

TEXNİKA ELMLƏRİ

TECHNICAL SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.36719/2663-4619/126/119-123>

Cəmilə Məmmədova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru
<https://orcid.org/0000-0001-5147-2233>
cemileadna@mail.ru

Sədail Səfərov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant
<https://orcid.org/0009-0008-8803-2977>
sedailseferov2003@icloud.com

Ləman Səmədli

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
<https://orcid.org/0009-0005-5560-3583>
leman.samedli.80@mail.ru

Nanostruktur materialların qaz turbinlərinin səmərəliliyinə və termal davranışına təsiri

Xülasə

Qaz turbin qurğuları, hərəkət edən mayenin kinetik enerjisini reaksiya və ya impuls vasitəsilə mexaniki enerjiyə çevirmək üçün işçi maye kimi qazdan istifadə edən daxili yanma mühərrikidir. Çevrilmiş mexaniki enerji sənaye nasosları, dəniz mühərrikləri, lokomotiv mühərrikləri və avtomobil mühərrikləri kimi bir neçə cihaz üçün əsas mühərrik kimi enerji istehsalında, eləcə də əsas mühərrik kimi istifadə edilə bilər. Texnologiyadakı irəliləyişlər səbəbindən on ildən artıqdır ki, qaz turbinlərinin enerji istehsalı və mexaniki idarəetmə texnologiyaları üçün tətbiqləri xeyli artmışdır. Çevik yanacaq qabiliyyəti üstünlüyünə malikdir, bu da sintetik və təbii yanacaqlar kimi bir sıra yanacaqlardan istifadə edə biləcəyi deməkdir.

Hər bir qaz turbin qurğusunun tərkibi havanı sıxmaq üçün kompressor, onu yandırmaq üçün havanı yanacaq qarışdırmaq üçün yanma kamerası və isti və sıxılmış qazların daxili enerjisini mexaniki enerjiyə çevirmək üçün turbindən ibarətdir. Qaz turbinləri müasir dövrdə enerji istehsalında yüksək səmərəlilik təmin etmək üçün vacib texnoloji qurğulardır. Qaz turbinlərinin əsas problemlərinə yüksək temperatur, təzyiq və korroziyaya qarşı davamlı materialların və optimal dizaynın seçilməsi kimi problemlər aiddir.

Həmçinin istiliyə davamlı materialların seçilməsi vacib əhəmiyyət kəsb edir. Bu tədqiqat işində nanostruktur materiallarının qaz turbinlərinin təsirində son yanaşmalar araşdırılır.

Açar sözlər: qaz turbin qurğuları, istilik gərginliyi, super ərintilər, CTE, nanostruktur materialları

Jamila Mammadova

Azerbaijan State Oil and Industry University
PhD in Technical Sciences
<https://orcid.org/0000-0001-5147-2233>
cemileadna@mail.ru

Sadail Safarov

Azerbaijan State Oil and Industry University
Master's student
<https://orcid.org/0009-0008-8803-2977>
sedailseferov2003@icloud.com

Leman Samedli

Azerbaijan State Oil and Industry University
<https://orcid.org/0009-0005-5560-3583>
leman.samedli.80@mail.ru

The Effect of Nanostructured Materials on the Efficiency and Thermal Behavior of Gas Turbines

Abstract

Gas turbines are internal combustion engines that use gas as the working fluid to convert the kinetic energy of a moving fluid into mechanical energy through reaction or impulse. The converted mechanical energy can be used in power generation as well as a prime mover for several devices such as industrial pumps, marine engines, locomotive engines, and automobile engines. Due to advances in technology, gas turbines have been used for power generation and mechanical control technologies for more than a decade. They have the advantage of flexible fuel capability, which means they can use a range of fuels such as synthetic and natural fuels. Each gas turbine unit consists of a compressor to compress air, a combustion chamber to mix the air with fuel to burn it, and a turbine to convert the internal energy of the hot and compressed gases into mechanical energy. Gas turbines are important technological devices to ensure high efficiency in power generation in the modern era. The main problems of gas turbines include the selection of materials and optimal design that are resistant to high temperatures, pressures, and corrosion. The selection of heat-resistant materials is also of great importance. This research work investigates the latest approaches in the impact of nanostructured materials on gas turbines.

Keywords: *gas turbine units, thermal stress, superalloys, CTE, nanostructured materials*

Giriş

Beynəlxalq Enerji Agentliyi (IEA) qlobal enerji tələbatının 2000-2030-cu illər arasında ildə 1,7% artacağını və cari enerji tələbinin təxminən üçdə ikisini təşkil edəcəyini proqnozlaşdırır. Müasir turbo maşın yüksək spesifik güc çıxışlarına malik olmasını və enerji istehsalının gücləndirilmiş elektrik səmərəliliyi, aşağı investisiya və davamlılıq üçün aşağı çirkləndirici emissiya, texniki xidmət və əməliyyat xərcləri yanacaq istifadəsi tələb edir. Müstəqil enerji təchizatçıları rəqabətə davamlı olurlar. Enerji paylanması üçün enerji sənayesinin bazarlarından bəri müxtəlif ölkələrdə yüksəlidir. Dəyişən güc tələbləri istehsal etmək üçün daha yüksək məhsuldarlığa malik çevik elektrik stansiyaları və aşağı-aralıq güc çıxışları istehsal etmək üçün daha yüksək səmərəliliyə malik çevik elektrik stansiyaları tərəfindən ödənilir. Nəticədə sifariş edilən qalıq yanacaq elektrik stansiyalarının yarısından çoxunun qazdan ibarət turbinlər olduğu sübut olundu. Ucuz təmiz təbii qazın mövcudluğuna görə qaz turbinlərinə tələbat daha da artır (Jonsson və b., 2005). Qaz turbinlərinin enerji istehsalı üçün tətbiqi son zamanlarda artmışdır və görünür ki, bu, xüsusilə paylanmış enerji sənayesində artmağa davam edəcək. Enerji tələbatı 3 kateqoriyaya bölünür: Pik yük (10%-dən az istifadə), Baza yükü (təxminən 100% istifadə) və aralıq yük tələbi. Qaz turbinləri dizel

mühərrikləri və buxar turbinləri ilə müqayisədə müxtəlif cəhətdən üstünlük təşkil edir. Qaz turbinləri əsasən Brayton dövrü prinsipi əsasında işləyir və daha yüksək tullantı istiliyi, ikiqat yanacaq tutumu, kompakt ölçüsü, aşağı texniki xidmət, minimal çirklənmə, yüksək səmərəlilik və münasib əməliyyat xərcləri səbəbindən elektrik enerjisi istehsalı üçün enerji sənayesində geniş istifadə olunur (Cao və b., 2016).

Tədqiqat

Qaz turbin qurğularının dizaynında nanomateriallardan istifadə

Qaz turbin qurğularının yüksək performansı üçün onların mühərrikinin dizaynında material seçimi xüsusilə, düzgün nanostruktur materiallarının vacib əhəmiyyət kəsb edir. Mühərrik dizaynında material seçimi üçün bir neçə kriteriyalar var (Lagow, 2016).

1. Performans
2. Qüvvət, yorulma qabiliyyəti və xüsusilə istiliyə dayanıqlılığı
3. Xərc və çəkisi

Xüsusilə istiliyə dayanıqlılıq material seçimində ən vacib faktorlardan biridir. Çünki bəzi materialların istiliyin təsirindən genişlənmə bilir və buda ciddi problemlər yaradır. Burada anlayışlardan ən əsası CTE yəni istiliyin genişlənmə əmsəlidir. CTE əmsəli temperatur artdıqca bir materialın nə qədər genişləndiyini və ya daraldığını göstərir. Hər hansı bir qaz turbin mühərrikində istilik genişlənməsinin 2 əsas səbəbi var: mühərrik komponentlərində yaranan istilik gərginlikləri və mühərrikdəki ölçülərin idarə olunması.

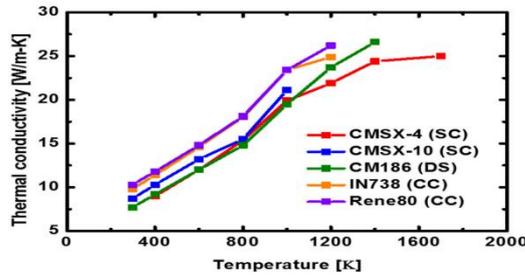
2.1. Termal Stress

Termal gərginliklər mühərrikin işləməsi nəticəsində əmələ gələn istiliyin yaranır və həm qazın sıxılması, həmçinin yanacağın yanması nəticəsində yaranır. Komponentlər bir-birinə yapışdıqda və ya bir komponent digərini məhdudlaşdırdıqda, bu komponentlər arasındakı istilik genişlənməsindəki hər hansı bir fərq səthin bir tərəfində gərginlik, digər tərəfində isə əks gərginlik yaradır (Hetnarski və b., 2009).

2.2. Ölçü nəzarəti

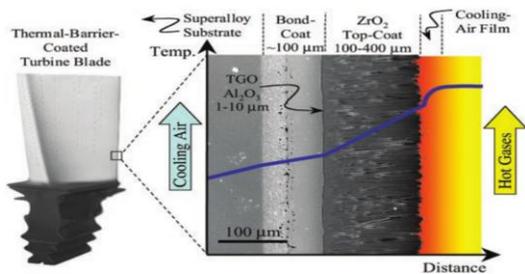
Qaz turbinli mühərrik statik bir quruluşun içərisində fırlanan qurğular (hava yastıqları, diskələr və vallar) toplusundan ibarətdir. Fırlanan qurğular enerji yaratmaq üçün mühərrikdən hava keçirir və yağlama tələb edən yastıqlar sistemi ilə dəstəklənir. Mühərrikdə həm öndən arxaya, həm də radial olaraq bir temperatur qradienti olduğundan, istilik genişlənməsi və büzülməsi nəticəsində komponentlər arasındakı boşluqlar işləmə zamanı dəyişəcək. Bu, iki vacib dizayn mülahizəsinə gətirib çıxarır: möhürləmə (boşluqları təcrid etmək və hava ilə yağın qarışmasının qarşısını almaq) və hava axınının idarə olunması. Bıçağın içərisində olan vahid temperatur paylanması temperatur qradientini azaltmaqla, termal stressi azalda bilər.

Temperatura davamlılıq üçün super ərintilər üzərində bir sıra tədqiqatlar aparılmışdır və onların istilik xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Super ərintilərdə istilik keçiricilik nə qədər yüksəkdirsə, bıçaq dizaynında istilik yayılması və soyuması o qədər asan olur (Zielinska və b., 2010; Terada və b., 2003). Super ərintilərin istilik keçiriciliyinə daha çox metaldakı sərbəst elektronlar təsir göstərir. Super ərintilərin kimyəvi tərkibi istilik keçiriciliyindəki dəyişikliyə təsir göstərir və istilik keçiriciliyindəki dəyişikliklər nikelə əsasən istilik keçiriciliyinə təsir edən neçə növ materialın daxil edilməsindən asılı olaraq dəyişir (Zielinska və b., 2010). Müxtəlif kimyəvi tərkiblərin daxil edilməsi super ərintilərin mexaniki xüsusiyyətlərini artırır; lakin, bu kimyəvi tərkiblər nikel qəfəsində nöqtə qüsurlarına səbəb olur ki, bu da istilik keçiriciliyini azaldır. Nikel əsaslı super ərintilərin əsası olan nikel otaq temperaturunda təxminən 106 Vt/mK istilik keçiriciliyinə malikdir, lakin Şəkil 1-də göstəriləyi kimi, müxtəlif digər metallarla ərintilərin istilik keçiriciliyi 10-30 Vt/mK təşkil edir ki, bu da nikelin istilik keçiriciliyinin 10-30%-ni təşkil edir (Przeliorz və Piatkowski, 2017).



Şəkil 1. Tökmə üsuluna görə nikel əsaslı super ərintilərin istilik keçiriciliyinin temperaturla dəyişməsi (Quested və b., 2009).

Son dövrlərdə qaz turbinləri kimi yüksək temperaturlu sərt mühitlərdə işləyən mexaniki sistemlərin səmərəliliyini artırmaq üçün müxtəlif sahələr tədqiq edilmişdir. Mexaniki sistemlərdə, xüsusən də qaz turbinlərində səmərəliliyin yaxşılaşdırılmasına uzun işləmə müddəti, yüksək işləmə səmərəliliyi və emissiyaların azaldılması daxildir. Bu şərtləri ödəmək üçün turbinin giriş temperaturunu artırmaqla termodinamik səmərəliliyin artırılması ən təsirli üsuldur, lakin işləmə temperaturu artdıqca nüvə hissələrinə zərər verən ciddi işləmə mühiti yaranır. Əsas komponentlər, məsələn, TBC-lər, yüksək temperaturlu mühitlərə birbaşa məruz qalan qaz turbinlərinin hissələrinə tətbiq olunur. Bıçaqlar kimi komponentlərə aşağı istilik keçiriciliyi örtükləri tətbiq etməklə komponentlərin temperaturu təxminən 100-300°C azalır. Bu texnikadan istifadə etməklə, qaz turbinini nikel əsaslı super ərintilərin ərimə temperaturundan 250°C yüksək yanma qazı temperaturunda işlətmək olar. Bundan əlavə, TBC-lər metal komponentlərin temperaturunu aşağı saldıqları üçün qaz turbininin komponentlərinin xidmət müddətini artırır (Liu və b., 2019). Bu TBC-lər, Şəkil 2-də göstəriləyi kimi, alovları birbaşa bloklayan və istilik ötürülməsini azaldan keramika materialının üst örtüyündən və üst örtüyü və əsas materialı birləşdirən metal materialdan ibarətdir. Üst örtüklər ən çox ittria stabiləşdirilmiş sirkoniya (YSZ) adlanan ZrO_2 komponenti ilə istifadə olunur. Bundan əlavə, YSZ aşağı istilik keçiriciliyinə və yüksək oksigen keçiriciliyinə malikdir. Bağlayıcı örtük, super ərinti əsas materialına alovun nüfuz etməsinin qarşısını almaq və super ərinti ilə üst örtük arasındakı istilik genişlənmə əmsalındakı fərqlərə görə istilik stressini azaltmaq üçün istifadə olunan MCrAlY (M: Co, Ni)-dən ibarət metal material təbəqəsidir. Üst örtüyün yüksək oksigen keçiriciliyinə görə, bağlayıcı örtükdə mövcud olan Al komponenti nüfuz edən oksigenlə reaksiyaya girərək termal olaraq yetişdirilən oksid (TGO) əmələ gətirir. Daxili səthi daha da oksidləşmədən qorumaq üçün bağlayıcı örtük təbəqəsində $-Al_2O_3$ komponenti ilə TGO əmələ gəlir. Keramika üst örtük təbəqəsini püskürtməzdən əvvəl yapışma möhkəmliyini artırmaq üçün, düzgün istilik müalicəsi yolu ilə yapışma örtüyündə 2-3 m TGO əmələ gəlir. Lakin, yüksək temperaturlu komponentlərin istismarı zamanı 8-10 m qalınlığında TGO-nun böyüməsi keramika təbəqəsi ilə səth gərginliyi yaradır, yapışmanı azaldır və TBC-nin delaminasiyasına səbəb olur (Evans və b., 2001). Buna görə də, TBC-lərin dizaynında TGO-ya, eləcə də istiliyə davamlılığa, yüksək temperatur xüsusiyyətlərinə və örtüklərin çökdürülməsi üçün istifadə olunan üsullara diqqət yetirilməlidir.



Şəkil 2. Termal baryer örtüyünün (TBC) skan edən elektron mikroskopu (SEM) təsvirləri (Sunguk və b., 2020).

Nəticə

Qaz turbin qurğularının dizaynında effektiv super ərintilərdən və nanomateriallardan istifadə həmin qurğuların performansına çox yaxşı təsir edə bilər. Xüsusilə, termal davamlı materiallar misal olaraq, Ni-əsaslı super ərintilərdən istifadə bu qurğular üçün vacib əhəmiyyət kəsb edir.

Ədəbiyyat

1. Cao, Y., Gao, Y., Zheng, Y., & Dai, Y. (2016). Optimum design and thermodynamic analysis of a gas turbine and ORC combined cycle with recuperators. *Energy Conversion and Management*, 116, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.073>
2. Evans, A., Mumm, D., Hutchinson, J., Meier, G., & Pettit, F. (2001). Mechanisms controlling the durability of thermal barrier coatings. *Progress in Materials Science*, 46, 505–553. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(00\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(00)00020-7)
3. Hetnarski, R. B., & Eslami, M. Reza. (2009). *Thermal stresses—Advanced theory and applications* (pp. 110–113). New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-10436-8>
4. Jonsson, M., & Yan, J. (2005). Humidified gas turbines—A review of proposed and implemented cycles. *Energy*, 30(7), 1013–1078. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.005>
5. Lagow, B. W. (2016). Materials selection in gas turbine engine design and the role of low thermal expansion materials. *JOM*, 68, 2770–2775. <https://doi.org/10.1007/s11837-016-2071>
6. Liu, Q., Huang, S., & He, A. (2019). Composite ceramics thermal barrier coatings of yttria stabilized zirconia for aero-engines. *Journal of Materials Science & Technology*, 35, 2814–2823. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.08.003>
7. Przeliorz, R., & Piatkowski, J. (2017). Application of DSC method in studies on phase transitions of Ni superalloys. *Archives of Foundry Engineering*, 17, 133–136. <https://doi.org/10.1515/afe-2017-0144>
8. Quested, P. N., Brooks, R. F., Chapman, L., Morrell, R., Youssef, Y., & Mills, K. C. (2009). Measurement and estimation of thermophysical properties of nickel based superalloys. *Materials Science and Technology*, 25, 154–162. <https://doi.org/10.1179/174328408X361454>
9. Sunguk Wee, Do, J., Kim, K., Lee, C., Baig-Gyu Choi, Seok, C., Yoonsuk Choi, & Kim, W. (2020). Review on mechanical thermal properties of superalloys and thermal barrier coating used in gas turbines. *Applied Sciences*, 10(16), 5476. <https://doi.org/10.3390/app10165476>
10. Sunguk Wee, Do, J., Kim, K., Lee, C., Baig-Gyu Choi, Seok, C., Yoonsuk Choi, & Kim, W. (2020). Review on mechanical thermal properties of superalloys and thermal barrier coating used in gas turbines. *Applied Sciences*, 10(16), 5476. <https://doi.org/10.3390/app10165476>
11. Terada, Y., Ohkubo, K., Miura, S., Sanchez, J. M., & Mohri, T. (2003). Thermal conductivity and thermal expansion of Ir₃X (X = Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta) compounds for high-temperature applications. *Materials Chemistry and Physics*, 80, 385–390. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00109-8](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00109-8)
12. Zielinska, M., Yavorska, M., Poreba, M., & Sieniawski, J. (2010). Thermal properties of cast nickel based superalloys. *Archives of Materials Science and Engineering*, 44, 35–38.

Daxil oldu: 29.09.2025

Qəbul edildi: 18.12.2025