : Çarpım faktörü

Nusselt'in geliştirdiği ifade ise:

$$hg = (P^2 \cdot T)^{1/3} \quad (6.2)$$

P : Yanma odası basıncı

T : Yanma odası sıcaklığı

Van Tyen ve N.R. Brilling ise Nusselt'in eşitliğini ortalama piston hızı ve çarpım faktörü ilavesi ile kullanmıştır.

Isı transferini ölçmek için geliştirilmiş bir aparat kullanıldığında deney sonuçlarının korelasyonu için aşağıda ifade edilen formül kullanılabilir.

$$\frac{h.l}{k} = c \cdot \left(\frac{G.l}{\eta_{go}} \right)^n \cdot \left(\frac{Cp \cdot \eta_{go}}{k} \right)^m \quad (6.3)$$

l : Geçişin karakteristik boyutu

k : Isı transferi akış katsayısı

G : Akan gaz kütlesi

η : Sıvı vizkozitesi

Cp : Sabit basınçta sıvı özgül ısısı

η_{go} : Kuvvet-kütle-ivmelendirme sabiti

c, n, m : Akış rejimi ve sistemin geometrisine bağlı boyutsuz sabitler

$G.l / \eta_{go}$: Akış sisteminin Reynold sayısıdır.

$h.l / k$: Nusselt sayısı olarak alınır.

$Cp \cdot \eta_{go} / k$: Sıvının Prandl sayısıdır. Sıvılar için Prandl sayısı sıcaklık ve kompozisyonla değişir.

Bazı kabullerle basit yaklaşım yapılarak sistem bir ısı eşanjörü gibi düşünülürse;

Gazdan cidara doğru olan ısı akısı:

$$Q / Ag = hg (Tg - Tsg) \quad (6.4)$$

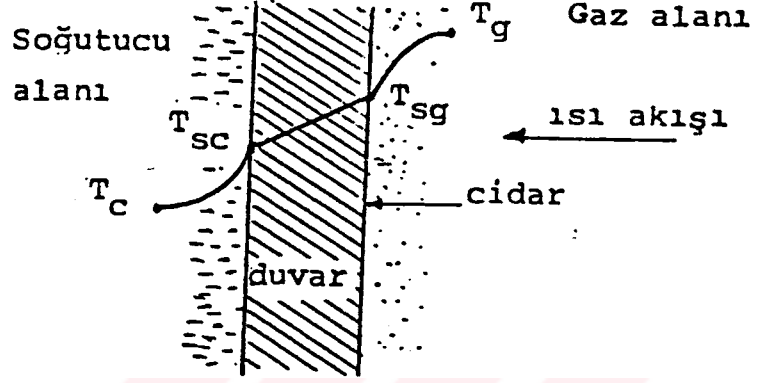
Üniform duvar kalınlığı ve yüzeye dik bir ısı akısı da;

$$Q / Ag = (k / l) \cdot (Tsg - Tsc) \quad (6.5)$$

Cidardan soğutucuya olan ısı akısı ise;

$$Q / A_c = hc \cdot (T_{sc} - T_c) \text{ olarak ifade edilir.} \quad (6.6)$$

Bunları daha kullanışlı hale getirmek maksadıyla, birleştirip kullanmak mümkündür. Kısaca daha kullanışlı ve motor şartları için daha düzenli formül üretmek mümkündür. Şekil 6.2'de gazdan soğutucuya kadar olan ısı akışı diyagramını görülmektedir.



Şekil 6.2. Isı Transferi Şeması

Kullanılan eşitliklerde aşağıda belirtilen sembollerin kısaltmaları görülmektedir.

Q : A_g ve A_c yüzeylerinden birim zamanda akan ısı miktarı

T_c : Soğutucu sıcaklığı

T_g : Gaz sıcaklığı

T_{sg} : Gaz tarafı cidar sıcaklığı

T_{sc} : Soğutucu tarafı cidar sıcaklığı

k : Duvar ısı iletim katsayısı

h_g : Gaz tarafı ısı iletim katsayısı

h_c : Soğutucu tarafı ısı iletim katsayısı

l : Duvar kalınlığı

Termal eşitlikler olan (6.4), (6.5), (6.6) gazdan soğutucuya kadar olan ısı akışını ifade etmektedir ve bunlar birbirlerine eşitlenebilir. Aynı zamanda taraf tarafa toplanarak denklem basitleştirilebilir. Gazdan soğutucuya kadar olan ısı akışını ısı

direnci şeklinde ifade etmekte mümkündür. Bu şekilde toplam ısı iletim katsayısı ve ya toplam ısı direnci tesbit edilir.

$$U_k = \frac{1}{\frac{1}{h_g} + \frac{1}{k} + \frac{1}{h_c}} \quad (6.7)$$

U_k : Toplam ısı iletim katsayısı

$1/U_k$: Toplam ısı direnci

(6.4), (6.5), (6.6) eşitlikleri daha kullanışlı hale getirildiğinde;

Birim alandaki ısı akışı için:

$$\frac{Q}{A_g \cdot (T_g - T_c)} = \frac{1}{\frac{1}{h_g} + \frac{1}{k} + \frac{1}{h_c \cdot A_c}} \quad (6.8)$$

Yüzey sıcaklığı için:

$$\frac{T_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{\frac{1}{k} + \frac{1}{h_c \cdot A_c}}{\frac{1}{h_g} + \frac{1}{k} + \frac{1}{h_c \cdot A_c}} \quad (6.9)$$

Duvar kesitindeki sıcaklık farkı:

$$\frac{T_{sg} - T_{sc}}{T_g - T_c} = \frac{\frac{l}{k}}{\frac{1}{h_g} + \frac{1}{k} + \frac{1}{h_c \cdot A_c}} \quad (6.10)$$

Bu eşitlikleri motor temel ısı iletim eşitlikleri şeklinde düzenlemek için, tipik uzunluğu φ (b) ve soğutucu ve gazlar için Prandl sayısını sabit olarak aldığımızda

$$h \cdot b / k = K \cdot R^n \quad (6.11)$$

$$K = c \cdot Pr^m$$

c : Boyutsuz çarpan

Pr : Prandl sayısı

(6.8), (6.9), (6.10) yeniden düzenlenip geliştirildiğinde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{Q}{Ag \cdot (T_g - T_c)} = \frac{\frac{hg}{b}}{\frac{1}{(K \cdot R^n)_g} + \frac{l \cdot h_g}{b \cdot k} + \left[\frac{hg}{(k \cdot K \cdot R^n)_c} \right] \cdot (Ag) \cdot (Ac)} \quad (6.12)$$

$$\frac{T_{sg} - T_{sc}}{T_g - T_c} = \frac{\frac{l \cdot hg}{b \cdot k} + \left[\frac{hg}{(k \cdot K \cdot R^n)_c} \right] \cdot (Ag) \cdot (Ac)}{\frac{1}{(K \cdot R^n)_g} + \frac{l \cdot hg}{b \cdot k} + \left[\frac{hg}{(k \cdot K \cdot R^n)_c} \right] \cdot (Ag) \cdot (Ac)} \quad (6.13)$$

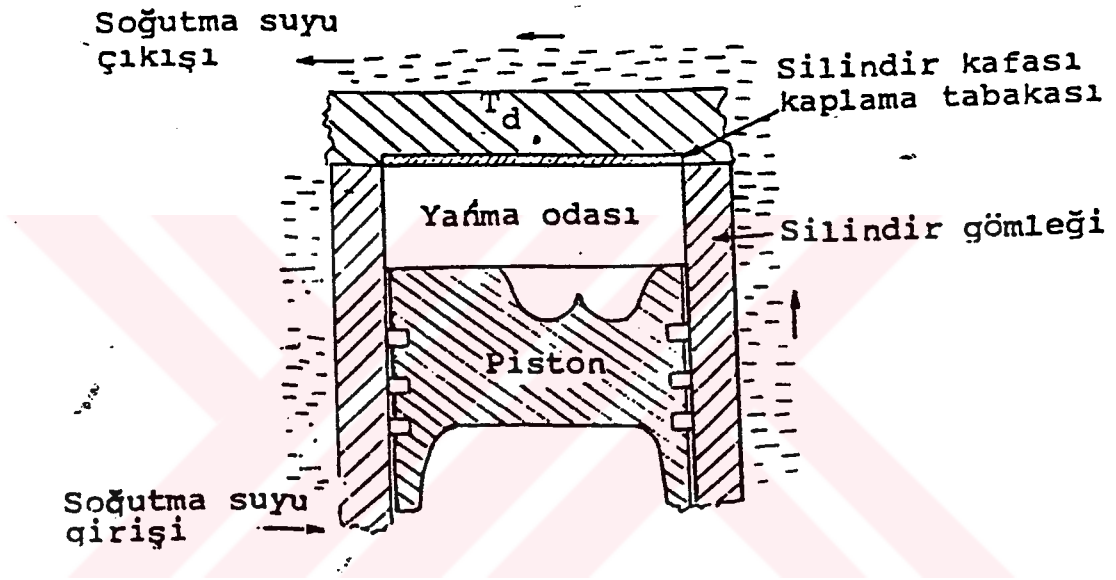
$$\frac{T_{sg} - T_{sc}}{T_g - T_c} = \frac{\frac{l \cdot hg}{b \cdot k}}{1 + \frac{l \cdot hg}{b \cdot k} + \left[\frac{hg}{(k \cdot K \cdot R^n)_c} \right] \cdot (Ag) \cdot (Ac)} \quad (6.14)$$

R : Bölgesel Reynold sayısı olarak ifade edilir.

6.1 ARAŞTIRMANIN SONUÇLARINA DAYANAN HESAPLAMALAR

Marmara Üniversitesinde yapılan ve önceki bölümde anlatılan deneyden alınan sonuçlar, genel ısı iletimi ve motor için yapılan kabullerle hesaplanmış, standart motorun ve seramik kaplamalı motorun ısı transferi incelenmiştir.

Şekil 6.3 'de deney motoruna ait şematik kesit ve şekil 6.4 'de ısı iletimi deney diyagramı gösterilmektedir. Özellikle hesaplamalarda referans olarak alınan deney değerlerinden T_d , T_c , T_{gi} yer ve durumları şekil 6.4'de görülmektedir.



Şekil 6.3. Deney motoruna ait kesit resmi

Seramik kaplamalı ve standart motora ait deney değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Elde edilen değerlerle motora ait toplam enerji tüketimi, araştırmacı tarafından, hesaplanmış daha sonra diğer işlemler yapılmıştır.

	n (d/d)	Pe(kW)	be (gr/ kWh)	T_{gi} ($^{\circ}$ C)	T_c ($^{\circ}$ C)	T_o ($^{\circ}$ C)
SM :	1206	4.0	277	7	84	9
SKM :	1225	4.1	265	7	85	9

motoru için biraz düşüktür. Araştırmalar vantilatörün gereksiz çalışmalarının ortadan kaldırılmasıyla dikkate değer bir tasarruf sağlandığını bildirmektedir.

Motordan kaybolan enerjinin tasarrufa dönüşmesi parazitik güç kaybının azalmasındandır. Deneysel çalışmada silindir kafasından soğutucuya geçen ısı esas alınmıştır. Motor silindir kafasından soğutucuya geçen ısı, transfer edilen ısının ancak % 29'u değerindedir. Bu duruma göre aşağıdaki eşitlikle soğutucuya geçen ısının, silindir kafasından geçen miktarı tayin edilebilir.(H.A.Çelik,1991)

$$Q_k = Q_{tr} \cdot 29 / 100 \quad (6.17)$$

Standart motorda araştırmacının yaptığı deney sonuçlarına dayanılarak yapılan hesaplama ile toplam enerjinin %7 'sinin silindir kafasından geçtiği belirtilmiştir. Temel ısı transferi eşitliklerinden (6.5)'e deney sonuçları uygulandığında;

$$T_{sc} = T_d - \frac{Q_k \cdot l_{dc}}{A_{kg} \cdot k_k} \quad (6.18)$$

$$T_{sg} = T_d + \frac{Q_k \cdot l_{dg}}{A_{kg} \cdot k_k} \quad (6.19)$$

$$T_g = T_{sg} + \frac{Q_k}{A_{kg} \cdot h_g} \quad \text{bulunmuştur.} \quad (6.20)$$

T_d : Deney noktası sıcaklığı

l_{dc} : Deney noktası ile soğutucu cidarı arasındaki mesafe

l_{dg} : Deney noktası ile gaz cidarı arasındaki mesafe

A_{kg} : Silindir kafası gaz tarafı alanı

Seramik kaplamalı motorda Q_T daha küçük olarak bulunmuştur. Soğutmaya geçen ısı miktarı ise %24.7 değerindedir. Önceki ayarlara dokunulmadan silindir kafası değiştirilip kaplamalı kafa takılarak deney yapıldığında motor devrinde % 1.6 artma, özgül yakıt tüketiminde ise % 4 azalma olduğu ifade edilmiştir. Hesaplanan yalıtım oranı:

$$\text{Yalıtımoranı} = \frac{Q_{tr}(SM) - Q_{tr}(SKM)}{Q_k(SM)} \quad \%10.8 \text{ dir.} \quad (6.21)$$

Kaplama sonunda motorun devir ve özgül yakıt tüketimindeki iyileşmeler özellikle tutuşma gecikmesinin azalması ve bunun sonucunda yanma veriminin iyileşmesi sebebiyledir. Literatürde cidar sıcaklıklarının yükselmesinin tutuşma gecikmesi ve yanma verimi üzerine olumlu etkisini gösteren ifadeler görülmektedir.(H.A.Çelik,1991)

Kaplama malzemesinin ısı iletim katsayısı (k_s)'nın etkisine dayanılarak T_{sg} ve T_g 'de artış meydana geleceği beklenir. Duvarın gaz tarafı için yapılan hesaplamalar bu düşünceye göredir . Soğutucuya geçen ısının Yanma odası elemanlarından geçiş yüzdesi aşağıdaki gibi sunulmuştur.

- % 29 Silindir kafasından
- % 40 Silindir gömleğinden
- % 27 Pistondan
- % 4 Diğer yerlerden geçtiği ifade edilir.

Duvarın soğutucu tarafı için kaplama tabakasının ısı iletim katsayısı k_s ve kaplama kalınlığı ile orantılı bir ısı yalıtımı sağlayacağından, ilgili yanma odası elemanlarından standart motora göre % oranında belli bir miktar ısı yalıtımı olacağı bilinir.

Standart motor için uygulanan (6.18), (6.19) ve (6.20) eşitlikleri kaplamalı motor için de uygulanmıştır. Sadece metal seramik sınır sıcaklığı için benzer karakterde bir eşitlik ilave edildiği belirtilmiştir.

$$T_{sg}' = T_d + \frac{Q_k \cdot l_{dg}}{A_{kg} \cdot k_k} \quad (6.22)$$

Sonuçlar göstermiştir ki kaplama tabakasının gaz tarafında yalıtımın etkisiyle daha yüksek cidar sıcaklıkları vardır. Bu cidar sıcaklıkları % 10.8'lik yalıtım etkisiyle artan sıcaklığı Td noktasından standart motora göre kaplamalı motorda daha yüksek sıcaklık değeri vermiştir. Araştırmacının bu çalışmasında kullandığı seramik kaplamanın ısı transfer katsayısı, silindir kafası malzemesinin (dökmedemir) yaklaşık 19 katıdır.

$$\frac{\text{DökmeDemirKafaDuvarıKalınlığı}(l_k)}{\text{SeramikKaplamaTabakasıKalınlığı}(l_s)} = 19$$

$$\frac{\text{SeramikKaplamanınIsıİletimKatsayısı}(k_s)}{\text{DökmeDemirkafanınIsıİletimKatsayısı}(k_k)} = 19 \quad (6.23)$$

$l_k \cdot k_k = l_s \cdot k_s$ olduğu görülür.

Krank mili açısı derecesi ile cidar sıcaklığı arasındaki ilişki incelendiğinde, dökme demir bir silindir duvarı sıcaklığı ÜÖN'da 470 °C olmasına karşılık 0.6 mm kalınlığında zirkonya ile kaplı duvarın sıcaklığı 600 °C çıkmıştır. Bu sıcaklık değerleri AÖN'da emme sonunda dökmedemirde 376 °C olurken, zirkonya kaplamada 500 °C civarında olmuştur.

Deneyler sonunda standart motorun silindir kafasından geçmesi gereken enerji miktarı farkı kaplamalı motorun gaz tarafında Tsg ve Tg değerlerinde artışa sebep olmaktadır. Sonuçta %7 lik bir ortalama gaz sıcaklığı artışı ve % 26 kadar cidar sıcaklığında artış sağlanmaktadır. Bu fark ve oranlar aşağıdaki denklemle belirtilmiştir.

$$\frac{Tg(\text{SKM} - Tg(\text{SM}))}{Tg(\text{SM})} \text{ ve } \frac{Tsg(\text{SKM}) - Tsg(\text{SM})}{Tsg(\text{SM})} \quad (6.24)$$

Hesaplamalarda standart motora ait Tsg ve Tg değerleri esas alınarak temel ısı transferi eşitlikleri uygulandığında kaplamalı motorun metal seramik sınırında, kafadaki deney noktasındaki (Td) ve soğutucu cidar sıcaklığındaki (Tsc) değerlerin daha da

düşeceği ifade edilmiştir. Isı transferi yapılan duvarı bir elektrik devresi gibi düşünerek değerler incelendiğinde, ısı direncine ait ısı geçişinin, literatüre uygun, kabul edilebilir sonuçlar olduğu belirtilmiştir. Hesaplanan Tsc değerleri standart motor ve kaplamalı motor için deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında;

$$Q_{tr} (SM) = Q_{tr} (SKM)$$

$$G_s \cdot (T_c - T_{gi}) = G_s \cdot (T_c - T_{gi}) \quad (6.25)$$

elde edilmiştir.

Standart motor ve kaplamalı motora ait transfer edilen ısı miktarları taraf tarafa toplandığında soğutucu debisi ve cidar sıcaklığından herhangi biri hesaplandığında deney sonuçlarına uygun değerler bulunduğu bildirilmektedir.

Deney sonuçlarına bağlı olarak tesbit edilen sıcaklıklar ve uzama değerleri silindir kafası ve supab mekanizması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle supabların açıklık miktarı ve zamanlarına etkisi motor performansını değiştirecek ve dizayn değişikliği gerektirecek bir hal alır. Büzülme deney değerleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanarak değerlendirilmiştir.

$$\Delta l = l \cdot \Delta T \cdot \lambda \quad (6.26)$$

Sonuçta kaplamalı motorun kafa ve supab mekanizması standart motora göre daha fazla uzamaktadır. Şekil (3.21)'de supab mekanizmasının ve silindir kafasının uzama değerleri gösterilmektedir.

Dizel yakıtı olarak İpraş ürünü motorin kullanılmıştır. İpraş motorininin kapalı formülü $C_{15}H_{28}$ olarak verilmektedir.

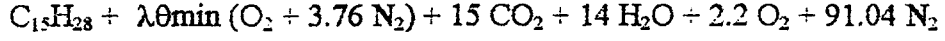
Yakıtın molekül ağırlığı

$$M_y = c(M_c) + h(M_H) \quad (6.27)$$

Yakıtın alt ısı değeri; $H_u = 42696 \text{ kJ / kg}$ olarak alınmıştır.

$$\Delta H_{ür,298}^0 = H_u \cdot M_y \quad (6.28)$$

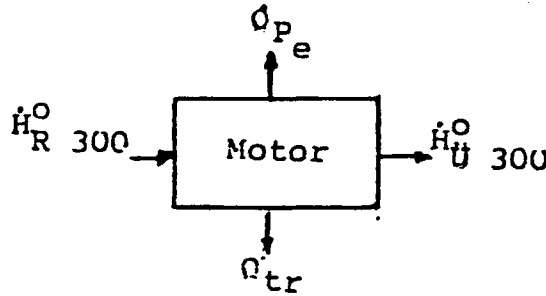
$\Delta H_{ür,298}^0 = 8897,376 \text{ kJ / mol}$ olduğuna göre $\lambda = 1.1$ şartlarında reaksiyon entalpisi için yanma denklemi yazılarak, $\lambda = 1.1$, $\theta_{min} = 15 + 14/2 = 22.5$, $\lambda\theta_{min} = 24.2$ dir.



Reaksiyon ısısı için,

$\Delta H_{ür,298}^0 = \epsilon (b_i - a_i) \Delta H_{f,298}^0$ yazılabilir. Yakıtın oluşum entalpisinin ($\Delta H_{f,298}^0$) hesaplanması için $\Delta H_{ür,298}^0 = 15 (\Delta H_{f,CO_2}^0) + 14 (\Delta H_{f,H_2O}^0) - \Delta H_{f,C_{15}H_{28}}^0$ eşitliğinden $\Delta H_{f,C_{15}H_{28}}^0 = -391,032 \text{ kJ / mol}$ elde edilir.

Deney motorunda her iki hal için (standart ve kaplamalı) özgül yakıt sarfiyatı, faydalı enerji ve egzost gaz sıcaklığı ile ortam sıcaklığı değerleri deneysel yolla belirlenmiştir. Enerji dağılımının bulunabilmesi için bu değerler yardımıyla yanma denkleminde faydalanılarak egzost gazlarının enerjisi hesaplanmıştır. Toplam yakıt enerjisinin faydalı enerji ve egzost gazı enerjisinden kalan kısmının soğutma sistemiyle kaybedilen enerji olarak kabul edilmiş ve ısı dengesi hesabı gerçekleştirilmiştir. Motor bir sistem olarak ele alınır ve faydalı enerji Q_{pe} , transfer edilen enerji Q_{tr} ve egzost gazları enerjisi Q_e ile gösterilirse,



$$\Delta H_{ür}^0 = Q_{tr} - Q_{pe} \quad (6.29)$$

$$\Delta H_{ür}^0 = \epsilon (b_i - a_i) H_{f,i,T_0}^0 = Q_{tr} - Q_{pe}$$

bağıntıları yazılabilir. Enerji miktarları bir mol yakıt için yazılmıştır. Yakıtın molar debisi,

$$n_y = m_y / M_y , \quad n_y = b_e \cdot P_e / 3600 M_y \quad (\text{mol} / \text{s}) \quad (6.30)$$

ile çarpılarak kJ / s cinsinden hesaplanır.

ΔQ_e kJ / s olarak sıcak egzosttan olan kayıptır. Normal çalışma halinde soğutmaya giden ısı (Q_{tr}) ve faydalı iş (Q_{pe}) (kJ / s)'dir. Bu durumda toplam enerji Q_T ile gösterilirse,

$$Q_T = Q_{pe} + Q_{tr} + \Delta Q_e \quad (6.31)$$

şeklinde yazılır ve enerjilerin yüzde dağılımları,

$$Q_{pe} / Q_T \times 100 , \quad Q_{tr} / Q_T \times 100 , \quad \Delta Q_e / Q_T \times 100$$

olarak hesaplanmıştır. Bu şekilde enerji dağılımlarındaki farklılıklar belirlenmeye çalışılmıştır (H.A.Çelik,1991).

7. YANMA ODASI CİDARLARI SERAMİKLE KAPLANMIŞ İÇTEN YANMALI MOTORLARDAKİ ISI TRANSFERİ

“Adyabatik Motor” olarak isimlendirilen, yanma odası cidarları seramikle kaplanmış motorlar ısı kaybını ve mekanik kayıpları azaltmak, egzost enerjisini arttırmak için geliştirilmişlerdir.

Y.Enomoto ve S. Furuhamada adlı iki Japon araştırmacı yaptıkları deney ve araştırmalarda otto ve diesel motorlarının yanma odalarını seramikle kaplamışlar ve bu motorlardaki ısı transferlerini incelemişlerdir.

Araştırmacılar, motorlarda yanma odası cidarlarındaki ısı transferini ve anlık yüzey sıcaklıklarını bilgisayar analizleri yardımıyla doğru şekilde ölçebilmek için değişik boyut, tür ve şekillerde yüksek verimli ince termokupl film tabakaları geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri termokuplları seramikle kaplanmış pistonlara yerleştirmede başarılı olmuşlardır. Böylece piston üst yüzeyine kaplanan seramik tabaka üzerindeki ısı transferi ve anlık yüzey sıcaklıkları geliştirilen bir teknikte başarıyla ölçülmüştür.

Nispeten düşük sıcaklıklarda yanma odası cidarlarında klasik bir malzeme kullanılsa bile gazdan cidara doğru olan ısı transfer katsayısının (α_g) değişmediği görülmüştür. Bu nedenle yaptıkları hesaplamalarda “ α_g ” değeri sabit olarak alınmıştır.

Araştırmacılar anlık ısı akısını ve yanma odası cidar sıcaklıklarını ölçebilmek için ince termokupl filmler geliştirdiler. 4 Stroklu ve su soğutmalı benzinli motorlarda yanma odası cidarlarında, yanma periyodundaki ısı kaybını bu termokupllar sayesinde açıkça belirlediler.

Ayrıca termokuplların seramik motorlara uygulanış prensipleri ve yapı malzemesi seramik olan değişik tipteki termokupllar geliştirdiler. Bu gibi termokupllar su soğutmalı 4 stroklu benzin motorlarında piston üst yüzeyine, diesel motorlarında ise piston oyuğuna yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır.

Bu bölümde klasik alüminyum alaşımlı pistonun test sonuçları, seramik kaplamalı motorun ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

7.1 İNCE TERMOKUPL FİLMLER

7.1.1 METAL YAPILI TERMOKUPLLAR:

Bazı araştırmacılar yanma odası cidarlarındaki anlık yüzey sıcaklıklarını ölçmek için çeşitli ince termokupl film tabakaları kullandılar. Bunlar, farklı termal özelliklere sahip değişik malzemelerle yapılmışlardı. Termokuplların sıcaklık dağılımlarına etkileri belirlenmeden yapılan ölçümler şüpheyle karşılanmaktadır.

Furuhama ve Enomoto yanma odası cidarları üzerindeki anlık yüzey sıcaklıklarını ölçmek için coaxial (eşmerkezli) ince termokupl film geliştirdiler. Termal enerji balansı gibi bir modelde sıcaklık dağılımını "Farklı Elemanlar Metodu" denklemleriyle buldular. Modeldeki sıcaklık dağılımını, kararlı ve kararsız durumlardaki gaz sıcaklıkları ve gazdan cidara doğru olan ısı transfer katsayısı hesaplandı.

Yanma odası yüzeylerinin anlık sıcaklık ölçümlerinde kullanılacak ince termokupl filmi için gereken en uygun malzemenin ve boyutlarının seçimlerinde başarılı oldular.

Gereken en uygun incelikteki termokupl filmi belirlenen şu özelliklere sahip olmalıdır.

1. Termokupl yapı malzemesi ölçüm yapılacak yüzeyin malzemesiyle aynı olmalıdır.

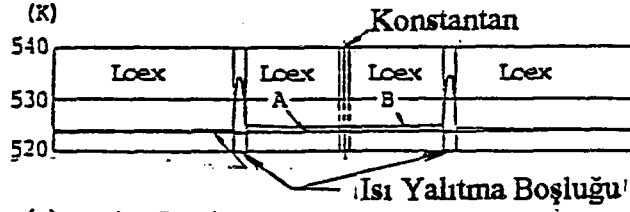
2. Termokupl filmi ince olmalıdır. Kaba ifadeyle "en ince film en iyi sonucu verir." Fakat film tabakası gereğinden fazla incelikte olursa, yapı ve iç sargı malzemelerinin termal özelliklerinin farklı olmasından dolayı yapılacak ölçümlerde büyük hatalar ortaya çıkabilir.

3. Bakır ve gümüş gibi ısı iletkenliğı yüksek olan malzemeler ince film malzemesi olarak çok iyi sonuçlar vermektedir. Bakır kullanıldığı takdirde en uygun kalınlık 7 ve ya 10 μm (mikrometre) olmalıdır.

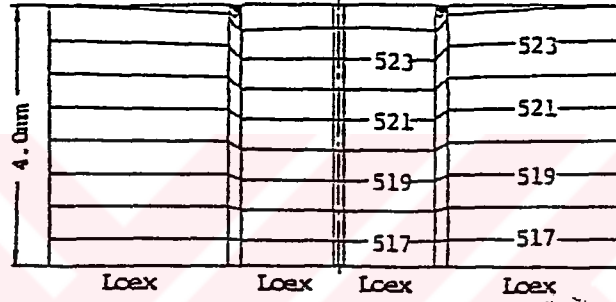
Eğer farklı malzemeler kullanılırsa bu tip malzemelerin termofiziksel özelliklerinden dolayı sıcaklık dağılımı karışacaktır. Eğer yüzeyler ısı iletkenliğı yüksek ince film ile kaplanırsa sıcaklık dağılımları sıcak birleşme yakınlarında düzelecek ve dağılım tek boyutlu ısı akımının sıcaklık dağılımıyla birbirine yakın olacaktır.

Termokuplun dış çapı, piston çapından yeteri kadar küçük olduğundan piston içerisine ısı iletkenliği küçük olan bir yapışkan ile ($\lambda = 1.57 \text{ W/mK}$) yerleştirilmiştir.

Şekil-7.2'de ince termokupl filmi ve sıcak geçme yüzeyindeki sıcaklık dağılımları görülmektedir.



- (a) A: Sıcak Geçme Yüzeyindeki sıcaklık dağılımı
B: Termokupl çevresinde ideal adyabatik hal altındaki sıcaklıklar



- (b) İnce termokupl filmi ve çevresindeki sıcaklık dağılımı

Şekil-7.2. Loex yapılı termokupl pistona yerleştirildiğinde, model termokuplun sıcaklık dağılımı

Araştırmacılar, yaptıkları bilgisayar analizleriyle ısı akısı ölçümlerindeki hataların termokupl malzemesi ve yapışkanın etkilerinden kaynaklandığını bulmuşlardır.

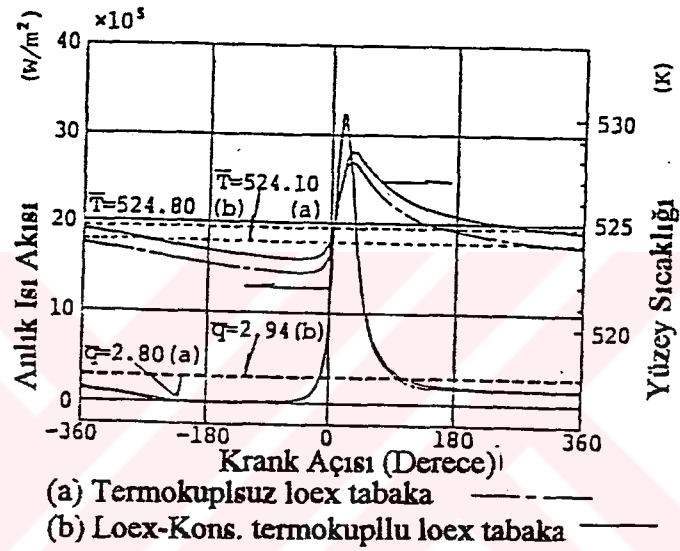
Şekil-7.3, loex yapılı termokupl yerleştirilen pistondaki sıcak geçmenin, sıcaklık dağılımını göstermektedir (Her çevrim için ve kararsız durumlarda). Kesik çizgiler loexden yapılmış termokuplsuz paralel yüzey tabakalarının sıcaklık değişimini göstermektedir. Aynı zamanda şekil her iki durumdaki anlık ısı akısını da gösterir.

Silindir hattı, silindir kafası, egzost supabı ve emme supabı gibi yerlerdeki sıcaklık ölçümlerinde de aynı yapı malzemesinden yapılmış ince termokupllar kullanılmıştır.

7.1.2 SERAMİK YAPILI TERMOKUPLLAR:

Seramik yüzeylerdeki anlık sıcaklık ve ısı akısı ölçümleri için gerekli termokuplların özellikleri yukarıda anlatılmıştı.

İki çift termokuplda yapı malzemesi olarak elektriği iletmeyen seramik kullanıldı. Soğuk geçme önceden belirlenmiş yere gömülerek yerleştirilirken, sıcak geçme kimyasal kaplama metoduyla oluşturuldu. Sonra iki geçme arasındaki sıcaklık farkı ölçüldü.

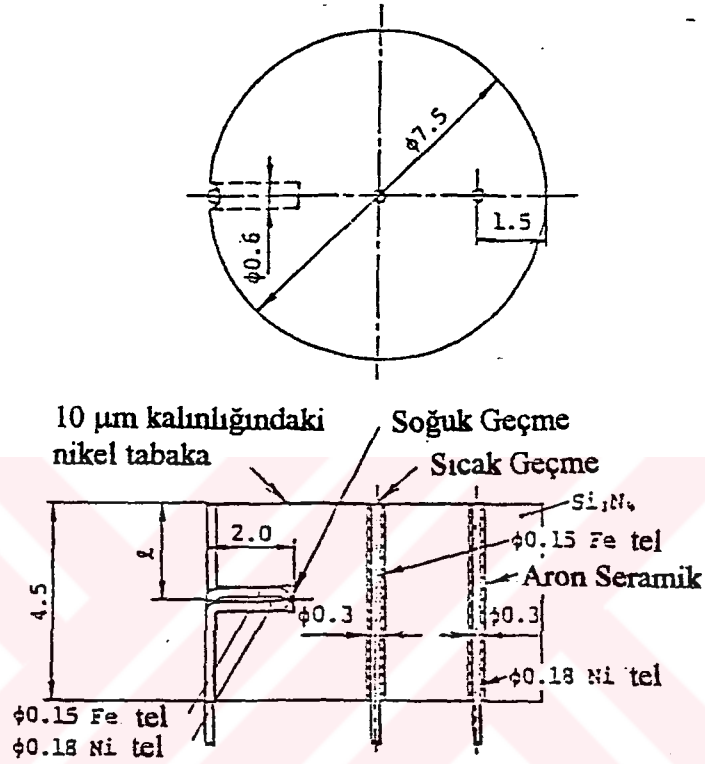


Şekil-7.3. Sıcak birleşmedeki anlık sıcaklık ve anlık ısı akısı kararsız durumlarda hesaplandı

Şekil-7.4, araştırmacıların deneyde kullandıkları tipteki bir termokuplu göstermektedir. Bu deneyde ısı kapasitesi $C_V=833.52 \text{ Wh/m}^3\text{K}$ olan silikon nitrit seramik kullanılmıştır. Yapı malzemesinin dış çapı, elmas tozunun kullanıldığı ultrasonik işlemlerle 7.5 mm yapılmış ve çevreye yakın bir yerden merkeze doğru 0.3 mm çapında delikler delinmiştir. Termokuplda ısıya karşı dayanıklı nikel kaplama, nikel tel ve demir yapıli bileşimler kullanılmıştır. Demir telin çapı 0.15 mm, nikel telin çapı ise 0.18 mm'dir. Termoelektromotorun gücü 500-1000 K arasında $18.13 \mu\text{V/K}$ dir.

Bu teller 0.3 mm'lik deliklere yapışkanlı bir seramik olan "Aron Seramik" ile yerleştirilmiştir. Yüzey pürüzsüzlüğünden sonra kaplamanın hazırlanması için ön

işlemler yapılmıştır. Hemen hemen bütün yüzey duyarlaştırıcı işlemler vasıtasıyla elektriği iletmeyen kalay klorid iyonlarıyla kaplanmış, sonra yüzey ve kalay klorid iyonları yükseltgenme indirgenme reaksiyonlarına tabi tutulmuştur. Aktivasyonu arttırmak için yüzeye az miktarda da metalik palladyum sürülmüştür.



Şekil-7.4. Seramik yapı malzemeli termokupl filmi (Benzin motoru)

Yüzey üzerine kaplanan nikel kaplamanın kalınlığı $1\mu\text{m}$ 'dir. Ayrıca demir-nikel teller vasıtasıyla sıcak geçme oluşturulmuştur. Elektrolitik kaplama metoduyla kaplanan nikel kaplamanın toplam kalınlığı $10\mu\text{m}$ 'dir.

Deneyde 4 stroklu benzinli motor ve motor pistonunun üst yüzeyiyle aynı dış çapa sahip 4.5 mm kalınlığında silikon nitrit disk kullanılmıştır. Ultrasonik işlemlerle diskin merkezine iç çapı 8 mm olan bir delik delinmiş, ince termokupl bu deliğe yapışkanlı aron seramik ($\lambda=0.79\text{W/mK}$) ile tespit edilmiştir. Aron Seramiğin ısı iletkenliğinin silikon nitritten daha küçük olmasından dolayı termokupldaki ısı akışı tek

boyutlu olmuştur. Bu sonuç araştırmacıların yaptığı bilgisayar analizleri sayesinde bulunmuştur.

Piston yüzeyindeki diskte 30 mm çapında ve 0.3 mm derinliğinde oyuk açılarak düşük ısı iletkenliğine sahip hava boşluğu elde edilmiştir (Şekil-7.5). Bundan dolayı silikon nitrit yüzeye doğru olan gerçek ısı akısı miktarının, yalnız alüminyum alaşımı (Loex) pistondakine benzer olduğu belirtilmiştir. Silikon nitrit disk ve loex piston birbirine yapıştırıldığında loexin yapısından dolayı yüzey sıcaklıkları kelvin cinsinden bir miktar artmıştır. Furuha'nın yaptığı bilgisayar analizlerinde hava boşluğunun çapı ve derinliğinin, seramik diskteki ısı akısı için yeterli olduğu onaylanmıştır.

Diğer deneyde 4 stroklu direkt püskürtmeli diesel motoru ile yapısı seramik olan ve Şekil-7.6'da gösterilen termokupl kullanılmıştır. Şekil-7.5'te görülen termokuplun yanma odasının yüksek basıncından dolayı yerinden düştüğü belirtilmiştir.

Şekil-7.7: piston oyğunun dibine yerleştirilen seramik diski göstermektedir. Seramik yapılu termokupl bu disk içine yerleştirilmiştir. Piston yüzeyinde 30 mm çaplı ve 0.5 mm derinliğinde bir hava boşluğu yapılmıştır. Bu oyuk derinliği loex pistonun aynısı gibi yapılmıştır.

7.2 DENEY MOTORLARI VE ÖLÇÜM METODLARI

Deney Motorları

Araştırmacılar yaptıkları deneylerde CA-18S model su soğutmalı, stroklu, iç çap=83 mm, strok=83.6 mm, toplam motor deplasmanı 1809 cc, sıkıştırma oranı 8.8:1 olan 4 silindirli bir benzinli motor ile W04D model, su soğutmalı, 4 stroklu, iç çap=104 mm, strok=118 mm, toplam motor deplasmanı 4009 cc ve sıkıştırma oranı 17.9:1 olan 4 silindirli direkt püskürtmeli diesel motoru kullanılmıştır.

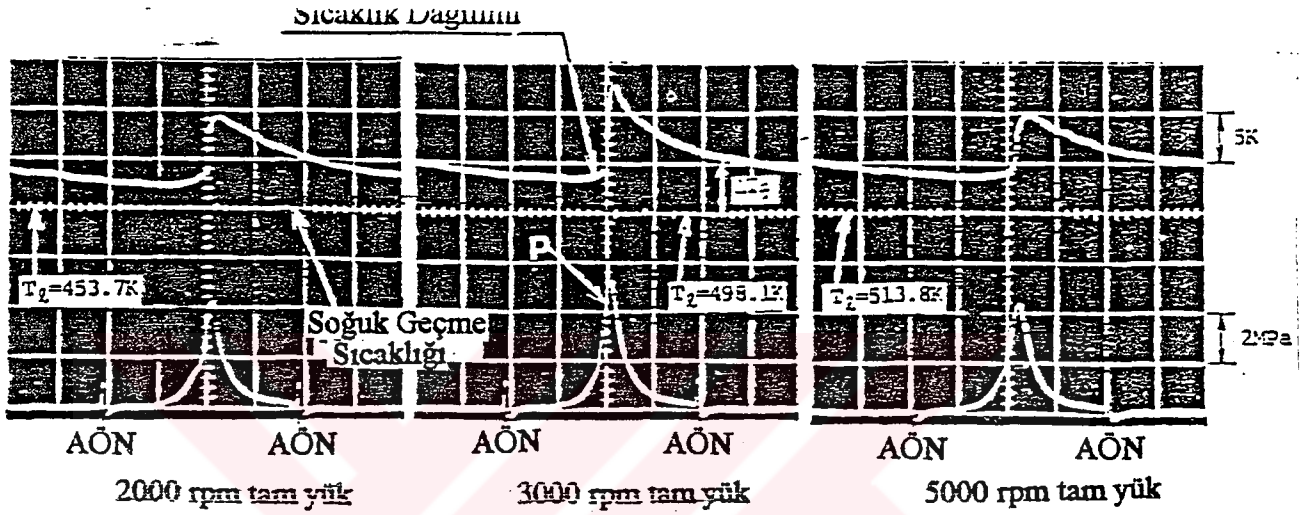
Ölçüm Metodu

Deney sırasında soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı 80 °C'de, filtre girişindeki yağlama yağı sıcaklığı da 90 °C'de sabit tutulmuştur.

7.3 ÖLÇÜM SONUÇLARI VE ANALİZLER

7.3.1 BENZİNLİ MOTORDAKİ SONUÇLAR

Şekil-7.8, loex pistonun üst yüzeyindeki sıcaklık dalgalanmasını göstermektedir. Aynı zamanda benzin motorundaki değişik motor hızlarında ve tam yükteki yanma basıncını ve soğuk geçme sıcaklıklarını da göstermektedir.



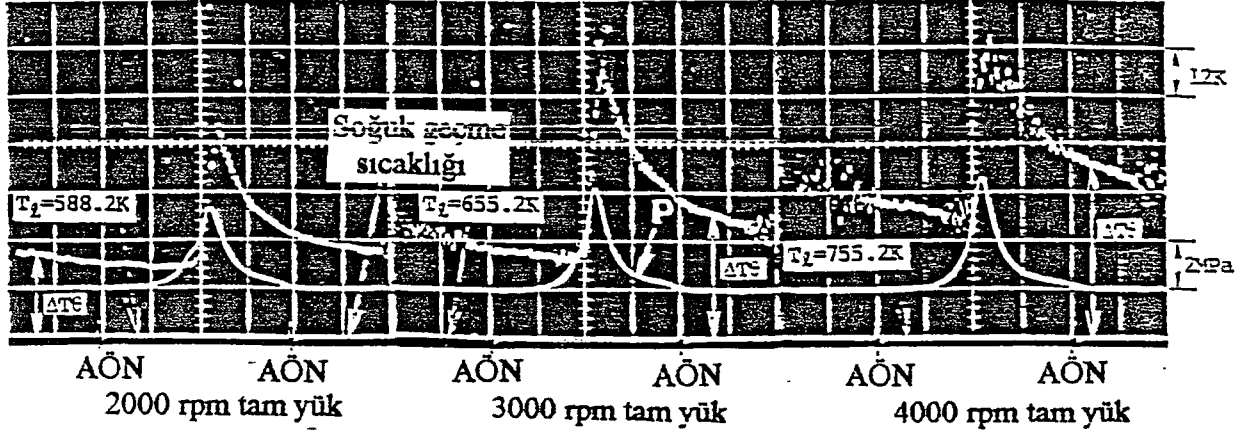
Şekil-7.8. Benzin motorunun farklı hızlarında Al-alaşımli piston merkezindeki anlık sıcaklık ölçümleri ($l = 3.00 \text{ mm}$)

Diyagramdaki bir bölme 5 K ve 2 Mpa' yı göstermektedir. Sıcaklık genliği takriben 7-10 K ve soğuk geçmede ise 450-510 K arasındadır

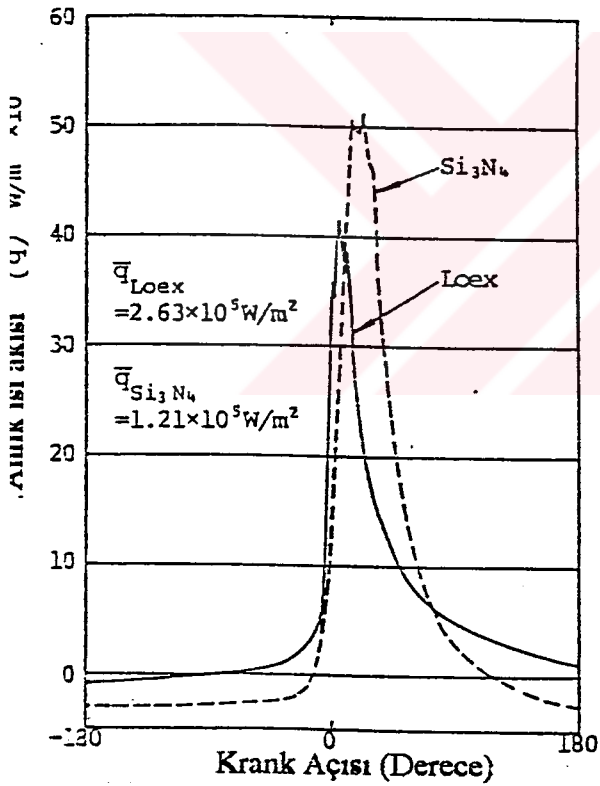
Şekil-7.9, tam yük ve değişik hız kademelerinde, silikon nitrit cidarlı yüzeylerdeki yanma basıncını ve yüzey sıcaklık dalgalanmalarını göstermektedir. Bu diyagramdaki bir bölme 12 K ve 2 Mpa' dır. Sıcaklık genliği 35-50 K'de önemli yüksekliğe sahiptir. Sıcak geçmenin sıcaklığı da 4000 rpm'de 800 K' dir.

Şekil-7.10, tam yük şartlarında 3000 rpm hızda silikon nitrit ve loex yüzeye olan ısı akısını göstermektedir. Diyagram yardımıyla yarım iş strokunda silikon nitrit yüzeyden loex yüzeye olan ısı akısı da bulunmuştur. Bulunan değerlerin bütün stroklardaki ortalama değer yarısından daha az olduğu belirtilmiştir.

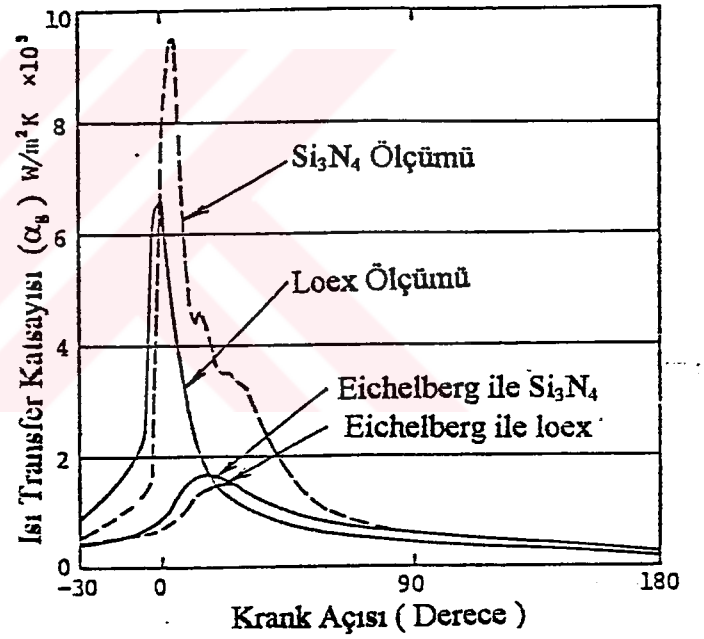
Şekil-7.11, Silikon nitrat ve loexde her krank açısı için ısı transfer katsayısının anlık değerini gösterir. Duvar yüzeyinin sıcaklık değişimi (T_w) ve anlık ısı akısı (q)



Şekil-7.9. Benzin motorunun farklı hız kademelerinde piston merkezindeki silikon nitrit cidar yüzeylerinin anlık sıcaklık ölçüm sonuçları ($l = 2.5 \text{ mm}$)



Şekil-7.10. 3000 rpm hız ve tam yük altındaki benzin motorunda silikon nitrite doğru olan anlık ısı akısı (Aynı ölçüm noktalarında loex ile kıyaslandı)



Şekil-7.11. Ölçüm değeri ve Eichelberg formülüyle ısı transfer katsayısı tesbit edildi (3000 rpm hız ve tam yükte)

değerleri ayrı ayrı yanma basınçları için gazın durumunu belirten denklemlerle hesaplanarak gaz sıcaklıkları bulunmuştur.

Grafiğin alt kısmında da Eichlberg Formülleri kullanılarak piston ortalama hızı (C_m), yanma basıncı (P) ve gaz sıcaklığı (T_g) ile bulunan ısı transfer katsayısı değerleri gösterilmektedir.

Silikon nitrat yüzey olduğu durumda ortalama yüzey sıcaklığı loexden 200 K daha yüksek olmuştur. Böylece her iş stroğunda silikon nitratın ısı transfer katsayısı loexden daha yüksek değerlerde bulunmuştur. Silikon nitrat cidar yüzeylerinin sınır bölgelerinde ısı iletkenliğinin artmasından dolayı oluşan yüksek sıcaklık sebebiyle ısı transfer katsayısının daha yüksek değerde olduğu belirtilmiştir.

Öteyandan, Eichelberg Denklemleriyle silikon nitrat yüzeyler için hesaplanan ısı transfer katsayısı loex yüzeyinkinden daha küçüktür. Hesaplanarak bulunan değerlerin silikon nitrat ve loex yüzeyler için ölçülen değerlerden daha küçük olduğu tesbit edilmiştir.

Şekil-7.12, tam yük altında ve her bir strok için loex piston merkezine doğru olan ortalama ısı akısı akışını göstermektedir.

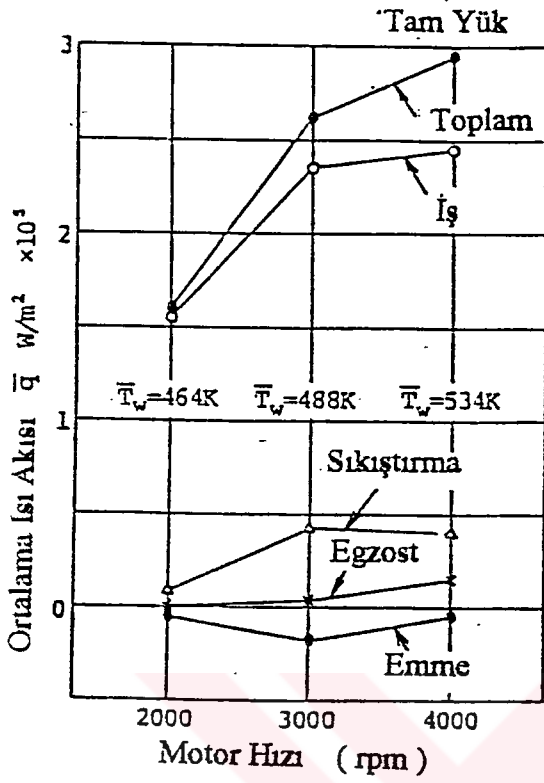
T_w , ortalama yüzey sıcaklığını ifade eder. İş stroğu sırasında yanma odasına akan ısının, bütün stroklardaki toplam ısının % 80'i olduğu bulundu.

Grafikteki negatif değerler yalnız emme stroğundaki ısı akısını gösterir.

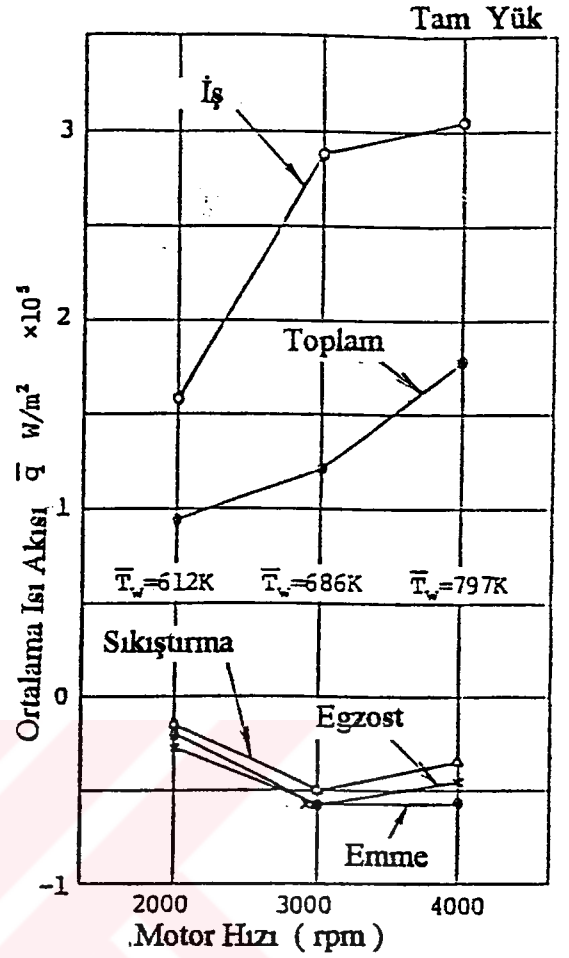
Şekil-7.13, Her strok için silikon nitrat yüzeylere olan ortalama ısı akısını göstermektedir. Yayılan ısı, yanma gazına geri döndüğünden ısı akısı emme, sıkıştırma ve egzost stroklarında negatif değerlerde gösterilmektedir. Sonuçta bütün stroklardaki toplam ısı akısı değerlerinin iş stroğundaki değerlerden daha küçük olduğu ifade edilmektedir. Bu değerler aynı motorda egzost supabında ölçülen sıcaklık değeriyle aynı olmuştur.

Şekil-4.14'te tam yük altında ve 2000 rpm'deki benzinli motorda silikon nitrat cidar yüzeyindeki anlık sıcaklık değişiminin tutuşma zamanlamasına etkileri görülmektedir.

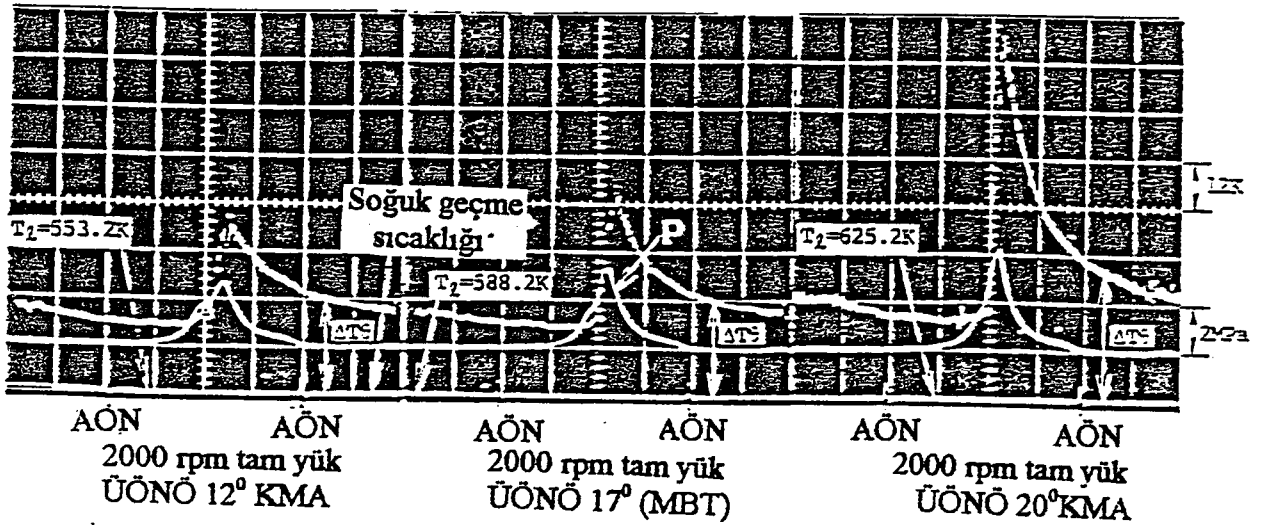
Grafikten, ısı transfer katsayısının iş stroğunda artmış olduğu tesbit edilmiştir. Hatta hafif vuruntu sebebiyle tutuşma zamanlaması maximum yanma sıcaklığından 3°KMA ileri gitmiştir. Yüzey sıcaklık değişiminin genliği burada iki kat artmıştır.



Şekil-7.12. Her strok sırasında loex'e doğru olan ortalama ısı akısı



Şekil-7.13. Her bir strok için silikon nitrite doğru olan ortalama ısı akısı



Şekil-7.14. 2000 rpm hız ve tam yükteki benzine motorunda silikon nitrat cidar yüzeyindeki anlık sıcaklıkların tutuşma zamanı değişimine etkisi ($l = 2.5$ mm)

Şekil-7.15, maksimum sıcaklıkta loex piston etkisinde dahil olmak üzere iş ve sıkıştırma strokları sırasında anlık ısı akısının tutuşma zamanına etkisi gösterilmektedir (ÜÖNÖ 17 °KMA). Isı akısı hem maksimum yanma sıcaklığında hem de ÜÖNÖ 20 °KMA da aniden yükselir. Bunun sebebi yanmayla basıncın artmasıdır. Böylece silikon nitrat yüzeye olan ısı akısının loex yüzeye olandan daha fazla olduğu bulunmuştur.

Şekil-7.16, Tutuşma zamanının ısı transfer katsayısına etkisi gösterilmektedir. Üst ölü noktadan hemen sonra, maksimum yanma sıcaklığında ve ÜÖNÖ 20 °KMA da ısı akısının aniden çoğaldığı belirtilerek, ÜÖNÖ 20 °KMA da hafif vuruntu etkisiyle anormal çoğalmanın bulunduğu ifade edilmiştir. Isı transfer katsayısı Eichelberg'in denklemleriyle şimdiki ölçüm değerinden önemli miktarda küçük bulunmuştur.

İş stroğunun yarısından önceki, yanma ile oluşan basınç artışının başlamasından hemen sonraki periyotta seramiğin ısı transfer katsayısı beklenenden daha büyük olmuştur.

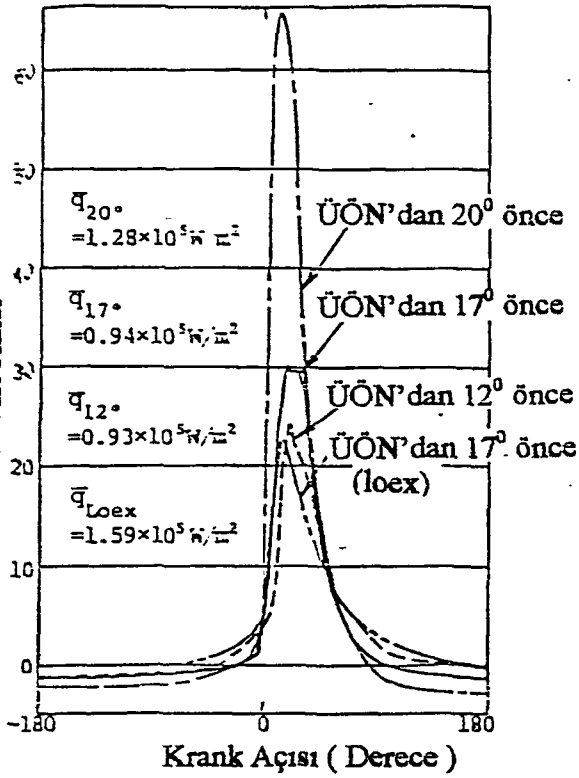
7.3.2 DİSEL MOTORUNDAKİ SONUÇLAR

Şekil-7.17; Orijinal loex pistonlu 4 stroklu direkt püskürtmeli bir diesel motorundaki anlık yüzey sıcaklık ölçümlerini göstermektedir.

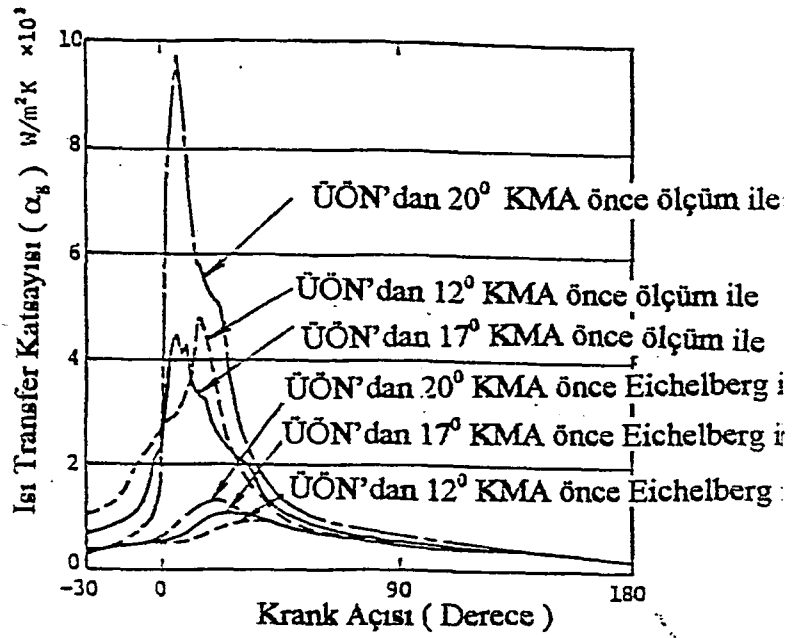
Ölçümler tam yük ve 1000 rpm hızda piston oyuğunun dip merkezinde yapılmıştır. Deneyde kullanılan bu motorun yakıt püskürtme nozulünde 5 tane delik vardır. Şekilde, sıcaklık değişimi 4 örnekle gösterilmiştir, bunun sebebi yakıtın tutuştuğu yerlerin farklı olmasıdır. Örnek 4'te püskürtülen yakıt termokupl yüzeyinin yanında tutuştuğunda sıcaklık yükselme oranı ($dT/d\theta$) ve sıcaklık dalgalanmasının genliği daha büyük olmuştur. Termokupl yüzeyinden daha uzak yerde yakıt tutuştuğunda genlik ve $dT/d\theta$ oranı No:1' deki gibi olmaktadır.

Böylece direkt püskürtmeli diesel motorlarında tutuşma yerlerinin aynı olmadığı ispatlanmıştır.

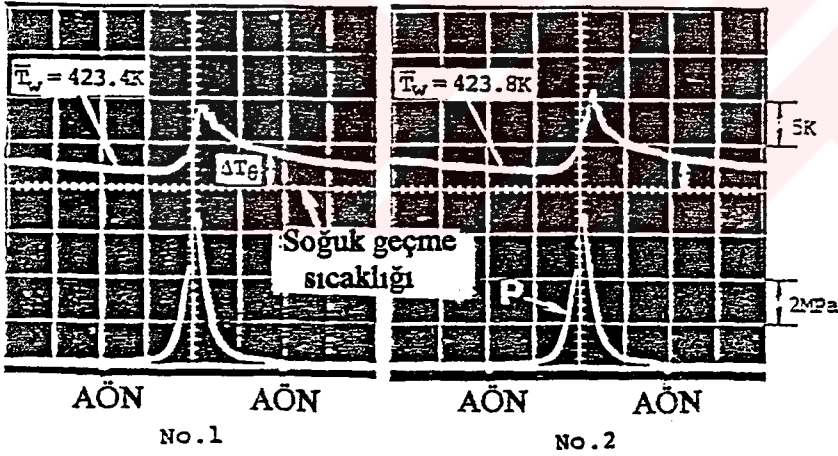
Şekil-7.18'de şekil-7.17'deki sıcaklık dalgasından bulunan anlık ısı akısının dalgaformu gösterilmektedir. Yanmadaki farka göre dalgaformlarında önemli farklılıklar gözlenmektedir. Bu çalışmada analiz ve karşılaştırma için kaydedilen 50 çevrimin dışında ortalama dalgaformu olarak (No:3) seçilmiştir.



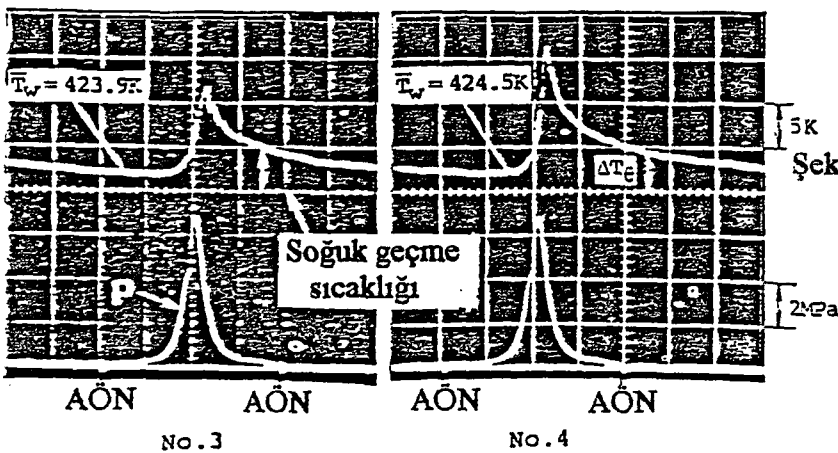
Şekil-7.15. Tutuşma zamanlamasının anlık ısı akısına etkisi (2000 rpm ve tam yükte)

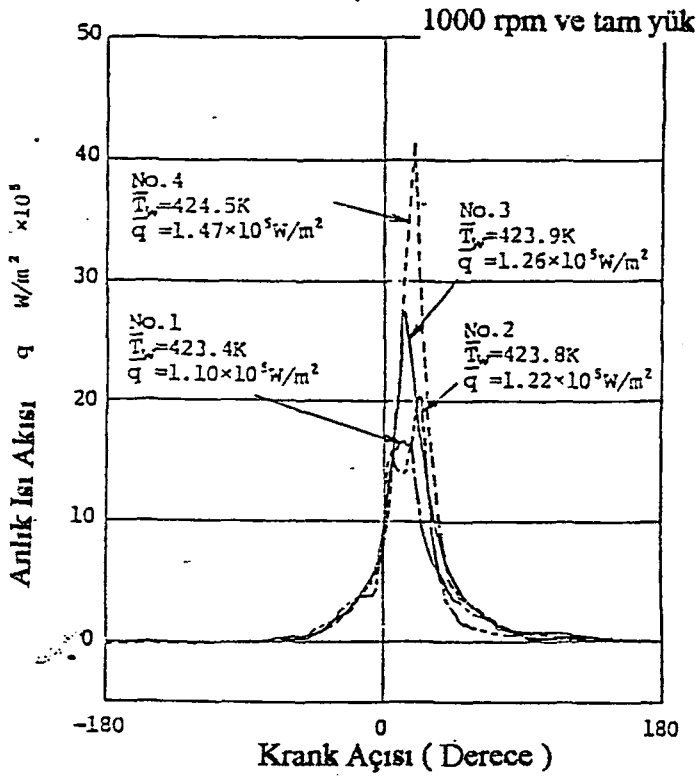


Şekil-7.16. Tutuşma zamanının ısı transfer katsayısına etkisi (2000 rpm ve tam yükte)

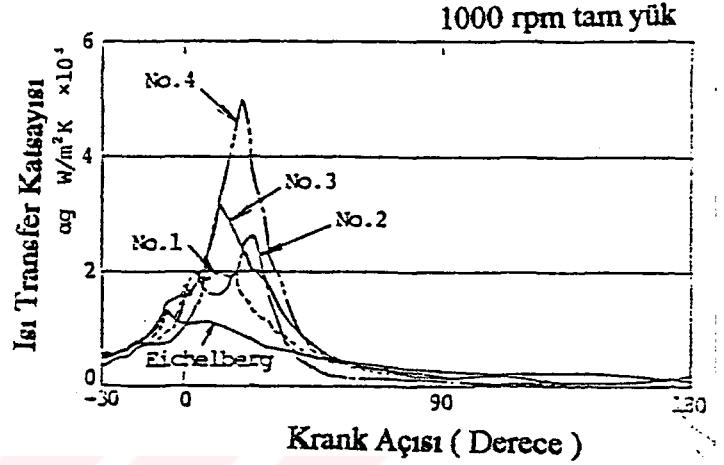


Şekil-7.17. 1000 rpm hız ve tam yükteki motorda loex pistonun dibindeki anlık yüzey sıcaklıklarının ölçülen değerleri





Şekil-7.18 1000 rpm hız ve tam yükte anlık ısı akısının her örnek için analizi

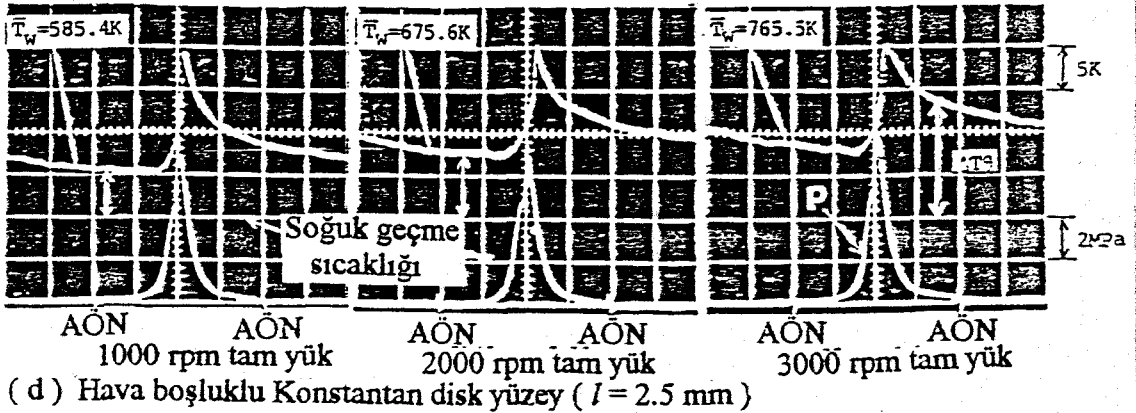
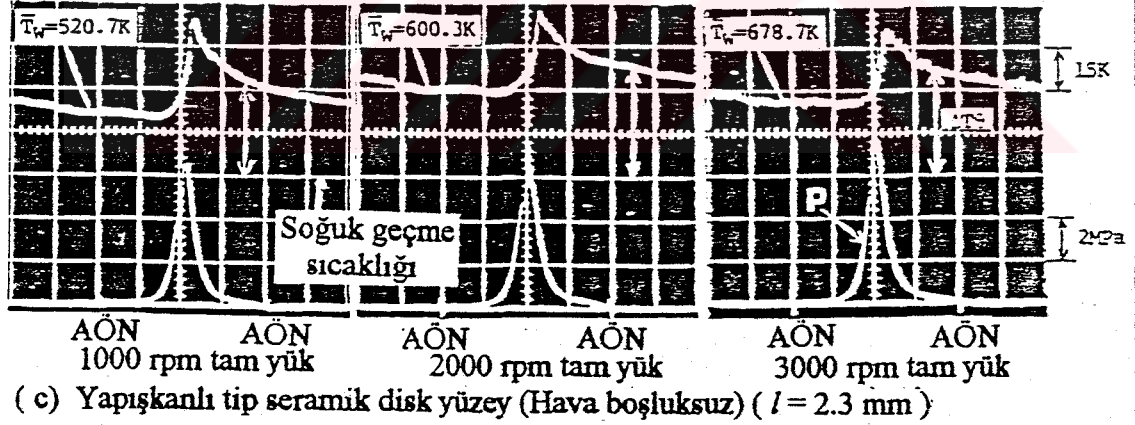
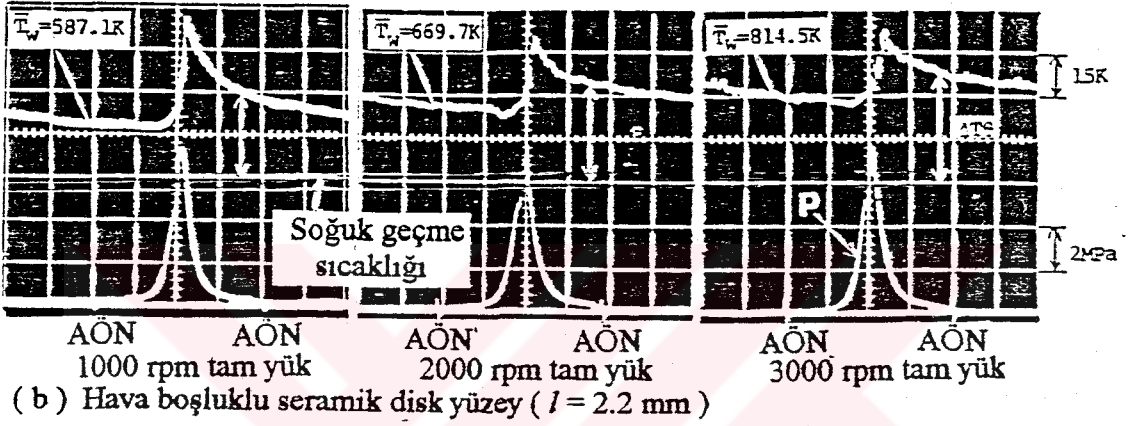
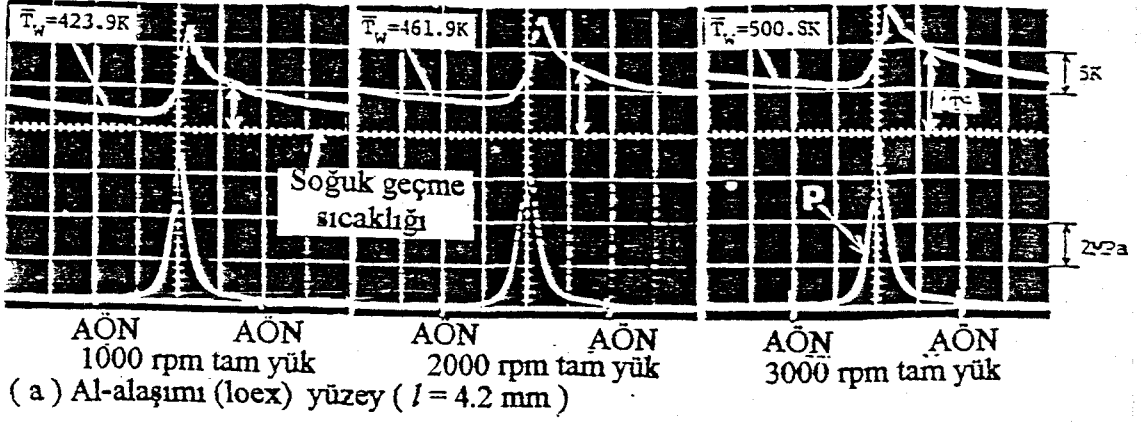


Şekil-7.19. Her örnek için ısı transfer katsayısı

Şekil-7.19; Gaz sıcaklığının (T_g), anlık ısı akısının (q) ve cidar yüzeyi sıcaklık değişiminin (T_w) ölçülen değerleri ile bulunan ısı transfer katsayılarını göstermektedir. Bunların Eichelberg Denklemleriyle hesaplandığı belirtilmiştir. Maksimum pik değerinin, minimum pik değerden 2 kat daha büyük olduğu bulunmuştur. Benzer ısı transfer katsayıları Eichelberg Denklemleri ile yukarıdaki değerlerden daha küçük olarak hesaplanmıştır.

Şekil-7.20; Daha önce belirtilen 4 stroklu, direkt püskürtmeli diesel motorda piston oyuğunun dibine yapıştırılan farklı malzemeler için ölçülen deney sonuçlarını göstermektedir. Motor hızı tam yük şartlarında 1000, 2000 ve 3000 rpm'de değişkendir.

T_w , ortalama yüzey sıcaklığını temsil ederken, $\Delta T\theta$ ise her krank açısı için sıcak ve soğuk geçmeler arasındaki sıcaklık farkını gösterir. Şekilde yanma odası iç basıncı da (P) gösterilmiştir. Diyagramdaki bir bölme 2 Mpa'yı gösterir.

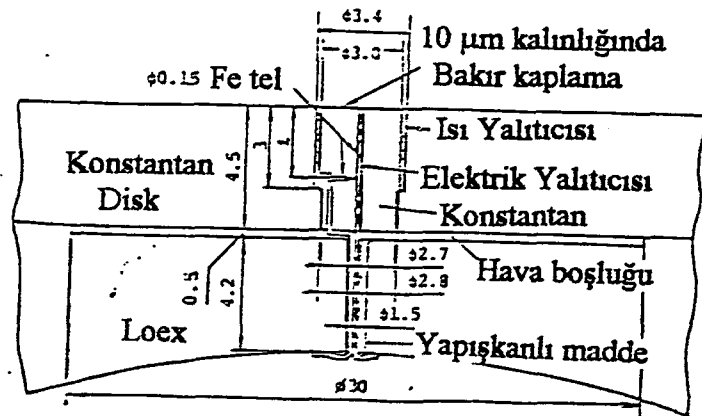


Şekil-7.20 Diesel motoru piston oyuğundaki her bir malzeme için anlık yüzey sıcaklıklarının ölçüm sonuçları

a) Şekil-7.1' de gösterilen Loex yapılı ince termokupl direkt olarak piston oyuğunun dibine yerleştirilmiş ve orada Loex pistonun ölçümleri yapılmıştır. Burada bir bölme 5 K'i gösterir. Sıcaklık genliği 10 K civarındadır ki ortalama yüzey sıcaklıkları 450-500 K dolayındadır. Ayrıca motor hızı arttıkça sıcaklık farkının ($\Delta T\theta$) daha büyük olduğu bulunmuştur.

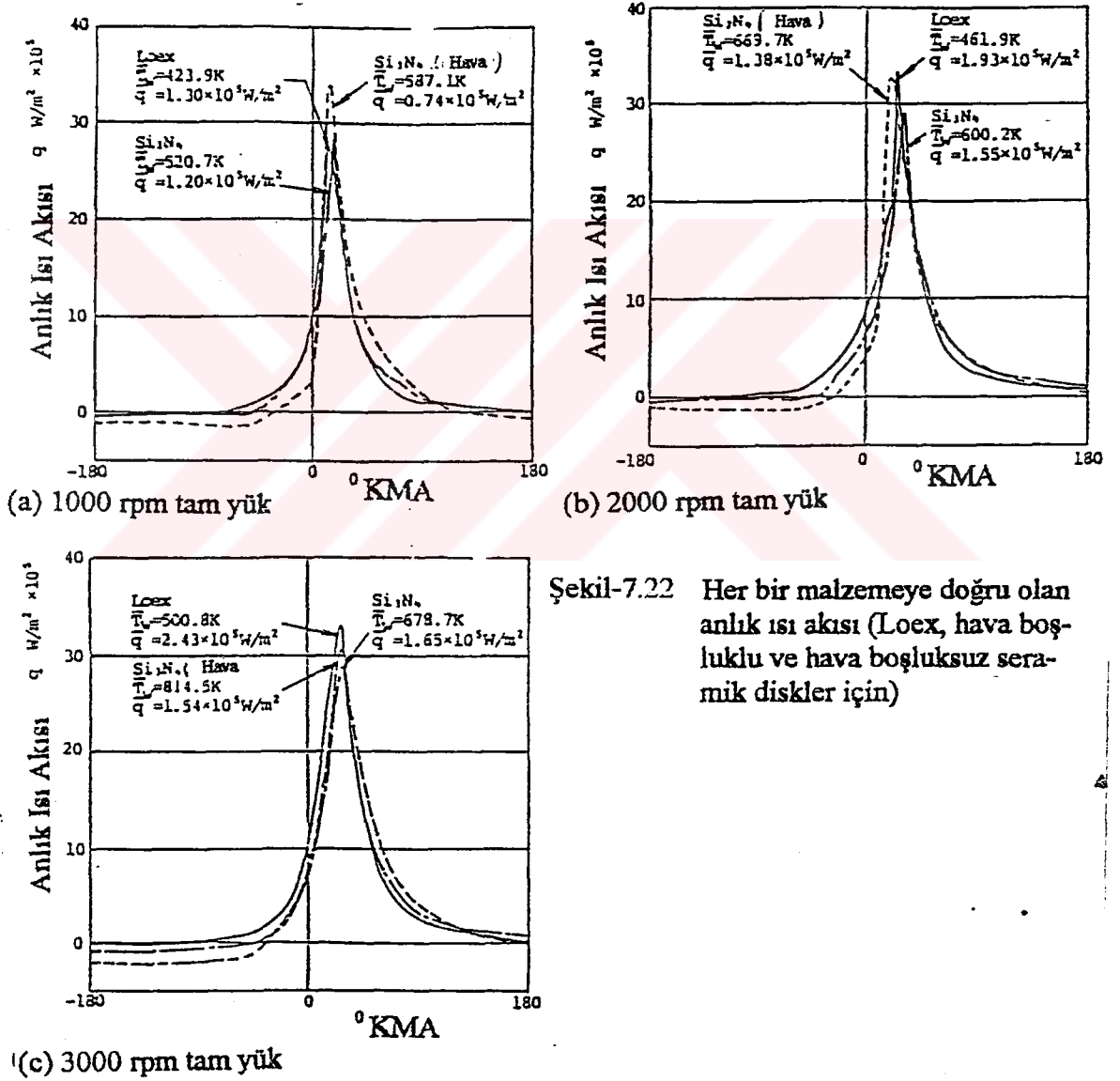
c) Bu şekilde, loex piston yüzeyine hava boşluğu olmadan direkt olarak yapıştırılan seramik disk ile elde edilen ölçüm sonuçları görülmektedir. 1 bölme 15 K'i gösterir. (b) ile kıyaslandığında ortalama yüzey sıcaklıklarının daha düşük yani 520-680 K olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin loexin ısı iletkenliğinin yüksek olmasına bağlanmıştır. Bu kısımda motor hızı arttıkça sıcaklık genliği azalmıştır. Yanmanın başlangıcından sonraki ani sıcaklık artışının (b)'deki durumdan daha az dik olduğu bulunmuştur. Bunun sebebi yüzey sıcaklıklarının düşük olmasıdır.

d) Bu şekilde şekil-7.21'de gösterilen küçük ısı iletkenliğine sahip konstantan yapılı diskin ($\lambda=23.2$ W/mK) arada hava boşluğu olacak şekilde piston oyuğunun dibine yerleştirilmesi sonucu ölçülen anlık yüzey sıcaklıklarının değişimi görülmektedir. Diyagramdaki 1 bölme 5 K'i göstermektedir. Ortalama yüzey sıcaklıkları 590-770 K dir ki bu (a)'daki loex pistondan 160-270 K daha yüksektir. Bunun sebebinin düşük ısı iletimi ve hava boşluğu olmasıdır. Sıcaklık genliği takriben 12-15 K yüksekliğindedir. Sıcaklık artışı ve azalışı da diktir.



Şekil-7.21. Konstantan yapılı ince termokupl filmi loex piston üzerindeki hava boşluklu sabit metal (konstantan) diske yüksek sıcaklıkta yerleştirildi

Enomoto ve Furuhamo yukarıda açıklanan ölçüm sonuçlarına göre her motor hızı için anlık ısı akısı analizlerini yapmışlar ve şekil 7.22-23'te loex pistonun değerleriyle kıyaslanarak gösterilmiştir. Ortalama yüzey sıcaklıkları (T_w) ve çevrim başına her malzemeye doğru olan ortalama ısı akısı şekillerde gösterilmiştir.



Araştırmacılar tarafından: malzeme yüzeyindeki ısı transfer katsayılarının değerleri ölçülmüş ve bunlar Woschni'nin ampirik formülleri ile hesaplanarak şekil-7.24'te gösterilmiştir.

Mukayese yapabilmek için loex pistonun ısı transfer katsayısı da Eichelberg Denklemleriyle hesaplanarak aynı grafikte gösterilmiştir.

Isı transfer katsayılarının ölçülen değerlerinin, Eichelberg ve Woschni formülleriyle hesaplanandan daha büyük olduğu bulunmuş ve öncekilerin, ısı transfer katsayısının pik değerleri olduğu görülmüştür. Woschni formülleriyle hesaplanan değerler ile Eichelberg formülleriyle hesaplanan değerler arasındaki mukayese sonucunda Woschni'nin değerleri Eichelberg'in değerlerinden daha büyük olduğu bulunmuştur.

Kullanılan malzemelere doğru olan ısı akısı miktarlarındaki açık farklılıkların incelenmesiyle seramiklerin ısı yalıtımı konusunda fazla etkili olmadıkları bulundu.

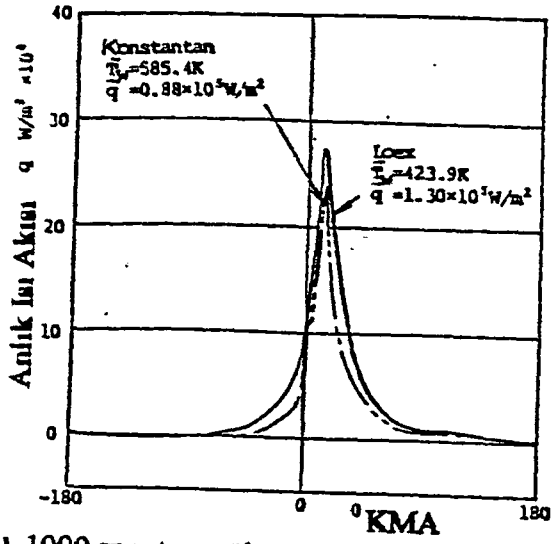
Loex piston ve hava boşluklu seramik disk arasındaki anlık ısı akısı ve ısı transfer katsayısı arasındaki farklılıkların deneyde benzinli motor kullanılması halinde de önemli olmadığı görüldü. Diesel ve benzinli motorlar arasındaki; yanma, tutuşma ve karışım teşkilindeki farklılıklardan dolayı bu mümkündür.

Şekil-7.25; Her strok için kullanılan malzemeye doğru olan ortalama ısı akısını göstermektedir. (b) de gösterilen hava boşluklu seramik diskte toplam strokta ve iş stroğu sırasında diske doğru olan ısı akısı miktarının benzinli motordakinden daha büyük olmadığı ifade edilmektedir.

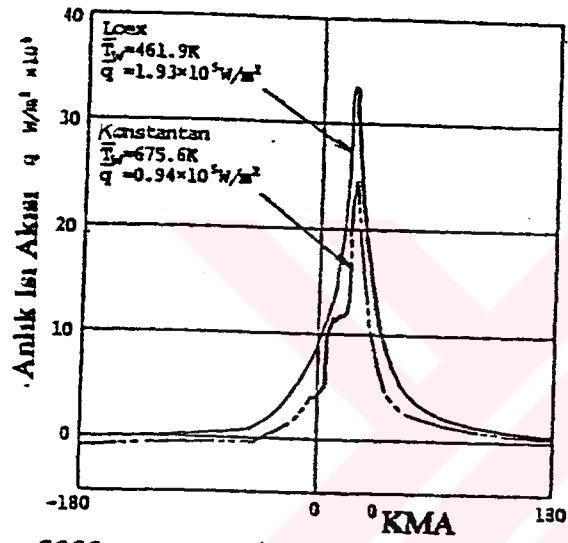
(c)'de gösterilen hava boşluksuz yapışkanlı tip seramik diskte ısı akısı miktarı iş stroğu ve toplam stroklarda neredeyse birbiriyle aynı olmaktadır. Bunun sebebinin yapıştırılmış diskteki Loexin etkisi olduğu açıklanmıştır. (c)' nin değerleri (a) ve (b) deki değerlerin arasındadır.

(d)'de gösterilen hava boşluklu konstantan disk kullanıldığı takdirde; yüksek sıcaklıktaki cidar ile egzost supabının ısı miktarı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve her ikisinin iş stroğu ve toplam stroklar için ısı akısı miktarlarının (a), (b) ve (c)' dekilerden daha küçük olduğu ifade edilmiştir.

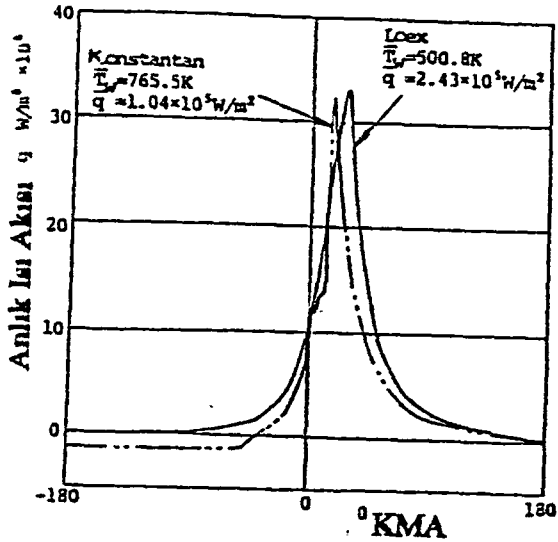
Yukarıdaki sonuçlara göre seramiklerin ısı yalıtımı konusunda etkili olmadığı bulunmuştur. Konstantanın ise bu yönden daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır.



(a) 1000 rpm tam yük

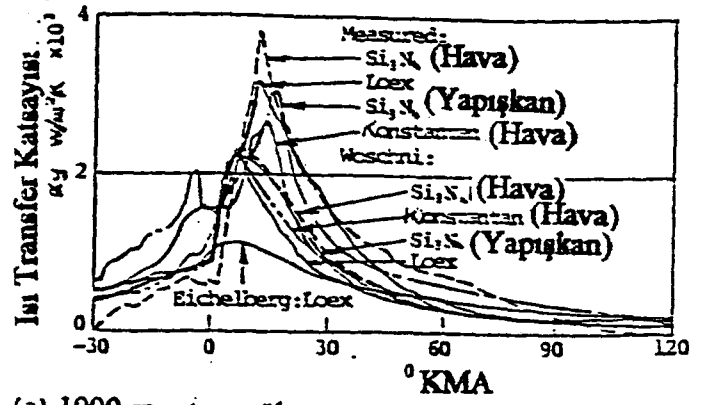


(b) 2000 rpm tam yük

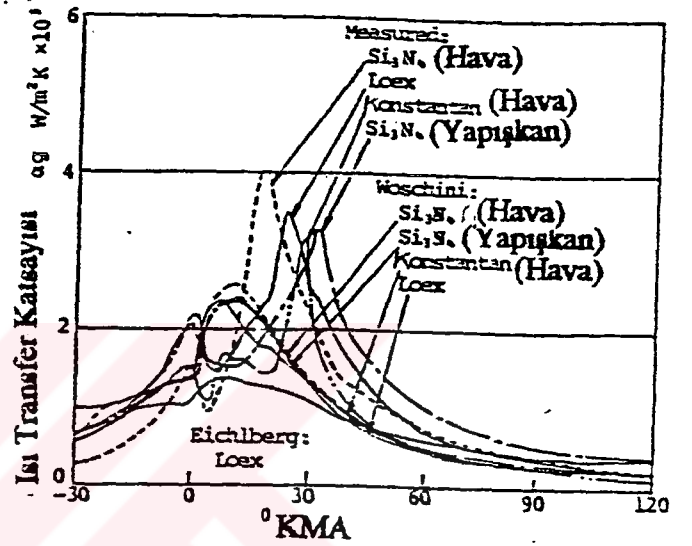


(c) 3000 rpm tam yük

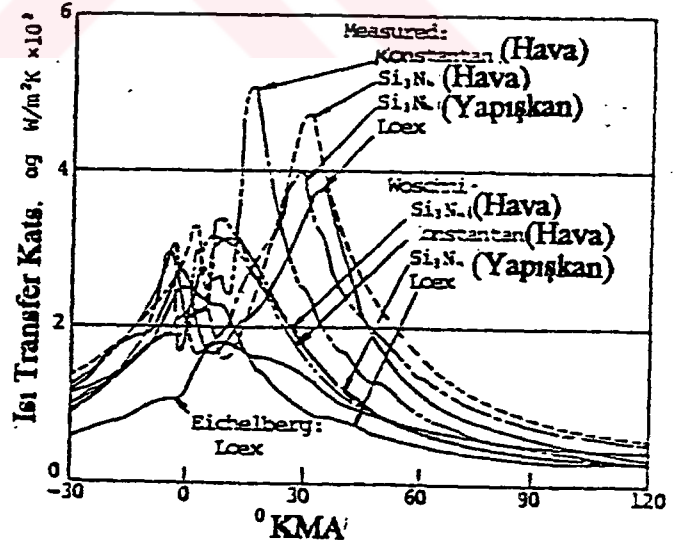
Şekil-7.23 Her bir malzemeye doğru olan anlık ısı akısı (loex ve hava boşluklu konstantan



(a) 1000 rpm tam yük

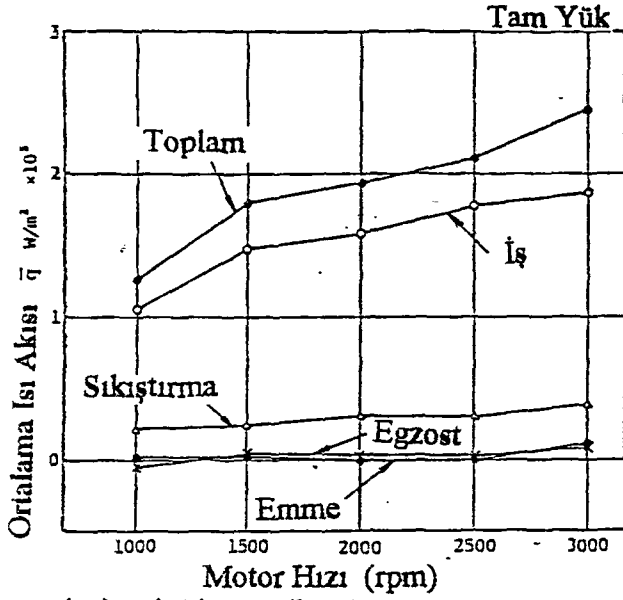


(b) 2000 rpm tam yük

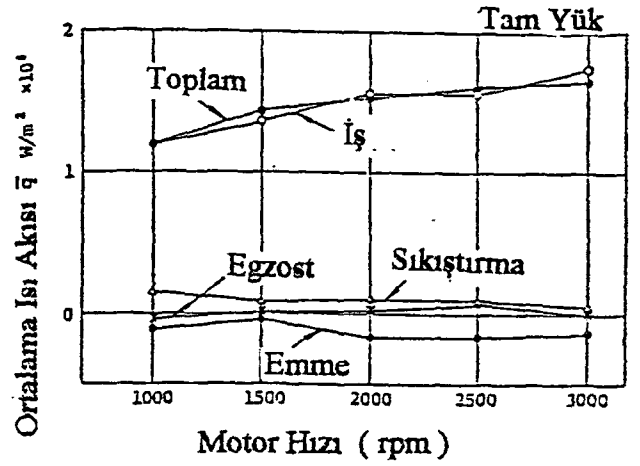


(c) 3000 rpm tam yük.

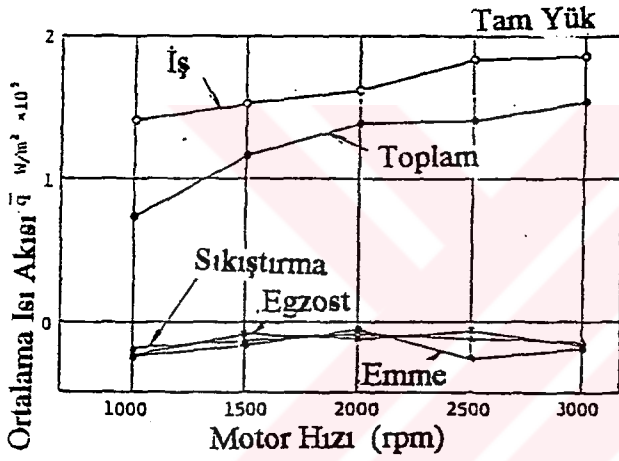
Şekil-7.24 Her malzeme yüzeyindeki ısı transfer katsayıları diesel motorunun her hız kademesi için, Woschni, Eichelberg denklemleri ve ölçüm değerleri ile tespit edildi.



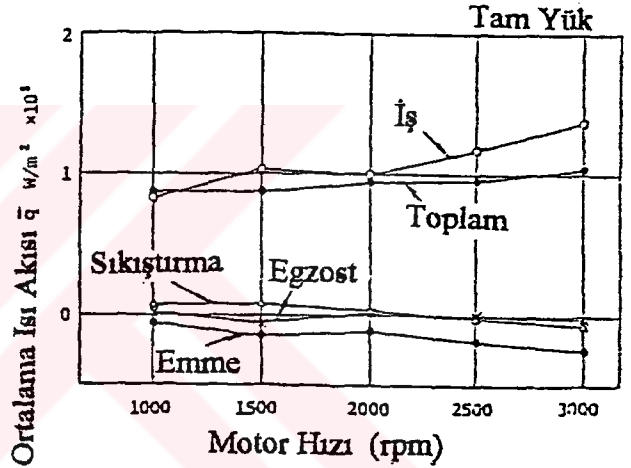
(a) Al-Alaşımı (loex) yüzey



(c) Yapışkanlı tip hava boşluksuz seramik disk yüzey



(b) Hava boşluklu seramik yüzey



(d) Hava boşluklu konstantan disk yüzey

Şekil-7.25. Diesel motorunun her stroğunda, her malzeme için yüzeye doğru olan ortalama ısı akısı

Çalışma sayesinde aşağıdaki bulgular ortaya çıkmıştır.

1. Beklenilenin aksine yanma periyodunda; seramik cidarlı motorlarda, cidarları alüminyum alaşımı ile kaplanmış motorlardan daha fazla miktarda ısı piston yüzeyine transfer olmaktadır.
2. Yanma odasındaki seramik duvarın, yanma sırasında ısı kaybını düşürmediği bulunmuştur. Fakat aşırı doldurma elemanları ile motor veriminin yükseltilebileceği görülmüştür.

3. Seramik duvarlarda bir çevrimde baştan başa olan ısı transferi, cidarları alüminyum alaşımı olan motora göre daha küçük olmaktadır. Çünkü emme ve sıkıştırma stroğu sırasında, yanma odasında yüksek sıcaklıktaki cidardan düşük sıcaklıktaki gaz karışımına doğru ısı transferi olur.
4. Benzinli motorlarda silikon nitrat seramik yüzeydeki ortalama sıcaklık loex pistondan 150-260 K daha yüksek olmuştur. Bu da iş stroğu sırasında ısının Eicheiberg denklemleriyle hesaplanandan daha büyük bir ısı transfer katsayısıyla cidar yüzeylerine gittiğini gösterir. Yani iş stroğunun ilk safhasında seramikteki ısı kaybı, loex pistonun ısı kaybından daha büyük olmuştur.
5. Diğer stroklarda bunun aksine ısı kaybı loex pistonun %50'si kadar az olmuştur.
6. Isı transfer katsayısı; hafif vuruntu durumlarında aniden arttı. Bunun sebebi; hafif vuruntu ile yüksek sıcaklıktaki yanma odası cidar yüzeyinin çevresindeki sıcak sınır tabakasının tahrip olması olabilir.
7. Deneyde diesel motoru kullanıldığında anlık ısı akısı ve seramik malzemeyle loex arasındaki ısı transfer katsayısı, benzinli motordakinden önemli farklara sahip olmamaktadır.
8. Seramikler ısı yalıtımı bakımından etkili değildirler. Konstantan malzemeli cidarların, yüksek sıcaklıklara karşı daha etkili olduğu bulunmuştur.

(Y. Enomoto, S. Furuhamo, SAE 1986)

8. DİSEL MOTORLARDA METAL VE SERAMİK YÜZEYLER ARASINDAKİ ANLIK ISI AKISININ İNCELENMESİ

Adyabatik motorlarda, seramik yüzey sıcaklıkları ve ısı akısı ölçüm analizleri için özel bir çaba gösterilmelidir. Klasik soğutmalı motorlarda, yüzey sıcaklıklarını ölçen transduserler silindir cidar sıcaklığı dağılımını önemli miktarda değiştirmeden yüzeye yerleştirilebilir. Yüzey termokupl transduseri silindir cidarının bir parçası kabul edilip geometrik şekle ve cidarın termal özelliklerine dahil edilebilir. Ama seramik cidarların termal özellikleri yüksek sıcaklık yüzey termokuplları için çok farklıdır. Bu nedenle kullanılan araçların dizaynı ve verilerinin değerlendirilmesi daha bir dikkat ister (G.Borman,1987).

Çalışmakta olan bir motorda mevcut yüzey sıcaklığı ve ısı akısı, çevreleyen cidar sıcaklığı ile yakından ilgilidir. Bu, yalnız katının iletkenliği ile değil, aynı zamanda ters akıntı şartlarını akıntı yönündeki yüzeylere ileten silindir içi gaz akıntısı sayesinde oluşur. İzotermal olmayan yüzeylerdeki cebri konveksiyon çalışmaları göstermiştir ki, tahmin edilecek olan ısı akılarında yüzey sıcaklık farklılıkları dikkate alınmadan yapılan hesaplar, sıcaklık değişimleri dikkate alınarak yapıldığında önemli ölçüde farklılıklar ortaya çıkar. Bu bulgular gösteriyor ki: bölgesel ısı akısı ölçümleri ters akıntı şartları da dikkate alınarak tekrar yapılmalı ve değerlendirilmelidir (özellikle sıcaklık dereceleri gazın akış yönüne doğru artıyorsa). Adyabatik motor cidarlarının düşük iletkenliğe sahip olması, alüminyum gibi iletken bir malzemeye göre daha büyük yüzey sıcaklıklarına sahip olması demektir.

Adyabatik motorlarda silindir içi ısı transferinin, sonraki etkilerinin daha iyi anlaşılması amacıyla yapılacak karşılaştırmalar için, benzer çalışma şartlarında ve benzer konfigürasyona sahip klasik soğutmalı motordaki ısı transferi incelenmelidir. Aynı zamanda iki tip motor arasındaki yanma karakteristiği farklı ise ayrı ayrı oluşan etkenler bu gibi kıyaslardan uzak tutulmalıdır. Her iki tip motor için yapılan ısı transferi karşılaştırmaları, ölçüm şekli ve yakıt püskürtme yerleri gibi evrensel ayırt edici faktörler olmaksızın yapılmalıdır.

Yalıtılmış metal silindir cidarlarına yapılan ısı transferinin karakteristiği aynı zamanda düşük ısı iletimli motor uygulamalarının da ilgi alanıdır. Silindir yüzeyinin

uygun bir bölümü yalıtıldığında, lokal yüzey sıcaklıkları, adyabatik motordaki kadar yükseltilebilir. Fakat yanma da önemli bir değişiklik yapılmamalıdır.

Böyle yapılacak bir çalışma daha önce hiç belgelenmemiş olan metal yüzeylerdeki ısı transferi verilerini ve seramik yüzeylerden alınan verilerle yapılan yararlı kıyaslamaları ortaya çıkarır.

Şimdilik motordaki seramik yüzeylere olan silindir içi ısı transferi hakkındaki deneysel veriler Dao ve arkadaşları ile (8) ile Enomoto ve Furuhamaya aittir (3). Dao ve arkadaşlarının çalışması, pyrex diske intibak için uyarlanmış bir motorla yönelmiştir. Bu çalışma, gerçekte, yüzey sıcaklığı derecesinin ve çevrimsel yüzey sıcaklığındaki değişimin büyüklüğünün metallere daha fazla olduğunu gösterdi. Pyrex yüzeyin yüksek sıcaklıklardaki oynak karakteristiği, daha yüksek duyarlılıktaki ısı akısı transduserini elde etme isteğine sebep oldu. Dao'nun elde ettiği sonuçların içten yanmalı motorlar için uygulanması zordur. Enomoto ve Furuhamaya bir diesel motordaki seramik yüzeyle ısı transferi çalışmasını yapmışlardır. Bu konudaki çalışma bölüm (7)'de anlatılmıştır. Isı akısı transduserlerinin konfigürasyonu yüzünden bulunan sonuçların değerlendirilmesi zordur. Çünkü bileşik yüzey termokupulları metal ve seramik yüzeylerin her ikisinin sonuçlarına da etki edebilecek yerlere yerleştirilmişlerdir.

G.Borman'ın burada yaptığı çalışmasının amacı; yekpare ve kısmen kararlı yapıdaki zirkonya (PSZ) için özel ısı akısı transduseri geliştirmek, silindirdeki gazdan PSZ yüzeyine doğru olan ısı akısı hakkında deneysel veriler elde etmek ve elde edilen verilerle, yalıtımlı ve yalıtımsız metal yüzeyler arasında bir karşılaştırma yapmaktır. (G. Borman, 1987

Araştırmacının bu çalışmada kullandığı motor, tek silindirli TACOM - LABECO motorudur. Bu motor dört stroklu ve direkt püskürtmeli bir diesel motordur. Motorun özellikleri ve yakıt sistemi aşağıda belirtildiği gibidir. Çalışma sırasında motorun eksiklerinin gözden geçirilmesi gerekmiş ve sıkıştırma oranı 22:1'den 17:1'e indirilmiştir.

Motor ve Yakıt Sisteminin Özellikleri

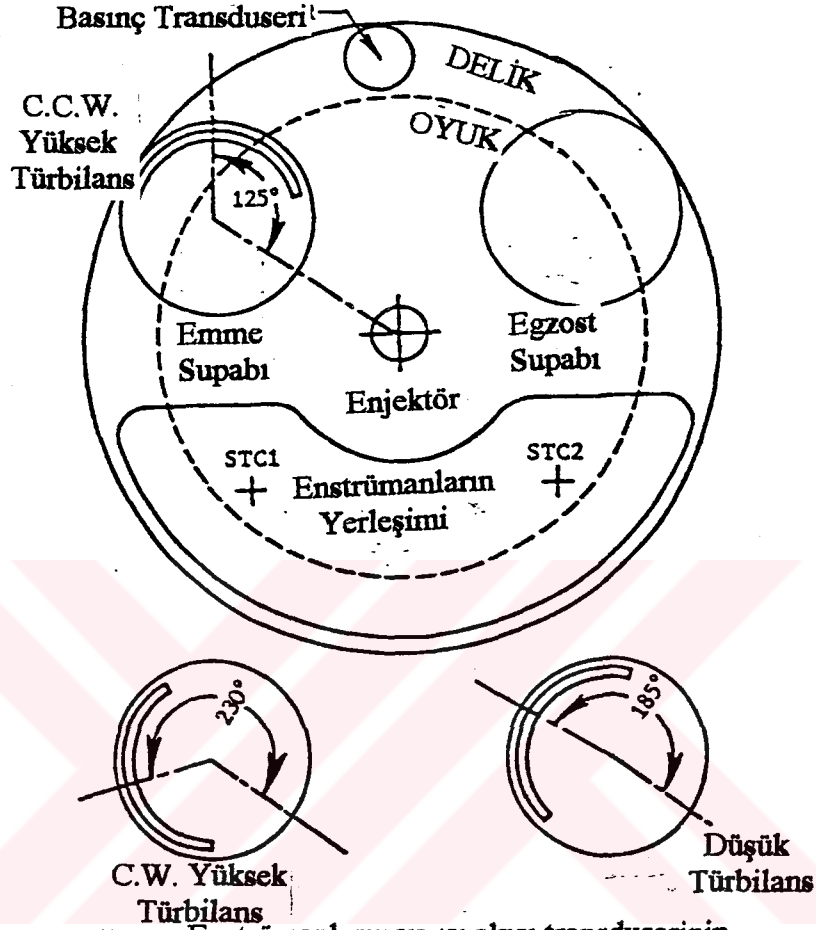
Silindir çapı	: 114.3 mm
Strok	: 114.3 mm
Bağlantı mili uzunluğu	: 228.6 mm
Yer değiştirme (Deplasman)	: 1172.8 cc
Emme türbilas derecesi	: Çeşitli
Püskürtme pompası	: Amerikan Bosch marka Tip: APE 1B - 80P - 4843A (8 mm piston çaplı) -
Yakıt püskürtücüsü	: Tutacak: Amerikan Bosch marka AKN - 90M - 6425A Nozül : Amerikan Bosch marka M77 - 7968 (Harvester Co. tarafından üretilmiştir.) 4 X 0.274 mm. X 150° (Dahili Açı) 18,614 Mpa (2700 Psi) Açılış Basıncı
Supab Avansları	: Emme Supabı: ÜÖNÖ 20 ° KMA' da açılır AÖNS 40 ° KMA' da kapanır. Egzost Supabı: AÖNÖ 50 ° KMA' da açılır ÜÖNS 10 ° KMA' da kapanır.

Silindir Kafası Portu

Bu çalışmada kullanılan silindir kafası makinada işlemeye uygun çelik malzeme ile yapılmıştır. Silindir kafasındaki gaz yolu yanma odasına 30 cm³ 'lük giriş alanı sağlar. Bu alanda silindir kafası alanının % 30' u civarındadır.

Gaz yolunun yeri şekil (8.1)'de gösterilmektedir. Bu kısım transduser portunun gaz tarafı yüzey sıcaklığının soğutulan çelik kafaya göre farklı olmasını sağlayarak porta

yardımcı olacaktır. Çünkü onun boyutu ve bulunduğu yer nedeniyle port sıcaklığının motordaki yanmaya çok az etkisi olacağı belirtilmiştir.

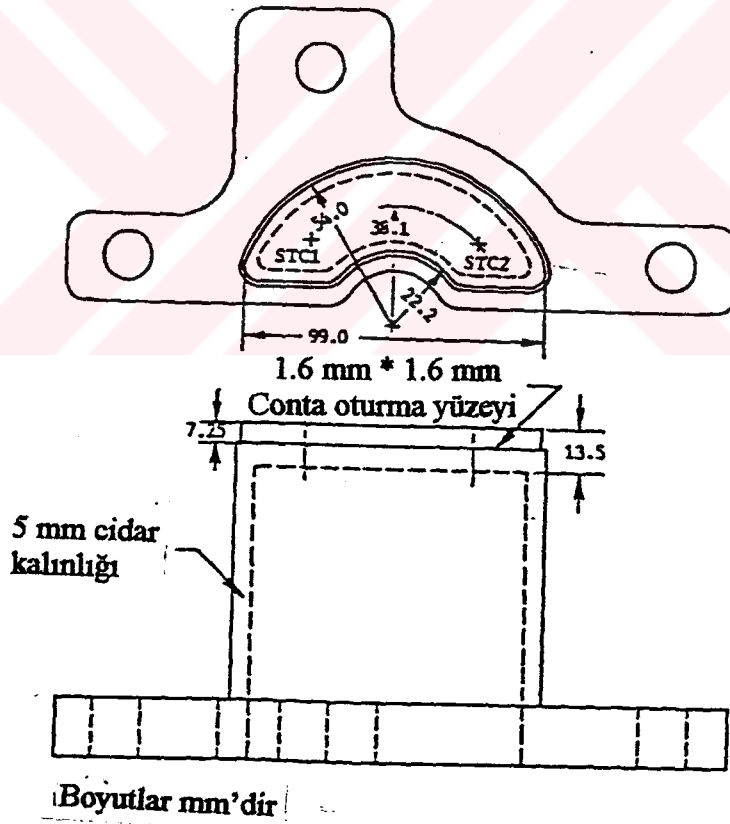


Şekil-8.1. Enstrümanların ve ısı akısı transduserinin yerleşim yerleri ile emme supabının üç pozisyonu

Silindir kafasının kısmi yalıtılmasıyla oluşan bu gibi yanma duyarsızlığı, benzer motor konfigürasyonu ile alınan deneysel verileri doğrulamıştır. Bu çalışmada, ısı akısı transduserleri ve arka kısımları özel yalıtılmış bir portun denendiği belirtilmiştir. Eşit sıcaklıkta olmayan ters akıntı şartlarının ölçümler üzerindeki etkisini en aza indirmek için, portun alt akıntı kısmına birinci ısı akısı transduseri yerleştirilmiştir (Türbilansın, silindir akıntısının etkin bir kısmı olduğu düşünülerek). İkinci ısı akısı transduseri portun ters akıntı kısmına yerleştirilerek sabit sıcaklıkta olmayan ters akıntı şartlarının

etkilerini değerlendirmek için ilk transduserle kıyaslanmasını sağlamıştır. Şekil (8.1)'de görüldüğü üzere iki transduser burada STC1 ve STC2 olarak isimlendirilmişlerdir. Bunlar portta 90° 'lik simetriye sahip olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Transduserler 4 yakıt püskürtücüsüyle aynı pozisyonlarda olmak üzere özellikle sabit sıcaklıkta olmayan ters akının etkisiyle her iki transduserde oluşan farklılıklar incelenmiştir. Bir yakıt püskürtücüsünün ekseni her iki transduserin altından geçmektedir. Kapalı emme supabı, istenilen hava türbilans şiddetinin ve yönünün verilmesi için ayarlanabilmektedir. Şekil (8.1)'de gösterilen 125° 'lik kapanma pozisyonu standart işletme şartıdır. Diğer iki kapanma pozisyonu ise türbilans etkilerinin parametrik araştırması için kullanılır.

Portun silindir kafası üzerine bağlantısı 1.6 mm 'ye 1.6 mm çapraz enine kesiti olan saf bakır conta ile sağlanmışır. Şekil (8.2), portun ve bakır contanın oturtulacağı yatağın boyutlarını göstermektedir. Portun, silindir kafasına tesbiti uçlardaki üç delik ile sağlanmışır.



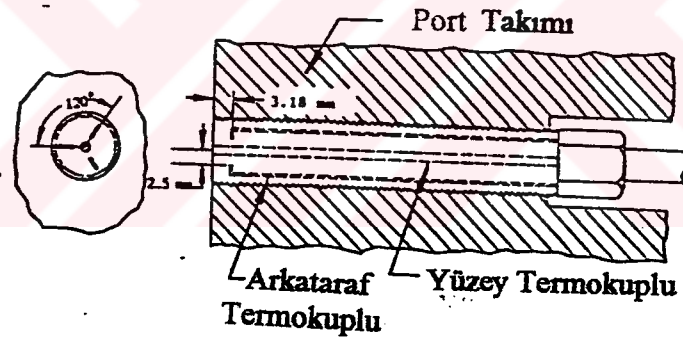
Şekil-8.2. Portun boyutları ve iki ısı transduserinin yeri

Motorun ihtiyacı olan emme havası aşırı doldurma sistemindeki gibi olması için ısıtılıp sıkıştırılır. Egzost çıkış basıncının, emme basıncı ile uygunluğu kontrol edilir. Kullanılan yakıt 1 ve 2 numaralı diesel ile 47 setan numaralı yakıtın karışımıdır.

8.1 PORT ELEMANLARI

Port elemanları, port gövdesini, portun gaz tarafına yerleştirilerek çalışan malzemeyi, uygun arkataraf yalıtımını ve ısı akısı ölçen transduserleri kapsar. Transduser, bir yüzey termokuplu ve istenilen sıcaklıklardaki bölgesel ısı akısını bulmak için bir ya da birkaç arkataraf termokuplundan oluşmaktadır. Bu çalışmada port gruplarının toplam üç konfigürasyonunun da kullanıldığı belirtilmiştir. Bunlar isimlendirildiğinde; baz alınan veriler için yalıtılmamış metal grubu, yalıtılmış metal tabaka grubu ve zirkonya tabakalı gruptur.

Şekil (8.3), yalıtılmamış metal port grubunun ısı akısı transduserini göstermektedir.



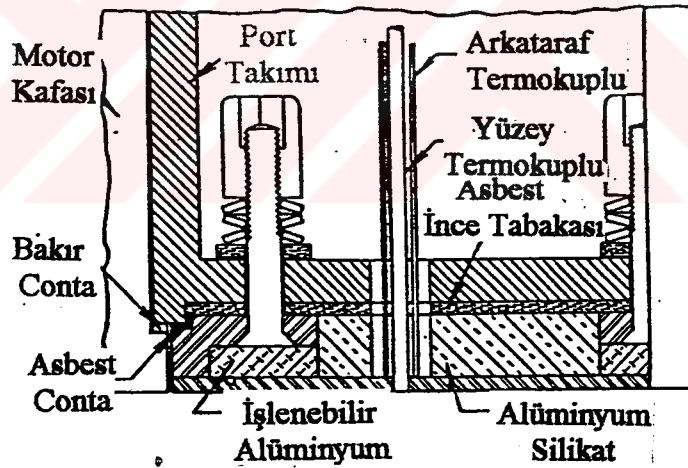
Şekil-8.3. İkinci Yalıtılmamış Port Takımı için Isı akısı Transduseri

Transduser, aynı eksenli J-tipi yüzey termokuplu ve üç adet K-tipi arkataraf termokuplundan oluşmaktadır. 1.5 mm çaplı yüzey termokuplu, Bendersky tipidir ve 1 mikron kalınlığında krom kaplı olarak imal edilmiştir. Yüzey termokupl bileşimi uç merkeze yerleştirilmiştir. Arkataraf yüzey termokuplları ise uçtan 3.18 mm uzakta ve

birbirlerinden 120° ayrılıktaki yerlere konulmuştur. Üç arkataraf termokuplunun sıcaklık ortalamaları alınarak tek boyutlu ısı akışı tahmini için uygun bir sıcaklık bulunabilir.

Üç arkataraf termokuplundaki sıcaklıklar üzerine yapılan kıyaslamalar tek boyutlu sıcaklık alanının uyumsuzluğunun büyüklüğünü gösterir. Arkataraf termokupları, transdusere pirinç kaynağı ile yerleştirilmiştir. 0.5 mm çaplı metal kaplı minyatür termokupl bileşimi radyal olarak delinmiş deliklere ve transduser gövdesindeki eksenel oyuklara yerleştirilmiştir. Transduserin malzemesi olan 1010 çeliğinin termal özellikleri J-tipi yüzey termokupla ve porta uygunluk göstermektedir. 400°C 'ye kadar dayanıklı bir yapıştırıcı ile transduserdeki eksenel oyuklar ile transduser ve port arasındaki çatlaklar araştırmacılar tarafından doldurulmuştur.

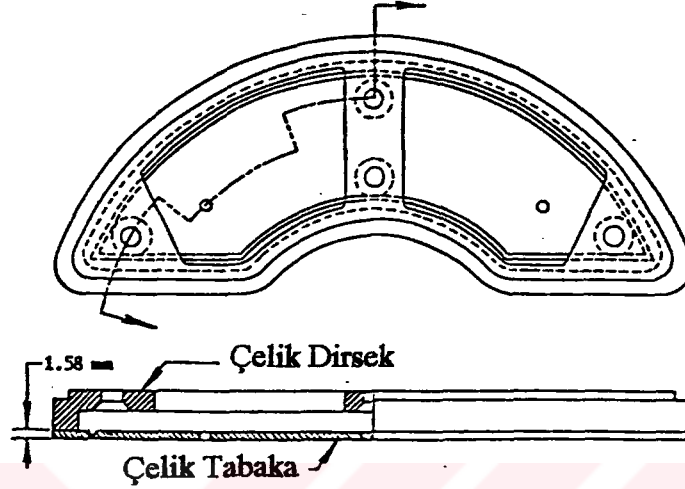
Port ve silindir kafasının bağlantısını sağlayan bakır conta aynı zamanda çok iyi bir ısı ileticisidir. Motorun çalışma şartlarını sabit tutarak portun gaz tarafındaki yüzey sıcaklığını arttırmak için bu taraftaki yüzeyin çok iyi yalıtılması gerekir. Bu, portun gaz tarafı yüzeyinin port gövdesinden fiziksel olarak ayrılıp, yalıtım yapılarak tekrar bağlanması ile sağlanabilir. Şekil (8.4), yalıtılmış metal tabaka grubunu göstermektedir.



Şekil-8.4. Metal tabaka ile yalıtılan Port Takımı

Şekil (8.5)'te alet tabakasının üzerine yerleştirildiği tabaka ve desteğin yapısal özellikleri gösterilmektedir. Borman'ın belirttiğine göre, 1.58 mm kalınlığındaki 1010 çelik tabaka, çelik desteğin üzerine dış çevresinden kaynaklanmıştır. Destekteki ısı

kaybını önlemek için tabakanın tersinden her tarafına makinayla 0.8 mm'ye 0.8 mm'lik oyuklar açılmıştır. Isı akısı transduseri; eş eksenli ve 1.55 mm çaplı J-tipi termokupla, ve 0.5 mm çaplı minyatür termokupl oyuklarına sahip üç adet K-tipi arkataraf termokupluna sahiptir.



Şekil-8.5. Yalıtılmış Metal Port Takımı için Metal Tabaka ve Dirsek

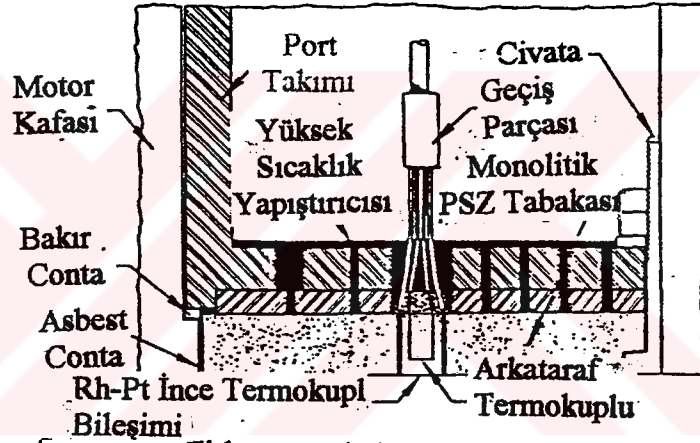
Yüzeysel termokuplları tabakaya sıkı geçme ile yerleştirilmişlerdir. Üç arkataraf termokuplu yüzeysel termokuplu çevresine kaynaklanmış ve birbirleri arasında 120°'lik açı bulunmaktadır. İşlenebilir alüminyum silikat (AS) tabakası, çelik tabakalara destek olmak üzere kullanılmıştır. Hava ateşlenmesinden sonra, AS tabakasının nominal (varsayılan) sıkıştırma dayanımı 260 MPa ve maksimum çalışma sıcaklığı da 1150°C'dir. Ateşleme sırasında AS tabakasının termal iletkenliği 0.11 W / cm.°C'dir. İki parçalı AS tabakası desteklerdeki açıklıklara uyacak şekilde hazırlanmıştır ve ısı akısı transduserini temizlemek için her parçaya 6 mm çapında bir delik delinmiştir. Destek altındaki boşluklar desteği kuvvetlendirmek için işlenebilir alüminyum ile doldurulmuştur. İşlenebilir alüminyumun nominal sıkıştırma dayanımı, işlendikten sonra 35 MPa'dır ve nominal ısı iletkenliği de 0.014 W / cm.°C'dir.

Gaz geçirilmeyen conta görevi yapmak amacıyla 1.5 mm kalınlığındaki asbest tabakası, alet tabakası ve port arasındaki yalıtım ile bağlantıyı sağlamak için kullanılmıştır. Alet tabakası porta 4 adet civata ile bağlanmıştır. Port ve tabaka

arasındaki boşluk plastik asbest tabakası ile doldurulmuştur. Bitirilen port grubu, contanın etkinliğini ve lehimlenen parçaların oturmasını kontrol etmek amacıyla 14 MPa'lık basınç odasına monte edilmiştir.

Yalıtılmış metal port grubunun muhtemel bozulması, tabii emme şartlarında eşdeğer oran 0.8 olacak şekilde sıcaklık yükselmesine kadar sürmüştür. Ortalama zaman yüzey sıcaklığı, bozulmadan önce 600°C olarak ölçülmüştür. Orta kısmından çöken çelik tabaka, işlenebilir alüminyum ile desteklenmiştir. Port grubunun parçalanması üzerine, arkataraf termokupl bileşimi, tabakanın arka tarafından bağımsız olarak incelenmiştir.

Şekil (8.6), 6.35 mm kalınlığındaki monolitik (yekpare) zirkonya tabakalı port grubunu göstermektedir.



Şekil-3.6. Zirkonya Tabaka ile Yalıtılmış Port Takımı

Magnezyum ile kısmen dengelenmiş zirkonya tabakası, maksimum dayanıklılığa sahip olacak şekilde sinterlenmiştir. Tabakanın yüzey pürüzsüzlüğü 0.4 mikrondan daha azdır ve neredeyse sıfır gözenekliliğe sahiptir. Bu PSZ'nin termal özellikleri aşağıda gösterildiği gibidir.

Nilson MS Dereceli Monolitik PSZ'nin Termal Özellikleri

Yoğunluk : 5.698 gr / cm³

Termal genleşme katsayısı : 10.9 X 10⁻⁶ 1 / °C (RT - 1000 °C)

Sıcaklık (°C)	Termal İletkenlik (W / cm. °K)	Özgül Isı (j / gr. °K)	Termal Difüzyon (cm ² / sec) X 10 ⁻³
22	0.0308	0.470	11.50
100	0.0296	0.515	10.10
200	0.0270	0.552	8.57
300	0.0255	0.574	7.81
400	0.0246	0.593	7.29
600	0.0246	0.630	6.57
700	0.0236	0.640	6.30
800	0.0230	0.648	6.01
900	0.0222	0.655	5.77
1000	0.0214	0.660	5.69

Rh-Pt ince film termokuplu, 0.38 mm çaplı rhodium ve platin tellerin zirkonya bağlayıcısı ile sağlamlaştırılarak, tabakadaki 0.39 mm çaplı deliğe yerleştirilmesi ile imal edilir. Gaz tarafındaki yüzeyde teller tabana gömülmüştür. 1 mikrometre kalınlığındaki yarı dairesel platin ince filmi, emerek-buharlaştırma ile gaz tarafı yüzeyindeki platin tel üzerine örtülmüştür. Aynı kalınlıktaki rhodium filmi ve tekrar yapılan rhodium telden oluşan örtü emerek buharlaştırma için ters döndürülmüştür. Termokupl bileşimini oluşturmak için iki film üst üste yapıştırılmıştır. Rh-Pt ince filmi 6 mm çapa sahiptir ve Rh-Pt bileşimi boyut olarak 1 mm'ye 6mm'dir. Rh-Pt ince bileşimi çok küçük termal yüke sahiptir ve bağlantı tellerinden oluşan ısı kaybı önemsizdir. Bu nedenle ince film bileşimi, PSZ tabakasının gaz tarafındaki yüzey sıcaklığını tam olarak gösterir. Arkataraf termokuplu, 0.025 mm çaplı çıplak K-Tipi termokupl tellerinin 1.46 mm çaplı, 4.64 mm'lik PSZ silindiri çevresine sarılarak imal edilmiş ve silindir yüzeyinin merkezine yerleştirilmiştir. Silindir, sonradan tabakadaki

yüzey bileşiminin arkasındaki kör deliğe yerleştirilmiştir. Bu arkataraf termokupl konfigürasyonu, tel bileşimi içinden kaçan ısıyı azaltır. Daha fazla zirkonya bağlayıcısı PSZ tabakasının arka tarafına ilave edilir. Böylece transduser tellerinin güvenliği sağlanır. Port ve PSZ tabakası arasındaki bağlayıcılık, portta açılmış bir çok deliğe, yüksek sıcaklıklarda da özelliğini kaybetmeyen yapıştırıcının dolduruluşu sayesinde sağlanmıştır ve bu durum şekil (8.6)'da gösterildiği gibidir. Bu da yapıştırıcının birleştirme dayanımının çok iyi olduğunu gösterir ve bu nedenle PSZ tabakasının bir çok yerinde bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Küresel yapıştırıcının çok iyi mekanik dayanıklılığı ve termal kararlılığı vardır. Fakat çok yüksek genleşme katsayısına da sahiptir. ($64 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ } ^\circ\text{C}$). Bu nedenle, PSZ tabakası ile port arasında sürekli uygulanmaya elverişli değildir (G.Borman,1987).

Rh-Pt yüzey termokuplunun yeterliliği, dairesel titreşimli kaynak ve kararlı sabit kaynak ile onaylanmıştır. Derecelendirilen kararlı durum konveksiyon fırınında gerçekleştirilmiş ve titreşimli laser kaynağı, bileşimin geçici tepkisini kaydetmek için kullanılmıştır.

Motorun 12 saatlik çalışmasından sonra temizlenen PSZ tabakasında yapılan görsel araştırmada; tabakanın gaz tarafı yüzeyindeki STC2 'nin iki deliğinden birinde, yakın köşeye kadar süren çatlama görüldüğü bildirilmektedir. Çatlak her iki ucundan da iyi durdurulmuş ve yüksek sıcaklıkta çalışabilen yapıştırıcı etkili olmuştur.

8.2 DENEY ŞARTLARI

G.Borman ve arkadaşlarının adyabatik motordaki ısı akılarını ölçmek amacıyla yaptıkları deneyde yalıtımlı ve yalıtımsız metallerin karşılaştırılması çalışmaları oldukça yüksek sıkıştırma oranı olan 22:1 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma çalışmasının ardından motorun rektifiyesi gerekmiş bunun sonucunda da; bir kaç parça değiştirilmiş, yağ dolaşım sistemi yeniden dizayn edilmiş, yeni bir piston oyuğu (üst yüzeyi) tasarlanmış ve daha düşük sıkıştırma oranı olan 17:1 seçilmiştir. Şekil (8.8)'de eski ve yeni piston oyuğunun geometrisi görülmektedir. Püskürtülen yakıtın içeri giriş hesaplamalarının Hiroyaşu'nun bağıntıları ile yapıldığı belirtilmiştir. Bu hesaplamalar göstermiştir ki; eski oyuğun geometrisi yakıtın cidara çarpması sebebiyle bozulmuştur.

Yeni oyuk tasarımıında bulunan yakıt püskürtme odacığının yararlı olacağı düşünölmüştür. Düşük volümetrik verim, emme kondisyonunu arttıracak kafa araştırmalarına sebep olmuştur. Düşük sıkıştırma oranı olan 17:1'in emme kondisyonunu arttırmak için daha uygun olacağı düşünölmüştür.

Aşağıdaki tabloda listelenen standart işletme parametreleri (SİP), yalıtılmış ve yalıtılmamış metalin kıyaslanma çalışmaları ile yalıtılmamış metal ve zirkonya tabakasının kıyaslanma çalışmaları sırasıyla SİP1 ve SİP2 olarak isimlendirilmiştir. Belirtildiğine göre, emme kondüsyonunun artırılması aslında SİP1 için planlanmıştı, buna rağmen, yalıtılmamış metal port grubu, emmedeki artış tamamlanmadan başarısızlığa uğramıştır. Böylece SİP1 için, tabii emmeli giriş şartları seçilmiştir. Araştırma kafasının dizaynı ile yağlama supab grubu ve termal yüke sınırlama konulduğundan düşük bir motor hızı olan 1000 rpm seçilmiştir (G.Borman).

Standart İşletme Parametreleri - 1 (SİP1)

Hız	: 1000 rpm
Püskürtme Zamanı	: ÜÖNÖ 22 ° KMA
Eşdeğerlik Oranı	: 0.5
Emme Kondüsyonu	: Tabii çekişli
Emme Supabı Kapanma Pozisyonu	: 125°

Standart İşletme Parametreleri - 2 (SİP2)

Hız	: 1000 rpm
Püskürtme Zamanı	: ÜÖNÖ 15 ° KMA
Eşdeğerlik Oranı	: 0.5
Emme Basıncı	: 1.5 atm. (mutlak)
Emme Sıcaklığı	: 65 °C
Emme Supabı Kapanma Pozisyonu	: 125°

8.3 VERİ ELDE ETME VE ANALİZLER

Yüzey termokupl sinyalleri her krank açısı derecesinde iki örnek olmak üzere 200 ardışık çevrim için, geliştirilmiş ADAC analogdan dijital veri elde etme sistemi (DAS) kullanılarak dijitalize edilmiştir. ADAC sistemi, dış saat girişi ve tekrar başlama girişi almak için geliştirilmiştir. Bir datametri artış şifreyicisi, motor krank milinin her 0.5 KMA derecesinde verdiği titreşim sinyallerini AÖN'yi referans alarak işaretliyor ve böylece krank devri, titreşim olarak işaretlenmiş oluyor. İşaret sinyalleri AÖN'da, sıkıştırmadan önce DAS tekrar girişi için birikir. Bu ünite toplam 100 kHz oranındaki 8 kanal girişini dijitalize edebilir. Dijitalize edilen 10 bit'lik veri grup-ortalaması ile 35.6 Megabaytlık harddiske kaydedilebilir. Daha detaylı bir araştırma için bilgiler bilgisayara aktarılır. Silindir basıncı ve injektör yakınındaki püskürtme basıncı da örneklendirilmiş ve aynı derece de azaltılmıştır.

Yüzey termokupl sinyalinin dengelenmesi, DAS ile akla uygun bir başarıyı meydana getirmektedir. Zaman esas alınarak çözülme ihtiyacı olan yüzey termokupl sinyalleri, çevrimsel - dalgalanma kısımlarıdır ve bunlar sinyalin zaman-ortalamalı kısmına göre daha küçüktürler. Bundan dolayı zaman-ortalamalı değerler düzgünce dengelendi ki; DAS çözümünün iyi bir kullanımı yapılmış olsun.

İki kademeli yükseltici yüzey termokupl sinyallerini arttırmak için kullanıldı, onun çevrimsel-dalgalanmalı kısmı 10 volt seviyesindedir. Elverişli doğruakım dengeleyici gerilimi, sinyal yükselticisinin ikinci kademesinde başladı. Arka yüzey termokupl sıcaklığı ve yüzey termokuplu doğru akım dengeleyici voltaj sinyalleri programlanabilir hafıza kaydedicisi tarafından kaydedilmiştir.

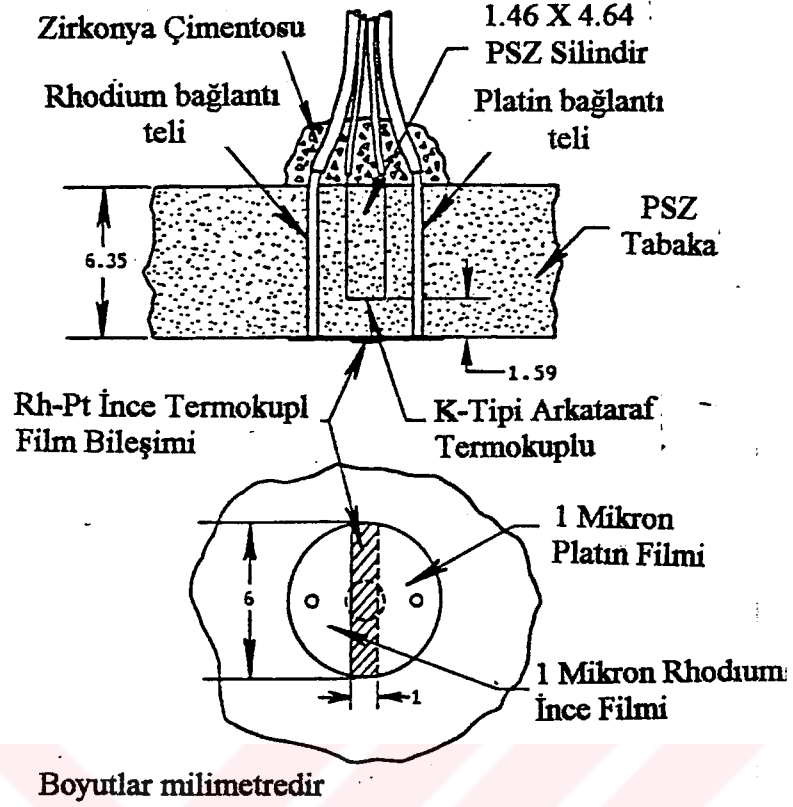
Borman'ın yaptığı deneydeki yüzey akısı hesaplarının Overby ve arkadaşlarının (10) tarif ettiği şema kullanılarak yapıldığı belirtilmiştir. Grup-Ortalamalı yüzey sıcaklık verileri, bu gibi hesaplamalar için 100 uyumlu Fourier serisini değiştirmiştir. Böyle bir şema için yapılması gereken kabuller; iletkenliğin tek boyutlu olması ve malzemenin termal özelliklerinin sabit olduğudur. Burada içe işleme derinliği, çevrimsel sıcaklık dalgalanmasının yüzeydeki değerinin % 1'i kadar olan noktanın yüzeye uzaklığı kadardır ve genellikle bu değer metal için 3.5 mm, zirkonya için 0.75 mm'dir. Bundan dolayı sıcaklık gradyeni, yüzeye paralel olanlara göre dik yönde olanlarda daha

büyüktür. Bu nedenle ısı akısının geçici kısmı tek boyutlu olabilir. Tek boyutlulukta, her ne kadar kararlı durumdaki akı parçasının ölçümü zor olsa da yüzey ve arka taraf termokuplları arasındaki ölçülebilir uzaklıktan dolayı gaz tarafı akısının evrensel değişimi başarıyla ölçülmüştür. Bu çalışmada kararlı alanların daha iyi tahminlerini arkataraf ve yüzey termokupllarını daha yakın yerleştirerek (şekil 8.7'de görüldüğü gibi), ya da birkaç arkataraf termokuplu kullanarak, bir boyutlu akının hesaplanması için epey uğraş verildiği anlaşılmaktadır (şekil 8.8'de görülmektedir). Buna rağmen deneysel kararlı durumdaki ısı akısı, hala bir hatayı içermektedir fakat hatanın miktarını belirtmek zordur.

Yüzey ısı akısı eğrisinin geçici kısmına bağlı durum ve kararlı kısım, yüzey akısı pik değerinin küçük bir bölümü çıkmış böylece bulunan değerlerin inandırıcı olduğu kanısına varılmıştır.

Termal özelliklerde ısı dalgalanmaları yüzünden yapılan değişikliklerin hesaba katılmamasıyla meydana gelen hata Morel ve arkadaşlarının (11) hesaplamalarında gösterilmiştir. Böyle hatalar zaman-ortalama yüzey sıcaklığını, yüzey sıcaklığı salınımından daha çok etkiler. Bu çalışmada, yüzey sıcaklığı salınımının deneysel genliği, zirkonya ile 45°C 'dir ve zirkonyanın sıcaklıkla ilgili termal özelliklerinin değişimleri, Morel'in hesaplarında kullandığı farazi malzemelerden biaz daha küçüktür. Bunun için veri analizlerinde kullanılan mevcut termal özelliklerinin gerçek olduğu kabul edilebilir.

Yukarıda belirtildiği üzere, arka taraf termokuplunun, deney sırasında arkataraftan kopması, zaman-ortalama ısı akısı verilerinin hatalı olmasına sebep olduğu açıklanmıştır. Alternatif şema, bundan dolayı, yalıtılmış ve yalıtılmamış metaller için zaman-ortalama ısı akısının mukayesesini sağlamıştır. Alternatif metod, bölgesel ısı akısının silindir hacmi olaylarına bağlı olduğu varsayımına dayanır. Mümkün olan şemalara genel olarak bakıldığında Woschni ve Shilling'inkiler benimsenmiştir. Bu gibi şemalar için, kütle ortalama gaz sıcaklığı, ideal gaz kanunları kullanılarak kütle ve deneysel silindir basınç verileri yardımıyla hesaplanmıştır. Geçici ve bölgesel yüzey ısı akısı eğrisi, gaz sıcaklığı bölgesel yüzey sıcaklığına eşit olduğu anda yapay olarak sıfıra yükselmiştir. Şekil (8.9), Yalıtılmamış metal port grubu için ayarlanmış ve deneysel yüzey ısı akısının mukayesesini göstermektedir. Hesaplanarak bulunan zaman-ortalama

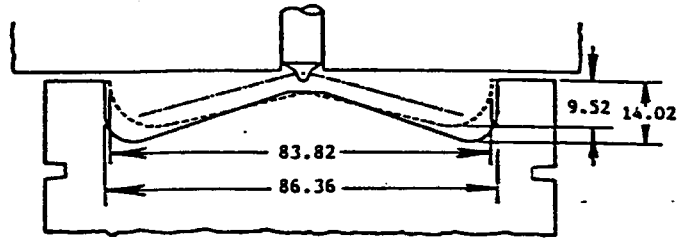


Şekil-8.7. Zirkonya Tabakalı Yalıtılmış Port Takımı İçin Rh-Pt Isı Akısı Transduseri

Yeni Piston Oyuğu, 17:1 S.O. ————

Eski Piston Oyuğu, 22:1 S.O. ————

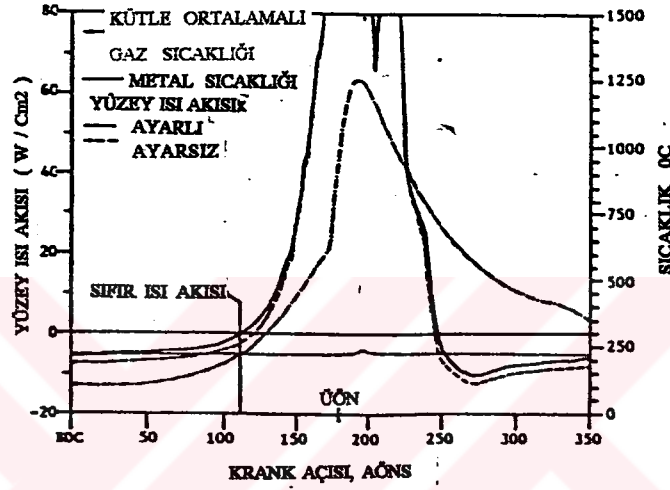
Yakıt Püskürtme Ekseni ————



Boyutlar milimetredir.

Şekil-8.8. Yeni ve Eski Piston Oyuğunun Kıyaslanması

ısı akısı deneysel değerden % 12 daha büyük çıkmıştır. Her ne kadar hata küçük ise de, bu gibi zaman ortalamalı şema, hatalı değerlerin bulunmasına sebep olabilir. Bilinmelidir ki, geçiş noktasında oluşan ısı akısı ve sıcaklık farkının sıfır olduğu anda geçici ısı akısı eğrisi dik ve düzgündür. Bu şekilde, zamanlama ölçümündeki hafif hata zaman-ortalama akı hesaplarında fazla etkili olmamıştır. Böylece, hesaplanan ısı akısı değerlerinin verilen koşullarla kullanılması tavsiye edilmiştir.



Şekil-8.9. Ayarlı ve Ayarsız Çevrimsel Yüzey Isı Akılarının Mukayesesi

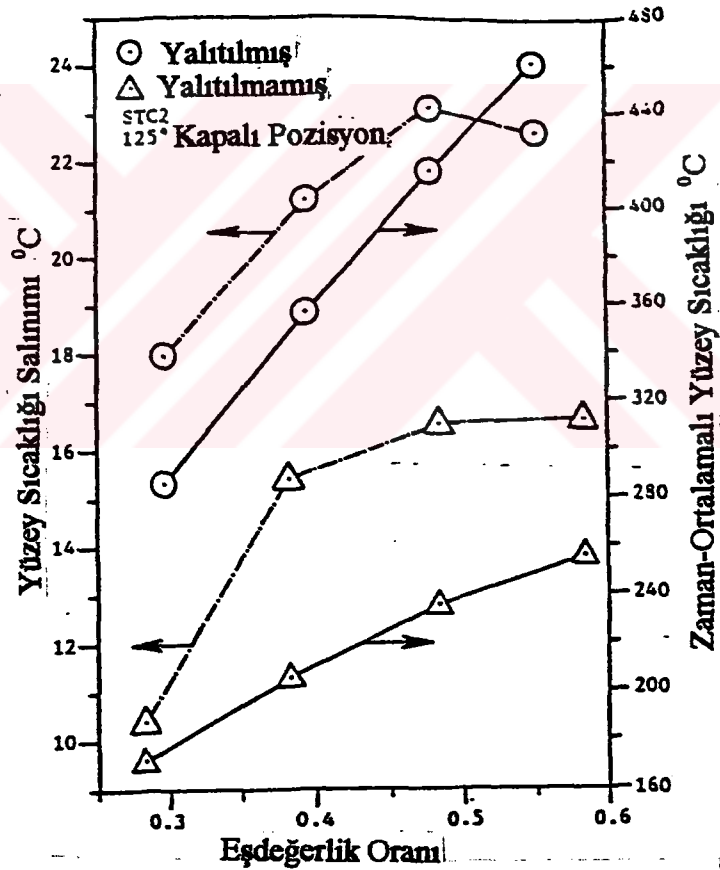
8.4 YAPILAN ARAŞTIRMANIN SONUÇLAR

8.4.1 Yalıtılmış ve Yalıtılmamış Metallerin Karşılaştırılması

Şekil (8.10)'da yalıtılmış ve yalıtılmamış metal için zaman-ortalama yüzey sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı salınımı, eşdeğerlik oranına göre kıyaslanmaktadır. Yalıtma işlemi, zaman-ortalama yüzey sıcaklığını 0.3 ve 0.6 değerlerindeki eşdeğerlik oranları için, sırasıyla 115 ve 205 °C'ye kadar arttırmaktadır.

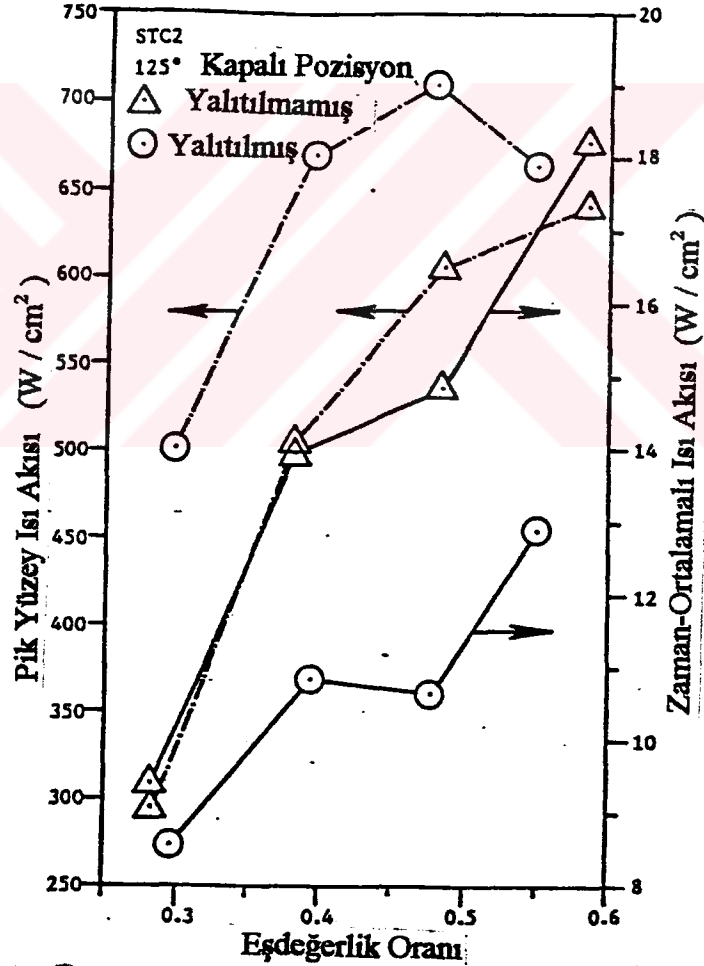
Yalıtılmış haldeki yüzey sıcaklığı salınımının büyüklüğü, yalıtılmamış duruma göre, 0.3 ve 0.6 eşdeğerlik oranları için sırasıyla % 65 ve % 35 kadar daha fazladır.

Yüzey sıcaklığı pik değerinin zamanlaması, birkaç eşdeğerlik oranında zaman ortalamalı ısı akısı ve yüzey ısı akısının pik değerinde yalıtımın etkisi ayrı tutulmuştur. Daha önce belirtildiği gibi, ısı akısının zaman-ortalama değerleri Borman'ın yaptığı hesaplamalarla bulunmuştur. Yalıtılmış haldeki yüzey ısı akısının pik değerleri karşılaştırıldığında, 0.4'ten 0.6'ya kadar olan orta büyüklükteki eşdeğerlik oranı bölgesinde % 20'den daha büyüktür, fakat bu değer düşük yükte % 70 ve eşdeğerlik oranının 0.6 olduğu en büyük yükleme değerinde ise sadece % 4 daha fazladır. Eşdeğerlik oranı, hava fazlalık katsayısının tersine denir ($\Phi = 1/\lambda$). Zaman - ortalama ısı akısında yalıtımdan dolayı olan azalma, 0.3'lük eşdeğerlik oranında % 10'dan , 0.6'lık eşdeğerlik oranında % 30'a kadar değişmektedir. Yalıtma ile oluşan bu gibi bağıl azalmanın, eşdeğerlik oranının artmasıyla düzenli olarak artacağı belirtilmiştir.



Şekil-8.10. Yalıtılmış ve Yalıtılmamış Metaller için, Zaman- Ortalama Yüzey Sıcaklığı ve Yüzey Sıcaklık Salınımının Eşdeğerlik Oranına Bağlı Grafikleri

Bu olay, ısı transfer katsayısının ve cidar malzemesi ısı iletkenliğinin yük ile değişmesi göz önüne alınarak niteliksel olarak açıklanabilir. Yük arttıkça ısı iletim katsayısı artarken, tipik bir cidar malzemesinin ısı iletkenliği, cidar sıcaklığı arttıkça azalacaktır. Yalıtılmış yüzey için bu gibi değişiklikler, yük artmasıyla ısı transfer mekanizmasının daha çok ısıyı transfer etmesini sağlar ve bu da zaman ortalamalı akının yüke bağlı azalma eğiliminin artması ile sonuçlanır. Hesaplanan zaman ortalamalı ısı akısı değerlerinin yüksek frekanslı dalgalanmalara olan hassasiyeti, yüzey ısı akısı durumunda, yalıtılmamış duruma göre 2 ile 3 krank açısı daha ileride olmuştur. Yalıtılmış durumda, zaman ortalamalı ısı akısının 0.5 eşdeğerlik oranı civarındaki azalmasının sebebinin bu olduğu belirtilmiştir. Bu durum şekil (8.11)'de gösterilmektedir.



Şekil-8.11. Yalıtılmış ve Yalıtılmamış Metaller İçin Eşdeğerlik Oranına Bağlı Pik Yüzey Isı Akısı ve Zaman-Ortalama Isı Akısı

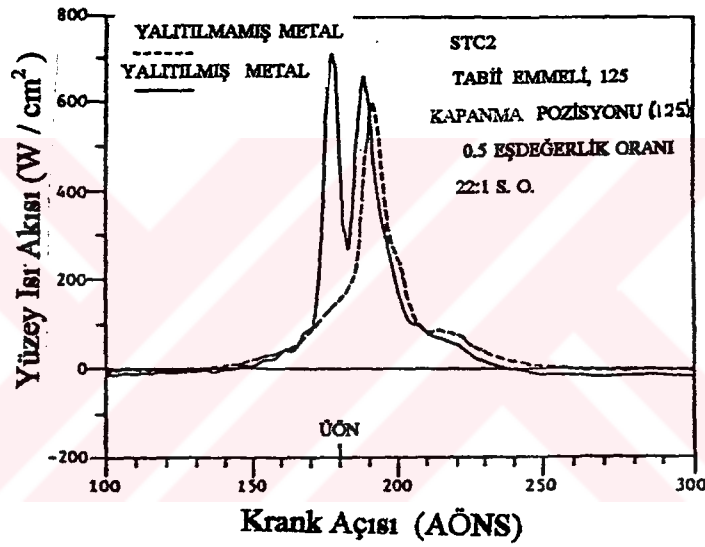
Isı akısı eğrilerinin bazılarında görülen yüksek frekanslı dalgalanmaların düzleştirilerek yok edilmesi yoluna gidilmemiştir. Çünkü bu dalgalanmaların dışarıdan gelen gürültüler olmadığı, doğrudan türbilansa bağlı etkiler olduğu belirtilmiştir. Her ne kadar, iki çıkıntılı yalıtılmış hal akısının birinci çıkıntısının daha yüksek olması, incelenen yük bölgesinde pek tipik olmasa bile, Şekil (8.12), STC2'de yalıtılmış ve yalıtılmamış metaller için tipik çevrimsel ısı akılarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Yalıtma durumunu yüzey sıcaklığının artması sebebiyle yüzeydeki ısı tabakasının azalmasına, yüzey akısı pik değerinin artmasına ve pik değer zamanlamasının daha ileri gitmesine yol açtığına inanılmaktadır.

Yüzeydeki tabakaların yüzey ısı akısı üzerindeki etkileri, Overby (10) tarafından gösterilmiştir. Bu olgunun, yüzey ısı akısının pik değerinin azalmasına ve pik değerinin oluşma zamanının gecikmesine sebep olduğu da literatürde gösterilmiştir. Araştırmacıların 600°C yüzey sıcaklığındaki yalıtılmış metal port grubu ile yaptıkları son deneyde yüzeyin ıssız olduğunu görmeleri, diesel ortamındaki bir metal yüzey üzerinde ısı birikiminin bulunamayacağı bir sıcaklık düzeyinin varlığını akla getirmektedir. Ancak yüzey üzerinde ısı birikmesi ve yüzey üzerindeki oksidasyonun temizlenmesi arasındaki dengeden kaynaklanan, ısı birikmesi olayının tek sebebinin cidar sıcaklığı olmaması mümkündür. Mesela silindir içi akış alanındaki türbilansın azlığı ve ya yüksek düzeyde ısı oluşumu, yüzeyde fazla ısı birikmesine sebep olabilir. Şekil (8.13); yüzey sıcaklığı salınımı büyüklüğünün, hem yalıtılmış hem de yalıtılmamış durumlarda, düşük girdap (ve 185° kapanma konumunda) halinde yükün artmasıyla, azalacağını göstermektedir. Yüzey ısı akısının pik değerinin eşdeğerlilik oranı ile değişme eğilimi, her iki hal için de yüzey sıcaklığı salınımının eğilimi ile aynıdır. Hem yalıtılmış hemde yalıtılmamış durumda yüzey ısı akısının pik değerinin zamanlaması da düşük devirlerde yükün artmasıyla geri kalmaktadır. Bu motorlarda, düşük devir düzeylerinde net ısı üretiminin fazla ve silindir içi akış alanının az girdaplı olması bu olayların ortaya çıkışının sebebi olarak görülebilir.

Şekil (8.12); yalıtılmış durumda, sıkışma stroğunun başında ve genişleme stroğunun sonunda, yüzey ısı akısının büyük negatif değerler aldığını göstermektedir. Yalıtılmış durumda ve emme stroğunda daha büyük olan negatif akı, burada gösterilmemiştir. Yalıtılmış durumda daha yüksek negatif yüzey akılarının ortaya

çıkmasının nedeni, daha yüksek yüzey sıcaklığıdır. Emme stroğunda silindir cidarından yüke fazla miktarda ısı enerjisi verilmesi, volümetrik veriminin azalması sonucunu doğurabilir. G.Borman'ın yaptığı bu araştırmada yapılan kısmi yalıtma, motor performansında gözlenebilir bir etki doğurmamıştır fakat silindirin tam yalıtılmasının volümetrik verimde önemli bir azalmaya sebep olması beklenmektedir.

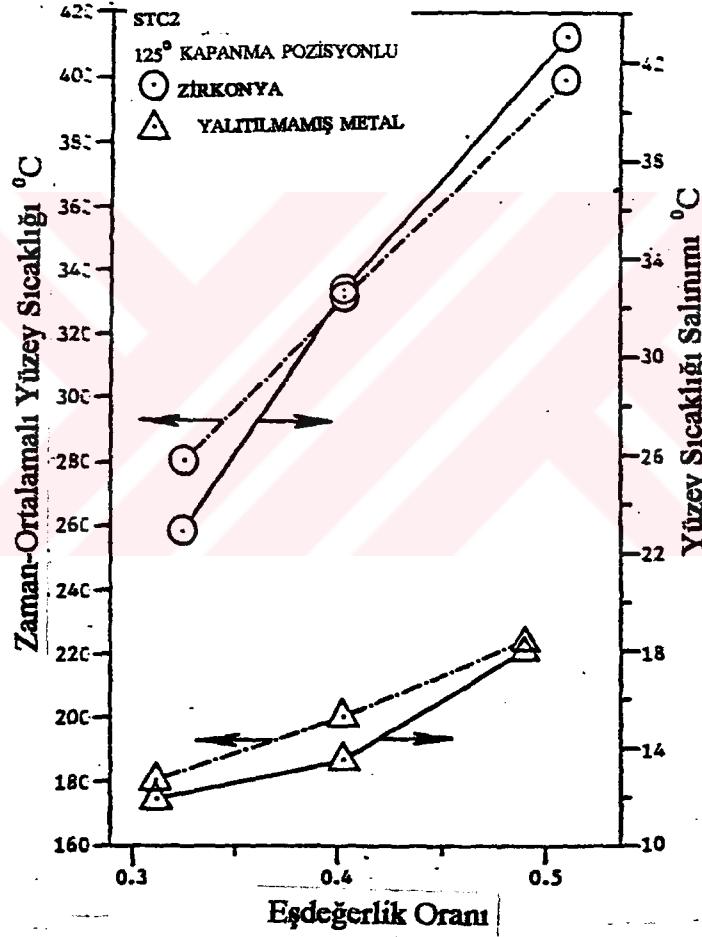
Hem STC1 ve hem de STC2'deki yalıtılmış metallere giren çevrimsel yüzey ısı akıları, yüksek girdaptaki bütün akışlarda iki çıkıntılı görünümüyle karakterize edilmektedir. Isı akısı eğrilerinin çift çıkıntılı karakteristik yapılarının, düşük devir düzeylerinde hem yalıtılmış ve hemde yalıtılmamış durumlarda görülmeyeceği belirtilmiştir.



Şekil-8.12. Yalıtılmış ve Yalıtılmamış Metaller için Çevrimsel Yüzey Isı Akısının Mukayesesi

Bu şekillerde, birinci çıkıntılarının pik değerleri, şekil (8.14)'te de görüldüğü gibi, eşdeğerlilik oranının kuvvetli fonksiyonlarıdır. Akı eğrilerindeki birinci çıkıntılarının zamanlamaları ÜÖN'dan 3^o KMA önceden, 1^o KMA sonrasına kadar değişmektedir. Gözlenen iki çıkıntılı yüzey ısı akıları, pik değer zamanlarında büyük farklılıklar gösteren grup ortalamalı verilerin sonucu değildir. Grup ortalamalı akının iki çıkıntılı karakteristiği, ferdi-çevrimsel ısı akısının da temsilcisidir. Literatürde, bu çalışmadakine benzer çalışma şartları ve konumlarında iki çıkıntılı yüzey ısı akıları elde edilmiştir.

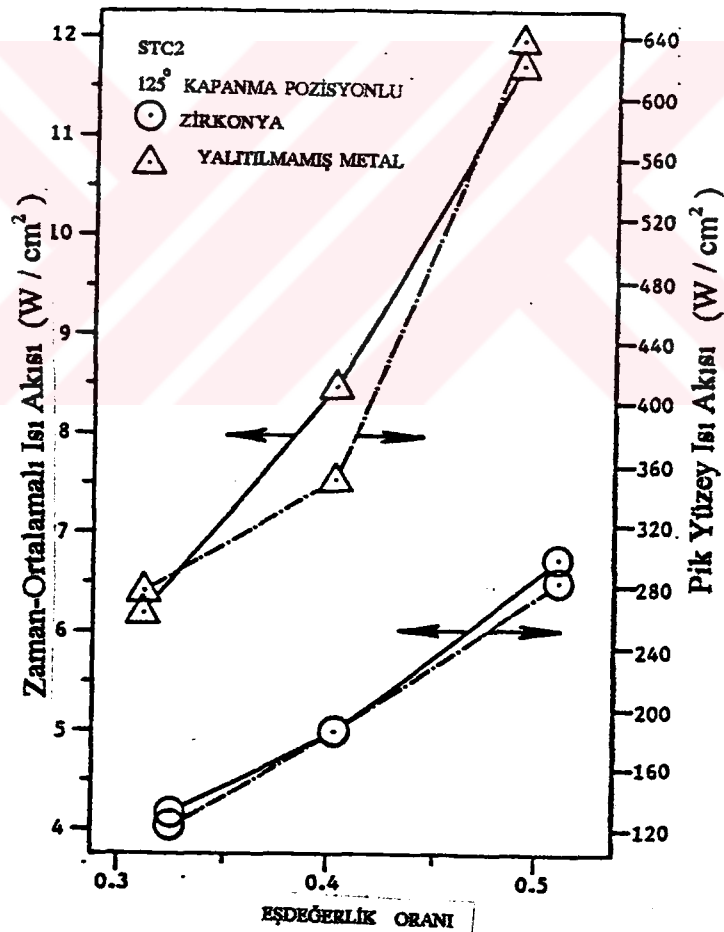
Fakat bu bulgular yanmanın iki ana fazına bağlanmıştır bunlar; karışım öncesi yanma ve difüzyon yanmadır. Yine literatürde gösterildiği gibi, tek yanma odalı diesellerde, benzer yerlerden ölçülen yüzey ısı akıları her zaman iki çıkıntılı olmaz ve iki faz arasındaki geçiş daima farkedilir değildir. Fakat araştırmacılar bu gibi iki çıkıntılı yüzey ısı akılarının sadece yanma olaylarına bağlı olmayabileceğini düşünmüştür. Buna göre, girdabın sebep olduğu yakıt bulutu hareketlerinin ölçüm yapılan noktaya göre durumları gibi etkenler, bu gibi olayların ortaya çıkmasına sebep olabilir. İki çıkıntılı eğriler, kafadaki piston oyuğu yakınlarındaki bölgelerde oluşan ters akıntı hareketine bağlanmıştır.



Şekil-8.15. Yalıtılmamış Metal ve Zirkonya için, Zaman- Ortalama Yüzey Sıcaklığı ve Yüzey Sıcaklık Salınımının Eşdeğerlik Oranına Bağlı Grafikleri

8.4.2 Zirkonya ve Yalıtılmamış Metalin Karşılaştırılması

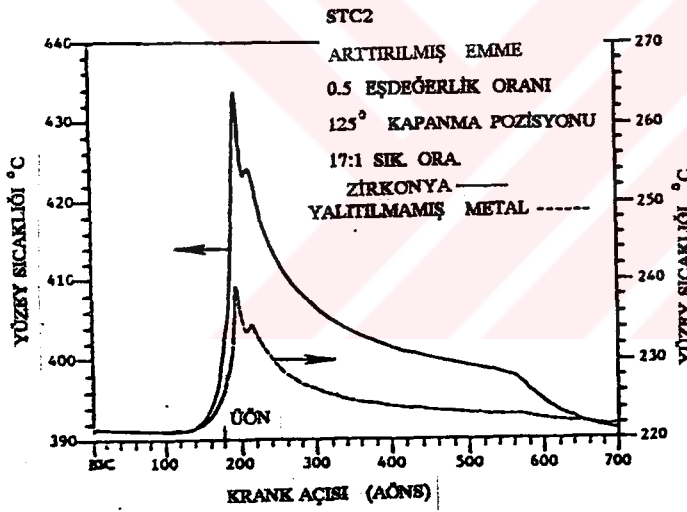
Zirkonya için zaman ortalamalı yüzey sıcaklığının, 0.3 ve 0.5 eşdeğerlik oranları için yalıtılmamış metalinkilere göre sırasıyla 100 ve 175 °C daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durum şekil (8.15)'te görülmektedir. Yalıtılmış metal için, zaman ortalamalı yüzey sıcaklığının, yalıtılmamış metale göre aynı eşdeğerlik oranlarında 115 ve 180 °C daha fazla olduğu hatırlanmalıdır. Şekil (8.15)'te 0.3 - 0.5 arasındaki eşdeğerlik oranlarında, zirkonyanın yüzey sıcaklığı salınımının, yalıtılmamış metalinkinden 1.9 ile 2.4 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil (8.16), zaman ortalamalı ısı akısı ve yüzey ısı akısının pik değerlerini çeşitli eşdeğerlik oranlarında yalıtılmamış metal ve zirkonya için karşılaştırmaktadır.



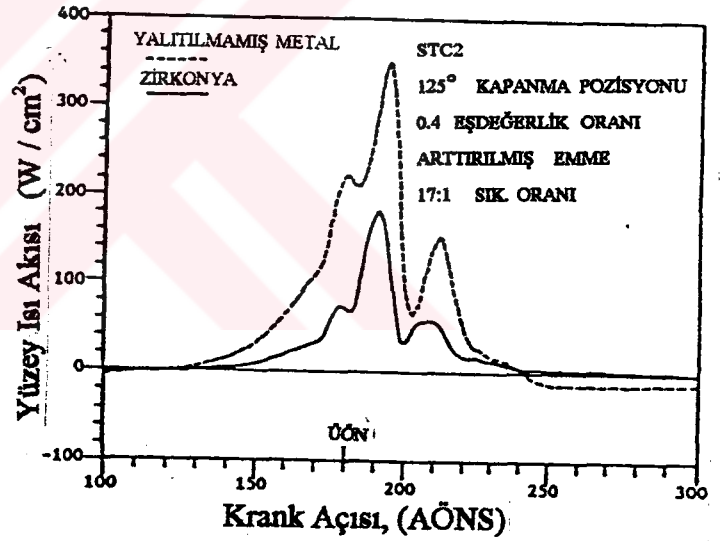
Şekil-8.16. Yalıtılmamış Metal ve Zirkonya için Eşdeğerlik Oranına Bağlı, Pik Yüzey Isı Akısı ve Zaman-Ortalama Isı Akısı

Zirkonyanın zaman-ortalamalı ısı akısı 0.3 eşdeğerlik oranında % 33 daha az, 0.4 ile 0.5 oranlarında ise yaklaşık % 40 daha az olmaktadır. Zaman ortalamalı ısı akısındaki düşüşlerin, yalıtılmış metal için elde edilenlerden % 10 ile % 15 daha fazla olduğuna dikkat çekilmektedir. Zirkonya ve yalıtılmış metalde, zaman ortalamalı yüzey sıcaklığı yükseltilebilir, yalıtılmamış metal ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak aynı olması, zaman ortalamalı ısı akılarındaki azalma miktarlarının da benzer yapmaktadır. Şaşırtıcı olan bu sonuçların, hesaplama ile bulunan zaman ortalamalı ısı akısı değerlerinde hata bulunduğunu gösterdiği ifade edilmektedir.

Zirkonyanın yüzey ısı akılarının pik değerleri, yalıtılmamış metalinkilerin sadece % 45'i ile % 50'si kadar olmuştur. Yalıtılmamış metalle zirkonyanın çevrimsel yüzey sıcaklıkları ile çevrimsel yüzey ısı akıları karşılaştırıldığında, Şekil 8.17 ve 8.18 'de sırasıyla gösterildiği gibi, şekil benzerlikleri karakteristik olmaktadır.



Şekil-8.17. Yalıtılmamış Metal ve Zirkonya için Çevrimsel Yüzey Sıcaklığının Mukayesesi



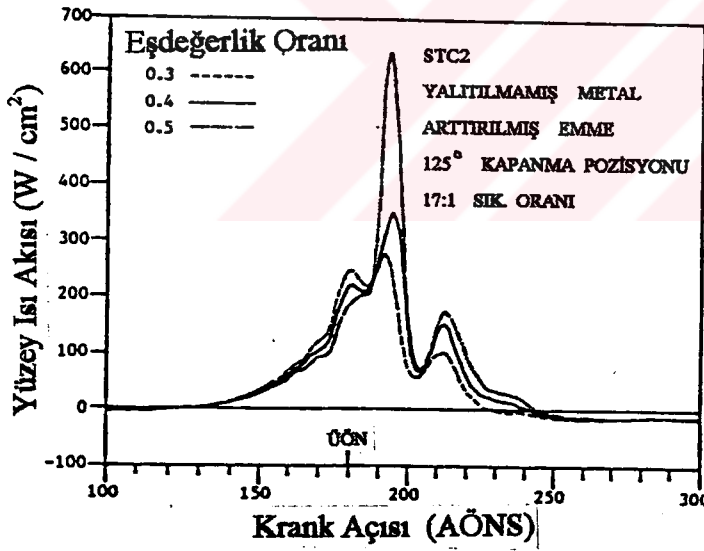
Şekil-8.18. Yalıtılmamış Metal ve Zirkonya için Çevrimsel Yüzey Isı Akısının Mukayesesi

Zirkonyanın yüzey akısı pik değerlerinin, yalıtılmamış metale göre % 50 ile % 55 daha az olması çeşitli sebeblere bağlanabilir. Zirkonyadaki yüksek yüzey sıcaklığı, ısı akısı katsayısının küçülmesine sebep olabilir. Mesela; 0.5 eşdeğerlilik oranında, kütle ortalamalı gaz sıcaklığının hesap ile bulunan pik değeri 1520°K 'dir. Yalıtılmamış metal ve zirkonya için yüzey sıcaklığının pik değerleri de sırasıyla 513 ve 707°K 'dir. Böylece zirkonyanın pik ısı akısı katsayısı, yalıtılmamış metalinkinden % 20 kadar daha az olmaktadır. Kaba olmasına rağmen bu tahmin, bu gibi azalmaların büyüklüğü hakkında bir fikir verebilir. Hafifçe is birikmiş zirkonya yüzeyinin ısı yayma özelliği, çok isli olan yalıtılmamış metalinkinden daha fazla olabilir. Bu konuda daha öne yapılan çalışmada açık odalı diesel motorda gerçekleştirilen radyasyon akılarında, isli metal yüzeylerin, temiz metallere göre % 40 - 80 daha yüksek pik değerler aldığı görülmüştür. Zirkonya ve yalıtılmamış metal yüzeylerinin ısı yayım kabiliyetleri ölçülmediyse de, gözle yapılan kontroller, yüzeyin az isli olmasından dolayı zirkonyanın daha az yayım kabiliyeti olduğunu ortaya koymuştur. Radyasyon ısı akısının pik değeri, anlık yüzey ısı akısının % 50'si kadar olduğundan, yüzeyin yayıcılık kabiliyetinin az olmasından dolayı radyasyon akısının % 40 azalması, yüzey ısı akısının % 20 daha az olmasına yol açabilir. Yüzeydeki is tabakasının soğutulan yüzeyler için akının pik değerini azalttığı bilindiği halde, yüzey ısı akısının daha yüksek sıcaklıklarda baskın olan radyasyon kısmındaki artış, is tabakalarının etkilerini tersine çevirebilir. Bu araştırmada is tabakalarının etkilerinin sayısal incelemesine girilmediğinden, is tabakalarının yüzey ısı akısı üzerindeki etkileri ancak nitel olarak ileri sürülebilir. Zirkonya yüzeyinin 0.4 mikrondan daha iyi yüzey düzgünlüğü vardır. Gazla temas eden yüzeyin is tabakasından doğan pürüzlülüğü, malzemenin yüzey pürüzlülüğü olarak alındığında ve zirkonya üzerindeki ince is tabakası, mükemmel olan yüzey düzgünlüğünü bozmasa, zirkonyanın konvektif ısı transfer katsayısının daha küçük olduğu ifade edilmektedir.

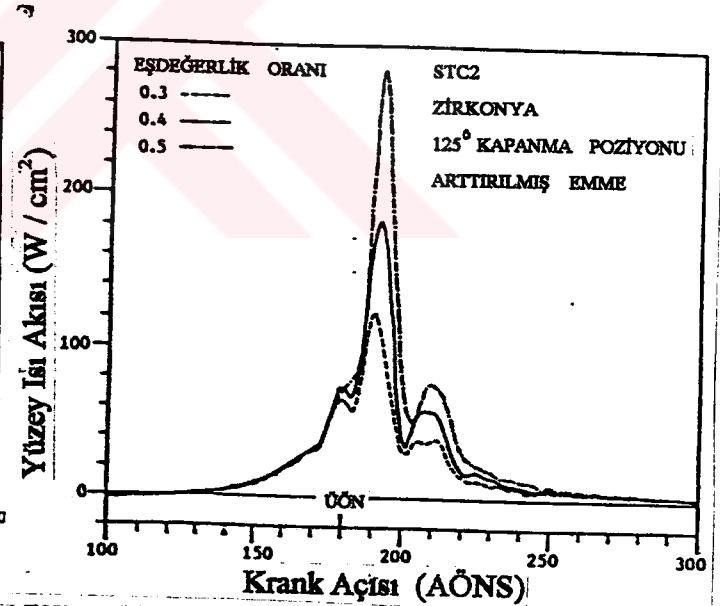
Şekil 8.18; sıkıştırma stroğunun başında ve genişleme stroğunun sonunda, yalıtılmamış metalin yüzey ısı akısının negatif değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Emme stroğunda biraz daha fazla negatif değerlere sahip olan yalıtılmamış metal yüzeyi burada gösterilmemiştir. Bu gözlemlerle, ilk bakışta, zirkonya ile aynı miktar silindirik yalıtımı yaparak, klasik su soğutmalı duruma göre volümetrik verim biraz daha

artırılabilir. Bu, yalıtılmış zirkonya ile klasik olarak yalıtılmış durum arasındaki volümetrik verim mukayesesi ile çelişmektedir. Ancak böyle bir karşılaştırma yapılırken, iki etken göz önüne alınmalıdır. Bu çalışmada zirkonya yüzey sıcaklıkları, uygun şartlar altında üretim tipi bir motora göre, düşük motor hızı ve hafif yükler sebebiyle oldukça düşük tutulmuştur. Yalıtılmamış port takımı da içerisinde soğutulmadığından silindir yüzeyinin diğer bölgelerine göre daha yüksek yüzey sıcaklığına sahip olduğu belirtiliyor. Bu iki etken, gözlenen yüzey sıcaklıklarındaki farkların, beklenenden daha küçük çıkmasına ve tasarlanan volümetrik verimde ters dönmüş eğilime katkıda bulunmuş olabilir. Ancak şekil 8.12 ile 8.18'in karşılaştırılmasına dayanarak, yalıtılmış zirkonyalı bir motorun, aynı sıcaklık düzeylerinde çalıştırılan klasik motora göre daha yüksek bir volümetrik verime ulaşacağı sonucu çıkarılabilmektedir.

Şekil (8.19); çeşitli eşdeğerlik oranlarında, yalıtılmamış metaldeki çevrimsel yüzey ısı akılarını göstermektedir.



Şekil-8.19. Yalıtılmamış Metalde Çeşitli Eşdeğerlik Oranları için Çevrimsel Yüzey Isı Akıları

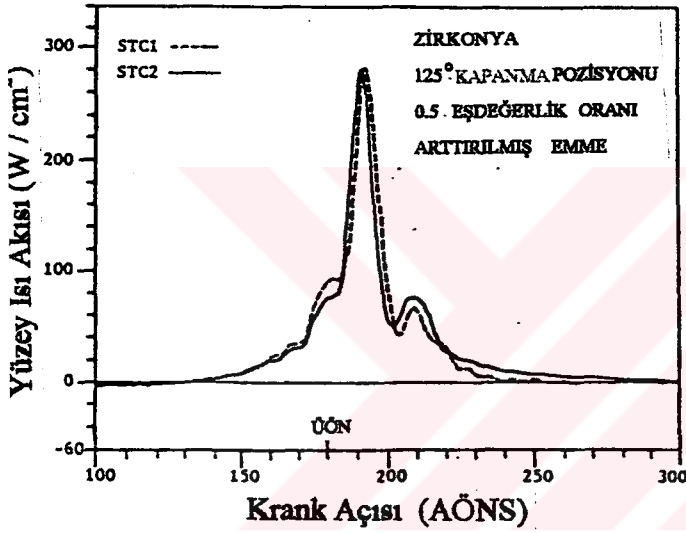


Şekil-8.20. Zirkonyada Çeşitli Eşdeğerlik Oranları için Çevrimsel Yüzey Isı Akıları

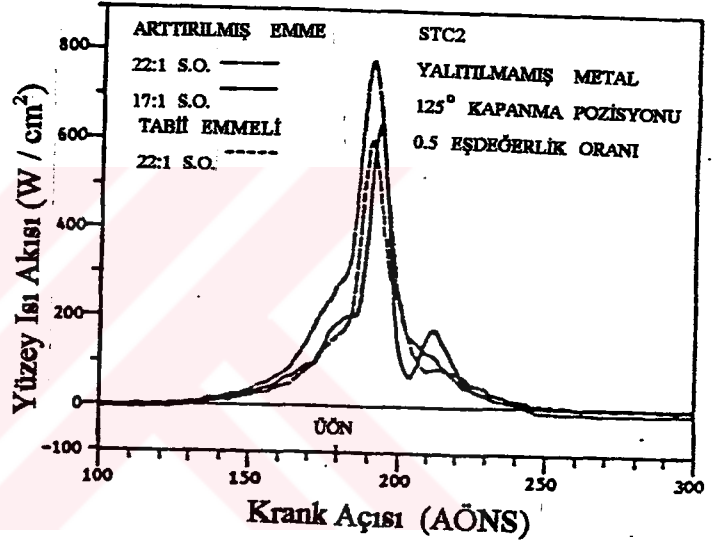
Aynı çalışma şartları altında zirkonya ile elde edilen sonuçlar da şekil (8.20)'de gösterilmektedir.

Ölçüm Yerlerinin Etkisi

Şekil 8.21'de iki noktada alınan çevrimsel yüzey akılarının karşılaştırılmasında görüldüğü gibi, zirkonya için STC1 ve STC2'den alınan ölçüm sonuçları hemen hemen aynı olmuştur. Bu iki noktadan alınan ölçümlerin benzerliği, daha serin olan tersakıntı yüzey sıcaklığının, ters akıntı transduserine ulaşırken azaldığını göstermektedir.



Şekil-8.21. Zirkonya için STC1 ve STC2'de Çevrimsel Yüzey Isı Akılarının Mukayesesi



Şekil-8.22. Yalıtılmamış Metalde İki Piston Geometrisi için Çevrimsel Yüzey Isı Akılarının Mukayesesi

8.4.3 İki Farklı Piston Geometrisi İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Yalıtılmış metal ve zirkonya için elde edilen ısı transferi bilgilerinin mukayesesi, bunların birer birer yalıtılmamış metalle karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilebilir. Burada piston oyuğu geometrisinin, motor yenilenirken değiştiğine ve çalışma

parametrelerinin daha uygun hale getirildiğine dikkat çekilmektedir. Bununla birlikte parametredeki değişiklikler bilinirse, yalıtılmış metal ve zirkonya için elde edilen bilgilerin karşılaştırılması mümkündür. Şekil 8.22, iki piston oyuğu geometrisi için yalıtılmamış metaldeki yüzey ısı akılarının mukayesesini göstermektedir. Daha ileri püskürtme zamanlaması ve daha yüksek sıkıştırma oranlarının, yüzey akısının pik olduğu zamanı daha da ileri götürdüğüne dikkat çekilmektedir. Yine de, tabii emmeli durumda 22:1 sıkıştırma oranı için yüzey akısı pik değerinin, islenme halinde 17:1 sıkıştırma oranındaki ile yaklaşık olarak aynı olduğu belirtilmiştir.



9. SONUÇLAR

Adyabatik motorlardan beklenen başarıların görülebilmesi için çok hassas çalışmalara ihtiyaç vardır. Isı yalıtımı ve tam adyabatik prosesi sağlamak için en az 5mm' lik bir kaplama kalınlığına ihtiyaç duyulur. Ayrıca yanma odasında mümkün olan her yer yalıtılmalıdır. Yalıtım açısından en iyi malzemenin PSZ olduğu literatürlerden belirlenmiştir. Fakat yine literatürlerde, yapılan deneylerde PSZ ile alüminyum alaşımı arasında termal uyumsuzluk olduğu için verimli sonuçlar alınmadığı belirtilmiştir.

Bu çalışma sırasında incelenilen literatürlerde farklı ve çelişkili yorumlara rastlanmıştır. Bu farklılıklar, çalışmalar sırasında gerekli hassasiyetin gösterilmemiş olmasından ve yapılan yanlış analizlerden kaynaklanmıştır.

Ancak çalışmaların ortak sonucu, pratikte uygulanabilen yöntemlerle adyabatik motorların performansları üzerinde kayda değer bir iyileşmenin olmadığı yönündedir.

Enomoto ve Furuhashi'nin yaptığı deneylerden şu sonuçlar çıkarılabilir.

1. Beklenilenin aksine yanma periyodunda; seramik cidarlı motorlarda , alüminyum alaşımı cidarlı motorlara göre daha fazla ısı transfer olmaktadır. Bunun sebebi yalıtımın etkisiyle yanma odasındaki sıcaklıkların artmasından dolayı kaplama filminin incelmesidir.

2. Yanma odasındaki seramik cidarın, yanma sırasında ısı kaybını düşüremediği bulunmuştur. Fakat turboşarj elemanları ile motor veriminin yükseltilebileceği görülmüştür.

3. Seramik duvarlarda bir çevrimde baştan başa olan ısı transferi duvarı alüminyum alaşımıyla kaplı motora göre daha küçük olmaktadır. Çünkü emme ve sıkıştırma stroğu sırasında yanma odasında yüksek sıcaklıktaki cidardan düşük sıcaklıktaki gaz karışımına doğru bir ısı transferi olur.

G. Borman'ın yaptığı çalışmalarda, çeşitli yalıtım tekniklerinin yüzey ısı akısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu inceleme, motorun yanma ve akış karakteristikleri üzerinde bir değişiklik yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, zirkonya yüzeyden, yalıtılmış ve yalıtılmamış metalden (standart durum) oluşan yüzeylere doğru olan ısı transfer hızları ölçülmüştür. Yüzey sıcaklığı ve ısı akısının silindir içinde ölçülebilmesi için, özel bir termokupl filmi yapılmış ve zirkonya kaplama üzerine uygulanmıştır. Termokupl, kaplamanın bulunduğu yüzey sıcaklığını ölçebilmek için küçük ısı kaybına

sahip bağlantı tellerinden uzağa yerleştirilmiştir. İnce termokupl filmleri ile tekrar tekrar yapılan ölçümlerde, tutarlı veriler elde edilmiş ve termokuplların motor yanma şartlarına uyabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, metalden yapılmış ince termokupl filmlerinin termal radyasyon özellikleri, seramik yüzeyinkinden farklıdır ve bu farkların ölçüm sonuçlarının doğruluğu üzerindeki etkisi, yüzeyin islenme derecesine ve yarısaydam seramik cidara olan radyasyonun nüfuz derecesine bağlıdır. Ayrıca, ısı transfer özelliğindeki değişimi belirlemek için, seramik üzerine metalik yüzey tabakası koymadan ve koyduktan sonra yapılacak ölçümlerde oluşan etkiler daha sonraki araştırmalarda incelenmelidir.

Aynı motor işletme şartlarında, yalıtılmamış metale göre zirkonyanın yüzey akısında önemli ölçüde azalma ölçülmüştür. Zirkonya kullanıldığında zaman ortalamalı ısı akısında % 33 - 40 kadarlık bir azalma oluşmaktadır ve yüzey akısının pik değeri de metalinkinin % 45 - 50'si kadar olmaktadır. Zirkonyadaki yüzey sıcaklığı salınımının büyüklüğü de metalinkinin 1.9 ile 2.4 katıdır. Yüzey ısı akısı pik değerindeki yüzey sıcaklığı genliğinin büyüklüğü, önceden tahmin edilemeyecek kadar küçük değerlerde çıkmış teorideki yüksek değerler elde edilememiştir. Bu, çevrimsel termal yük sebebiyle seramik parçaların bozulmasının beklenenden daha küçük bir problem olduğunu göstermektedir. Yinede, büyük yük değişimlerinden kaynaklanan termal şok bozulmalarına daha çok dikkat edilmelidir.

Metal yüzeyin arka kısmını seramikle yalıtınak, yüzey ısı akısının pik değerini, yalıtılmamış duruma göre, düşük yükte % 70, yüksek yükte de % 5 artırmaktadır. Ancak zaman ortalamalı akı değerlerinin yalıtılmamış ve yalıtılmış metaller için yapılan karşılaştırması, hesaplama ile yapılmıştır ve doğruluk derecesi tam olarak bilinmemektedir.

Yüzey is tabakasının azaltılmasının, yüzey sıcaklığı genliği ve yüzey ısı akısının pik değerini azalttığına inanılsa da, is tabakalarının özelliklerini hesaplamaya yönelik hiç bir çalışma yapılmadığından, is tabakalarının yüzey ısı akısı üzerindeki etkileri üzerinde belirtilenler ancak spekülasyon olabilir.

Yalıtılmış metal ve zirkonya için elde edilen veriler arasında doğrudan mukayese yapabilmek için, ilk durumdaki motor koşulları farklı olduğundan, motor parametresinin ısı transferi üzerindeki etkileri hakkında yeterli bilgiye ihtiyaç vardır. Bununla birlikte

emme stroğundaki ısı akısı değerleri üzerindeki gözlemlere dayanılarak, zirkonya ile yalıtılmış bir motorun, aynı sıcaklık düzeylerinde çalıştırılan, metal silindir cidarlı motora göre daha yüksek volümetrik verime sahip olacağı ifade edilebilir.

Adyabatik motorların önemli problemlerinden biri de yağlama üzerinedir. Adyabatik proses gereği yüksek sıcaklıklarda çalışması gereken motor elemanlarının yağlanması zordur. Yağlamanın sağlıklı olması sürtünmeyi azaltır ve volümetrik verimi artırır. Minimum sürtünme sağlandığı takdirde (85-95 gr/kWh) özgül yakıt sarfiyatında kazanç sağlanmaktadır. Bu tip motorlarda yağlama için polvester esaslı yağlar kullanılabilir.

10. KAYNAKLAR

1. Çelik H. Ali. 1991, Seramik Kaplamalı Motorla Yapılan Deney Çalışması Marmara Üniversitesi Doktora Tezi
2. Deniz Orhan, 1993, Motorlarda Isı Transferi Ders Notları
3. Enomoto Y. Furuhamo S. 1986, Heat Transfer Into Ceramic Combustion Chamber Wall of Internal Combustion Engines, SAE 861276
4. Kaya Orhan, 1993, Motor Ayarları ve Bakımı, MEB yayınları
5. Kılıç Süleyman, 1988, Adyabatik Motorların Etüdü
6. Woschni G. Spindler W, 1988, Heat Transfer With Insulated Combustion Chamber Walls and Its Influence on the Performance of Diesel Engines, Transactions of the ASME, Vol.110.
7. Yoshiteru H, Yoshiki N, Shigetoshi T, 1988, Testing a Small DI Ceramic Diesel Engine, Kyocera Corporation, SAE
8. Zorkun M. Emin, 1988, Termodinamik, MEB Yayınları
9. Dao, Uyehara, and Myers, 1973, Heat Transfer Rates at Gas-wall Interfaces in Motored Piston Engine, SAE Paper No: 730632
10. Overby, Bennethum, Uyehara, 1961, Unsteady Heat Transfer in Engines, SAE Transactions Vol 69, pp 461-494
11. Morel, Kehribar, 1985, Cyclical Thermal Phenomenia in Engine Combustion Chamber Surfaces, SAE Paper 850360

ÖZGEÇMİŞ

- 1971 Muğla'da doğdu.
- 1989 Denizli Teknik Lisesi Makina Bölümünden mezun oldu.
- 1989 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümüne kayıt oldu.
- 1993 Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Makinaları Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

