

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ГТД ПРИ ТЕРМОЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ДО І ПІСЛЯ ПОЯВИ ТРІЩИН ТЕРМІЧНОЇ ВТОМИ

Л.В. Кравчук, К.П. Буйських, С.Г. Киселевська, Є.О. Задворний,
А.Ю. Лебедин

Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України, Україна

Investigation of the kinetics of surface degraded layer of the most loaded elements of GTE structures before and after thermal fatigue crack initiation has showed the significance of variations of this layer and necessity to consider them in the assessment of lifetime of high-temperature elements of GTE structures and stress-strain state calculation.

Проблема прогнозування обґрунтованого безпечного продовження ресурсу елементів конструкцій газотурбінних установок в Україні є досить актуальною у зв'язку з неможливістю заміни експлуатованого енергетичного обладнання, яке вичерпало свій робочий ресурс або знаходиться на межі його вичерпання. Тому актуальною є задача дослідження кінетики пошкодження найбільш навантажених елементів конструкцій ГТД, зокрема матеріалу поверхневого шару, де спостерігається поява тріщин термічної втоми [1-3].

Проблемні задачі пошкодження деградованих поверхневих шарів конструкційних елементів досліджувалися [4-6] на клиновидних зразках, на яких моделювалися умови роботи соплових лопаток ГТД [7], і які були випробувані на газодинамічному стенді ІПМіц ім. Г.С.Писаренка НАН України. На рис. 1 представлені результати дослідження закономірностей деградації матеріалу поверхневого шару лопаток ГТД до появи тріщини термічної втоми.

Деградований шар розглядали, як композиційний матеріал, що складається з трьох шарів: зовнішнього шару, що складається з оксидів; внутрішнього шару зі зниженою кількістю кисню; шару, збідненого γ' - фазою, розташованого між внутрішнім окисним шаром і матрицею. Відповідність позначень на фото шліфа і областей розподілів елементів наступне: зовнішній шар - область а (точка 1); внутрішній шар - область b (точка 2); шар, збіднений γ' - фазою - область с (точка 3), матриця - область d (точки 4, 5). Утворення області (с), розташованої на кордоні деградований шар - матриця, збідненої зміцнюючою γ' -фазою, пов'язано зі зниженням концентрації таких елементів, як Al, Cr при зростанні концентрації Ni і Co. Аналіз представлених даних показує, що при більш високій температурі концентрація Ni, Co, Cr, Al в деградованому шарі нижча, ніж при більш низькій температурі.

Аналогічні дослідження з вивчення деградованого шару були проведені в зоні тріщин. На рис. 2 показана схема розташування тріщин на клиновидному зразку, що виникли внаслідок термоциклювання. Ці тріщини виникли і розвивалися в різних за величиною термонапружених зонах клиновидного зразка, які відрізняються різною кінетикою пошкодження деградованого шару.

Досліджувалася мікроструктура і елементний склад на двох тріщинах у кожній з трьох зон: усті, середній частині і вершині. На рис. 3 показаний характерний приклад дослідження елементного складу в усті двох тріщин. У зовнішньому і внутрішньому корозійному шарі зменшується вміст Ni. Вміст Cr, Al також зменшується в зовнішньому корозійному шарі, але збільшується у внутрішньому корозійному шарі. Характер змін концентрації кисню цілком закономірний - за рахунок оксидів Ni і Cr його кількість в корозійному шарі максимальна і дорівнює нулю в освітленій зоні і матриці. Помітно більша кількість кисню спостерігається на берегах довшої тріщини, що пояснюється знаходженням цієї тріщини на клиновидному зразку в зоні з більш високими температурами.

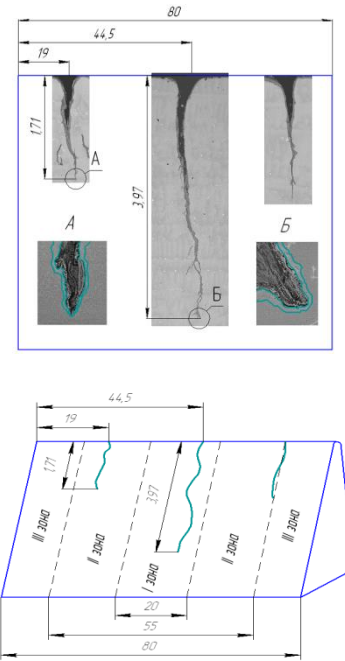
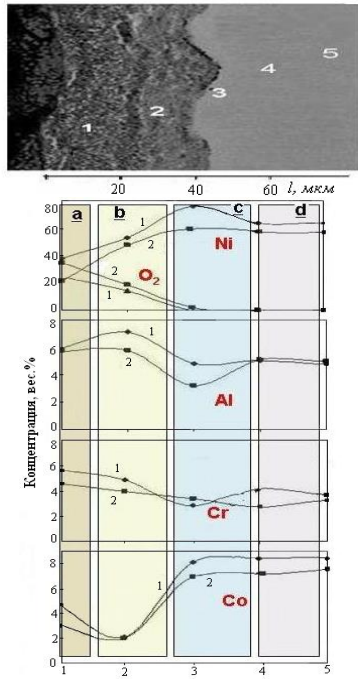


Рис. 1. Зміни елементного складу за глибиною поверхнього деградованого шару сплаву ЖС6Ф при двох значеннях температур: 1 - 900⁰, 2 - 1020⁰ С

Рис. 2. Розташування тріщин на клиновидному зразку та їх фото

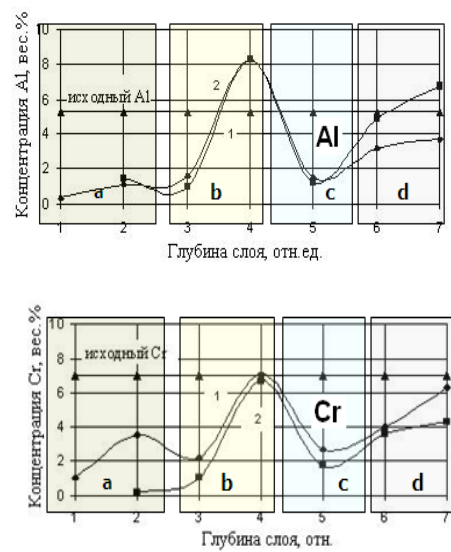
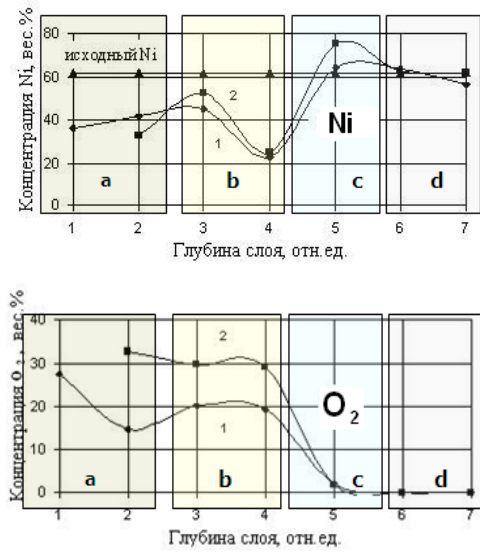
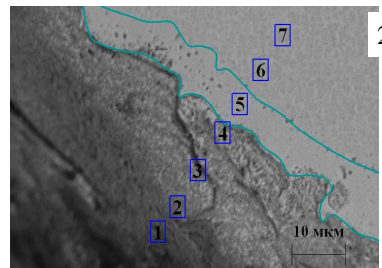
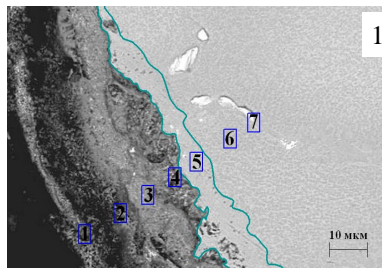


Рис. 3. Дослідження елементного складу в усті тріщин: 1 – тріщина з довжиною 1,71 мм; 2 – тріщина з довжиною 3,97 мм; а – зовнішній шар; б – внутрішній шар; с – шар збіднений γ' - фазою; д – матриця

На рис. 4 представлено дослідження елементного складу в трьох зонах тріщин, збіднених γ' - фазою.

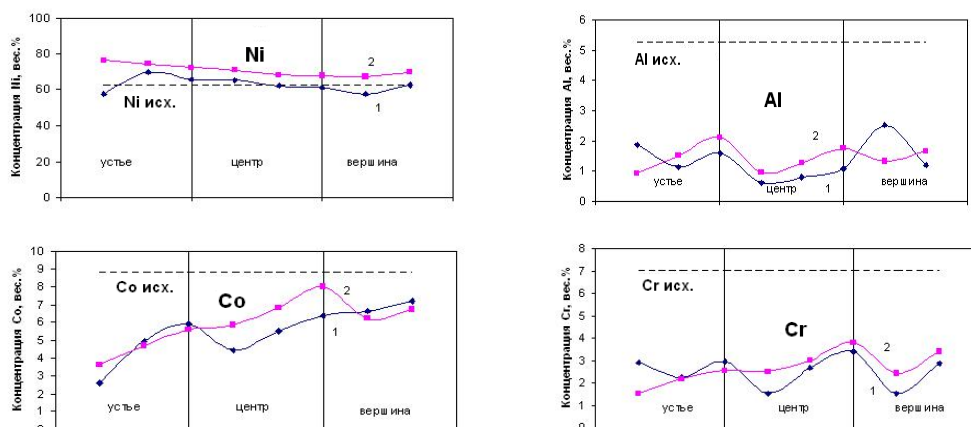


Рис. 4. Зміни елементного складу в трьох зонах тріщин, збіднених γ' - фазою: 1 – тріщина з довжиною 1,71 мм; 2 – тріщина з довжиною 3,97 мм

Аналіз кривих, представлених на рис. 4, показує, що в центральній частині тріщини концентрація елементів Ni, Cr, Co і Al більш висока для довгої тріщини. У вершині і усті характер розподілу змінюється - цих елементів може бути як більше, так і менше, що свідчить про більшу нестаціонарність корозійних процесів, що відбуваються у вершині і усті, у порівнянні з центральною частиною тріщини.

В цілому можна зробити наступні висновки.

Досліджено пошкодження поверхневого шару найбільш навантажених елементів конструкцій ГТД до і після появи тріщин термічної втоми.

Встановлено, що відбулися істотні зміни поверхневого деградованого шару матеріалу деталей, які необхідно враховувати при оцінці ресурсу високотемпературних елементів конструкцій ГТД і розрахунку напружено-деформованого стану.

Література.

1. Bensch M., Sato A., Warnken N., Affeldt E., Reed R.C., Glatzel U. Modelling of High Temperature Oxidation of Alumina-Forming Single-Crystal Nickel-Base Superalloys // Acta Materialia. – Vol. 60. – Is. 15. – 2012. – P. 5468-5480.
2. Sato A., Chiu Y.-L., Reed R.C. Oxidation of nickel-based single-crystal superalloys for industrial gas turbine applications // Acta Materialia. - Vol. 59. - 2011. - P. 225-240.
3. Gordon A.P., Trexler M.D., Neu R.W., Sanders J.T., McDowell D.L. Corrosion kinetics of a directionally solidified Ni-base superalloy // Acta Mater. - Vol. 55. - 2007. - P. 3375.
4. Кравчук Л.В., Курият Р. И., Буйских К.П. Термоциклическая долговечность элементов конструкций ГТД с защитными покрытиями // Вісник двигунобудування. – 2002. - № 1. – С. 52-56.
5. Kravchuk L.V., Kuriat R.I., Buiskikh K.P., Zadvornyi E.A., and Kiselevskaya S.G. Study of Damage Kinetics of Heat-Resistant Alloys Subjected to Thermocyclic Loading in a Gas Flow // Strength of Materials. -2006. - Vol. 382 (38). - N4. - P.386-391.
6. Kravchuk L.V., Kuriat R.I., Buiskikh K.P., Zadvornyi E.A., and Kiselevskaya S.G. Surface Layers' Degradation of Heat-Resistant Alloys and Thermal Fatigue Damageability of Gas Turbine Engine Structural Components // Strength of Materials. – 2008. - Vol. 395 (40). - N5. - P.552-559.
7. ДСТУ 23.6794. Єдина система захисту від корозії та старіння. Метали, сплави, покриття жаростійкі. Метод випробувань на високотемпературну корозію та термовтому в потоці продуктів горіння палива. – 9 с.