

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НА НИКЕЛЕВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ, ПОЛУЧЕННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ ХРОМОАЛИТИРОВАНИЕМ

К. К. Бахронов

Восточно-Сибирский государственный технический университет,
г. Улан-Удэ, Россия

В современных авиадвигателях внутренние и наружные поверхности лопаток подвержены воздействию раскаленного газового потока; в результате в наружных поверхностях температура составляет 1000–1100 °С, а во внутренних полостях 950–1000 °С. Вследствие диффузии алюминия в защитные оксиды и в подложку происходит растворение интерметаллидов, причем растворение зависит от структуры, состава, толщины покрытия и температуры эксплуатации. Диффузионное взаимодействие между алюминидным покрытием и жаропрочным сплавом, определяющая стабильность фаз, образовавшихся при нанесении покрытия, приводит к изменению концентрации хрома, молибдена, вольфрама и других элементов, присутствующих в покрытии. Изменение концентрации этих элементов зависит от их растворимости в алюминидных NiAl и Ni₃Al, скорости диффузии этих элементов из сплава в покрытие и из покрытия в оксид. При концентрации хрома, молибдена, вольфрама в покрытии выше предела растворимости они образуют в покрытии самостоятельные фазы, располагающиеся, как правило, во внутреннем слое. Растворение указанных элементов существенно влияет на свойства покрытий.

На основании этого необходимы испытания покрытий на жаростойкость. Испытания проводились в открытых электрических печах при температуре 1050 ± 10 °С и изотермической выдержке в воздушной среде. Образцы, после циркуляционного хромоалитирования [1, 2], при температуре 1000 °С в течение 4 ч, загружались в предварительно прокаленные (1050 ± 10 °С) корундовые тигли. Испытаниям подвергались образцы из сплавов ЖС6У, ЖС26, ЖС32. Форма и размеры образцов: цилиндрические диаметром 10 ± 0,1 мм, высотой 20 ± 0,1 мм соответствовали требованиям ГОСТ-6130. Испытания на жаростойкость проводились при температуре 1050 °С в печи СНОЛ и продолжительности до 1500 ч. Критерием служило содержание β-фазы в % в наружном слое покрытия после испытания в

сравнении с порошковым хромоалитированием. Количество содержания β-фазы проводилась при обработке изображения на шлифе и определяли ее в виде темной структурной составляющей покрытия.

Для обеспечения точечного соприкосновения образцов на дно тигля укладывались фрагменты прокаленного корунда. Контроль, измерение и регистрация температуры нагрева образцов осуществляется в течение всего периода испытаний. Испытания проводились в среде спокойного воздуха.

В соответствии с требованиями ГОСТ-6130, перед испытаниями на жаростойкость, поверхность покрытий не должна иметь следов коррозии, цветов побежалости, трещин, сколов, пор и других дефектов. Наличие дефектов проверяется с помощью лупы 3–5-кратного увеличения. Образцы с дефектами к испытанию не допускались.

Микрорентгеноспектральный анализ химического состава покрытий выполняли методом ЭМРА – испытаний [3]. Оценка фазовой стабильности покрытий на образцах, отобранных в ходе испытаний, проводилась при помощи рентгеновского дифрактометра. По результатам фазового анализа покрытий проводили сравнение по содержанию основной β-фазы с применяемым порошковым хромоалитированием. При исчезновении в покрытии фазы β-NiAl, ответственной за жаростойкость, срок службы покрытия считается исчерпанным.

Механические свойства покрытий на никелевых жаропрочных сплавах изучены в работе [4].

Испытания защитных покрытий на пластичность при чистом изгибе заключалась в следующем.

На рисунке 1 показана установка для оценки сопротивляемости защитных покрытий растрескиванию, определение деформаций и напряжений, при которых в покрытии возникает первая трещина. Конструкция позволяет нагружать расчетные сечения образца с защитным покрытием чистым изгибом,

определять величину нагружаемой силы, измеряя с помощью стрелочных индикаторов, возникающие при этом величины прогибов, определять также деформацию начала растрескивания и возникающие в защитных покрытиях напряжения.

Методика проведения исследования

1. Испытания проводят при комнатной температуре на образцах в виде однородных прямоугольных балочек размером не более 45 x 5 x 4 мм, что определяется конструкцией загрузочного механизма.

2. Необходимо произвести обмер образцов штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

3. Установить образцы в загрузочный механизм. Для обеспечения условий чистого изгиба и с учетом расчетной схемы. Необходимо точно выдержать установочный параметр a - расстояние от точки приложения нагрузки до опорного мостика (рисунок 2), и обеспечить равенство прилагаемых сил. С этой целью крепление опорного мостика выполнено шарнирно, а в конструкции загрузочного механизма предусмотрены специально пазы, в которые устанавливают балку. После этого проверяют правильность установки штангенциркулем. Чистый изгиб реализуется на участке "с" – между опорами мостика (рисунок 3). Контроль симметричности нагружения осуществляется по двум боковым стрелочным индикаторам перемещения, по-

казания которых в процессе приложения нагрузки должны быть идентичны.

4. Нагрузить образец, путем установки весовых гирь различного достоинства, на площадки загрузочного устройства и рычага. При этом в поперечных сечениях балки, на участке между опорами, возникает только изгибающий момент, а поперечная сила отсутствует. Под действием изгибающего момента ось бруса будет принимать форму дуги окружности, так как изменение кривизны для всех участков, где реализуется чистый изгиб, одинаково, при этом в поперечных сечениях возникают только нормальные напряжения.

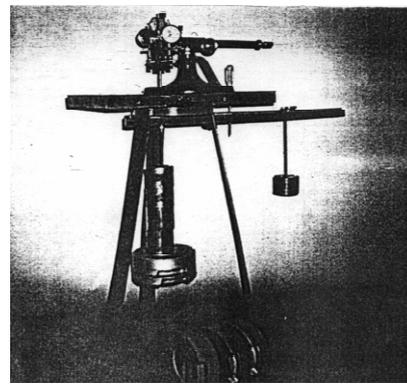


Рисунок 1 – Установка для определения характеристик прочности защитных покрытий

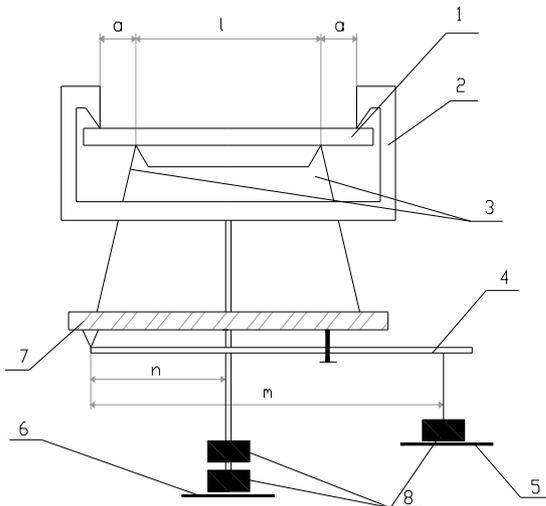


Рисунок 2 – Схема загрузочного механизма: 1 – образец, 2 – загрузочное устройство, 3 – опоры, 4 – рычаг, 5 – площадка рычага, 6 – площадка загрузочного устройства, 7 – подставка, 8 – весовые гири

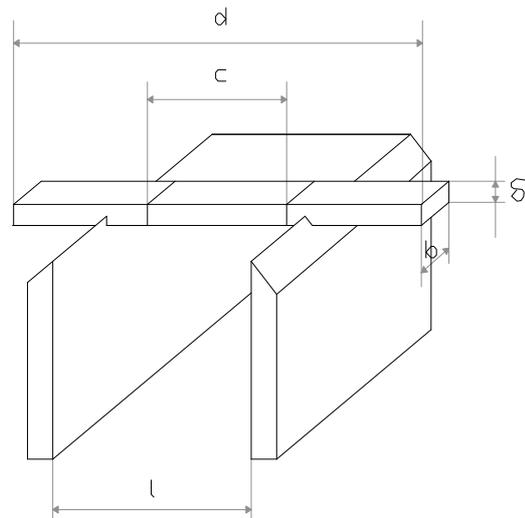


Рисунок 3 – Схема опорного мостика: 1 – образец, 2 – опорный мостик, Р – нагрузка, d, b, δ – геометрические размеры образцов

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НА НИКЕЛЕВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ, ПОЛУЧЕННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ ХРОМОАЛИТИРОВАНИЕМ

5. Момент появления трещин в защитном покрытии определяется с помощью стетоскопа по характерному звуку, что позволяет раньше зафиксировать трещины и не требует специальной подготовки образца.

6. При этом фиксируют прогибы, определяемые стрелочными индикаторами и величину приложенной нагрузки,

$$P = 1/2 \cdot (R1 + (m/n) \cdot R2) \quad (1)$$

где R1, R2 – нагрузки на площадке грузочного устройства и рычага; m, n – плечи рычага. В случае неиспользования рычага его исключают из схемы, и вторая составляющая будет равна нулю.

7. Определяют напряжение и деформацию, где защитное покрытие растрескивается и теряет свои защитные свойства.

Деформация определяется из формулы:

$$E\epsilon = (4 \cdot \delta / c^2) \cdot f\zeta \quad (2)$$

где δ – толщина бруса, c – расстояние между опорами, $f\zeta$ – прогиб балки.

Максимальные напряжения:

$$\sigma_{\max} = 6 \cdot P \cdot d / (b\delta)^2 \quad (3)$$

Выводы: Результаты работы использованы для разработки технологических режимов циркуляционного хромоалитирования лопаток ГТД, обеспечивающих получение качественных покрытий, технологической стабильности процесса и экономической эффективности.

1. Проведены испытания покрытий на никелевых сплавах на жаростойкость при

температуре 1050 °С в течение 1500 ч и пластичность.

2. Установлено, что в покрытии после окисления сохраняются фазы β -NiAl и γ -Ni₃Al. Наличие жаростойкой β -фазы в покрытии свидетельствует о сохранении защитных свойств покрытия, где содержание β -фазы около 10 %, что равно содержанию β -фазы в покрытиях полученных в порошках. Циркуляционный способ нанесения покрытий на сплавах обеспечивает пластичность при статическом нагружении – 0,6 %, что равняется покрытиям полученным в порошках – 0,6 %.

Список литературы:

1. Циркуляционный метод получения диффузионных покрытий на деталях газотурбинных двигателей и перспективы его развития / Б. Н. Арзамасов, А. К. Белявский, А. В. Логунов, Г. Б. Строганов // Вестник машиностроения. – 1991. – №11. – С. 43-48.

2. Коломыцев П. Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. – М.: Металлургия, 1991, – 237 с.

3. Миркин Л. И. Рентгеноструктурный анализ. Индексирование рентгенограмм: Справочное руководство. – М.: Наука, 1981. – 496 с.

4. Бахронов К. К. Механические свойства покрытий на никелевых жаропрочных сплавах полученные циркуляционным хромоалитированием. – Вестник машиностроения, Москва: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2011. – С. 56-63.