

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРЕБЕШКОВ ЛАБИРИНТНОГО УПЛОТНЕНИЯ ДИСКА ТВД ГТД ИЗ ГРАНУЛИРУЕМОГО СПЛАВА ЭП741НП ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Котельников А.В., Фурсенко Е.Н., Наймушин А.С.  
АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, [naymushin-as@avid.ru](mailto:naymushin-as@avid.ru)

*Ключевые слова:* лазерная наплавка, гранулируемый сплав, технология восстановления.

Технология металлургии гранул с последующим прямым горячим изостатическим прессованием (ГИП) обеспечивает получение заготовок дисков и валов с однородной структурой и распределением механических характеристик во всем объеме детали [1, 2].

Отсутствие технологии ремонта дисков ТВД из гранулированных сплавов приводит к тому, что при износе гребешков лабиринтных уплотнений дисков в процессе эксплуатации двигателя, для восстановления радиального зазора пары уплотнение статора – гребешки ротора, в РКД допущено уменьшение диаметра гребешков на категорийные размеры с заказом на восстановительный ремонт сопрягаемых диаметров сопловых аппаратов, что значительно удлиняет цикл ремонта двигателя.

Сдерживающим фактором ремонта изделий из гранулируемых сплавов является то, что во-первых, к жаропрочным дисперсионно-твердеющим сплавам с содержанием упрочняющей  $\gamma'$ -фазы 52-54%. При сварке жаропрочные никелевые сплавы с содержанием свыше 3,5% Al, свыше 5% Ti и свыше 21%  $\gamma'$ -фазы относятся к сплавам с высокой склонностью к образованию трещин, обусловленных высоким уровнем сварочных и объёмных напряжений, образующихся при кристаллизации металла шва и охлаждения околошовной зоны. Во-вторых, сплав ЭП 741НП наследует границы гранул в матрице заготовки с карбидными включениями по границам гранул при его изготовлении, и, при восстановительном ремонте с использованием термического воздействия на восстанавливаемую поверхность, например, методом наплавки, велика вероятность образования микротрещин в зоне сплавления и последующим их развитием по границам зёрен, совпадающих с наследственными границами исходных гранул (рис. 1).

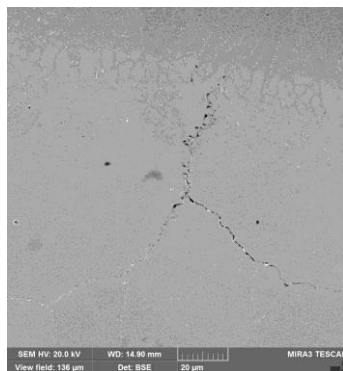


Рисунок 1 – Развитие трещин по границам гранул

Решением проблемы восстановления изношенных гребешков диска турбины высокого давления из сплава ЭП741НП стало применение аддитивной технологии ремонта, в частности лазерной газопорошковой наплавки с коаксиальной подачей порошка (рис. 2).

При этом используется режим лазерной порошковой наплавки, исключая критическое вложение тепла в материал основы, приводящего к тепловому расширению гранулы до размеров, при которых воздействие теплового расширения на межгранульную карбидную фазу превышает прочность карбидной фазы и приводит к образованию межгранульных микротрещин в зоне термического влияния, далее распространяющихся в основной материал и материал наплавки. Импульс лазерного излучения выполнен с амплитудной модуляцией мощности лазерного излучения и длительностью импульса

лазерного излучения для исключения образования трещин и отвечает следующему соотношению (1):

$$E_{\text{п}} < E_{\text{з}} < E_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{з}}$  – заданная плотность мощности;  $E_{\text{п}}$  – пороговая плотность мощности лазерного излучения в зоне наплавки, при которой происходит расплавление присадочного материала и поверхности основы, обеспечивающую их металлургическую связь;  $E_{\text{кр}}$  – критическая плотность мощности лазерного излучения, при которой происходит образование микротрещин в зоне сплавления и последующим их развитием по границам зёрен, совпадающих с наследственными границами исходных гранул [3].

Результатом реализации разработки технологии является:

- разработка технологического процесса восстановительного ремонта гребешков диска турбины высокого давления из гранулируемого сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки сплава ВЗК;

- выполнение предъявительских испытаний диска с восстановленными гребешками с установкой на ремонтный ротор в составе партионного двигателя;

- принятие решения о внедрении технологии ремонта гребешков лабиринтного уплотнения диска турбины высокого давления из гранулируемого сплава ЭП741НП в серийное производство;

- получение патента на изобретение №2786555 от 22.12.2022 «Способ ремонта гребешков лабиринтных уплотнений дисков газотурбинного двигателя».

### Список литературы

1. Гарибов Г.С. Отечественные гранулированные материалы для газотурбинных технологий // технология легких сплавов. – 2018. - № 4. – С. 24-27.

2. Гарибов Г.С. Теория кристаллизации и технология гранулируемых жаропрочных никелевых сплавов // технология легких сплавов. – 2016. – № 1. – С. 107-118.

3. Пат. 2786555 Российская федерация, МПК В23Р 6/00 (2006.01), В23К 26/34, В23К 26/14, В23К 35/32, В23Р 15/02. Способ ремонта гребешков лабиринтных уплотнений дисков газотурбинного двигателя: №2022111011 : ЗАЯВЛ. 22.04.2022: ОПУБЛ. 22.12.2022 / Котельников А.В., Фурсенко Е.Н., Наймушин А.С. – 13 с.

### Сведения об авторах

Котельников Альберт Викторович, начальник отдела разработки перспективных технологий ремонта; Фурсенко Евгений Николаевич, инженер отдела разработки перспективных технологий ремонта; Наймушин Александр Сергеевич, инженер-технолог отдела разработки перспективных технологий ремонта.

### DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR RESTORING THE COMBS OF THE LABYRINTH SEAL OF THE TVD GTD DISK FROM THE GRANULATED EP741NP ALLOY AFTER OPERATION

Kotelnikov A.V., Fursenko E.N., Naimushin A.S.  
JSC "UEC-Aviadvigatel", Perm, naymushin-as@avid.ru

*Keywords: laser surfacing, granulated alloy, recovery technology.*

The lack of technology for repairing TVD discs made of granular alloys leads to the fact that when the scallops of the labyrinth seals of the discs wear out during engine operation, in order to restore the radial clearance of the stator seal pair – rotor scallops, a reduction in the diameter of the scallops by categorical sizes is allowed in the RCD with an order for the repair of the mating diameters of the nozzle apparatuses, which significantly lengthens the engine repair cycle.

The solution to the problem of restoring worn-out scallops of a high-pressure turbine disk made of EP741NP alloy was the use of additive repair technology, in particular laser gas-powder surfacing with coaxial powder supply.