

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РАЦИОНАЛЬНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ КОРПУСА НАРУЖНОГО ГТД ПЕРЕХОДОМ НА МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Михляев Н.А., Ревков В.Д., Кондратьев В.С., Рассказчиков Д.С.

ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, sgk@uec-kuznetsov.ru

Ключевые слова: корпус наружный, жаропрочные никелевые сплавы, ВЖЛ14Н-ВИ, литье по выплавляемым моделям, обработка металлов давлением (ОМД), раскатка профильных колец, изотермическая штамповка, конечно-элементный анализ.

Обеспечение заданного ресурса и надежности современных газотурбинных двигателей (ГТД) напрямую связано с жесткими требованиями к прочностным характеристикам элементов силовой схемы. Наружный корпус камеры сгорания (КС) относится к числу наиболее нагруженных крупногабаритных деталей, воспринимающих комплексные статические и динамические нагрузки при повышенных температурах. В процессе изготовления корпусов штатной конструкции была выявлена производственная проблема: из-за значительных габаритов и локальной разности толщин стенок корпусных элементов литейный жаропрочный никелевый сплав ВЖЛ14Н-ВИ при литье по выплавляемым моделям (ЛВМ) склонен к образованию усадочной пористости, трещин и выраженной макроструктурной неоднородности, что исключает стабильное бездефектное изготовление таких деталей.

В настоящей работе проведена оценка накопленной статистики предприятия по возникновению внутренних дефектов литейных заготовок наружных корпусов КС, определены наиболее уязвимые к появлению дефектов зоны имеющейся конструкции, дефекты классифицированы по степени опасности в зависимости от нагруженного состояния детали и сложности доработки (рис. 1). Зелёным отмечены дефекты, допускающиеся при отливке, так как дефектный объём, содержащийся в них, мал по сравнению с общим объёмом ребра жёсткости. Жёлтым показаны наиболее распространенные дефекты, наличие которых ведёт к значительному снижению запасов длительной прочности детали, вследствие чего они обязательно подлежат доработке. Дефекты, выделенные красным цветом, – наиболее опасные вследствие их большого объёма, доработка таких дефектов влечёт за собой коробление заготовки и, как следствие, значительное увеличение цикла получения годной заготовки. Опыт производства показывает, что применяемый способ изготовления не позволяет избавиться от дефектов, поэтому требуется переход с литейных заготовок на деформированные.

Анализ мировой практики производства ответственных крупногабаритных деталей авиационных двигателей из никелевых суперсплавов показывает устойчивую тенденцию замены литья деформационными методами (ковка, штамповка, прокаткроп), гарантирующими исключение внутренних дефектов [1, 2]. В качестве альтернативных технологических решений для тонкостенных элементов рассматриваются новые методы направленного регулирования тепловых потоков в формах [3], однако для массивных кольцевых заготовок наиболее эффективна изотермическая многоосная ковка (MAF), измельчающая дендритную структуру до ультрамелкозернистого состояния [4], и профильная раскатка колец [5]. Профильная кольцепрокатка обеспечивает требуемое направление волокон макроструктуры, исключает их перерезку при последующей механической обработке и существенно снижает коэффициент расхода металла [5]. Глубокая деформационная проработка сплава полностью устраняет внутренние литейные дефекты и повышает комплекс прочностных свойств заготовки.

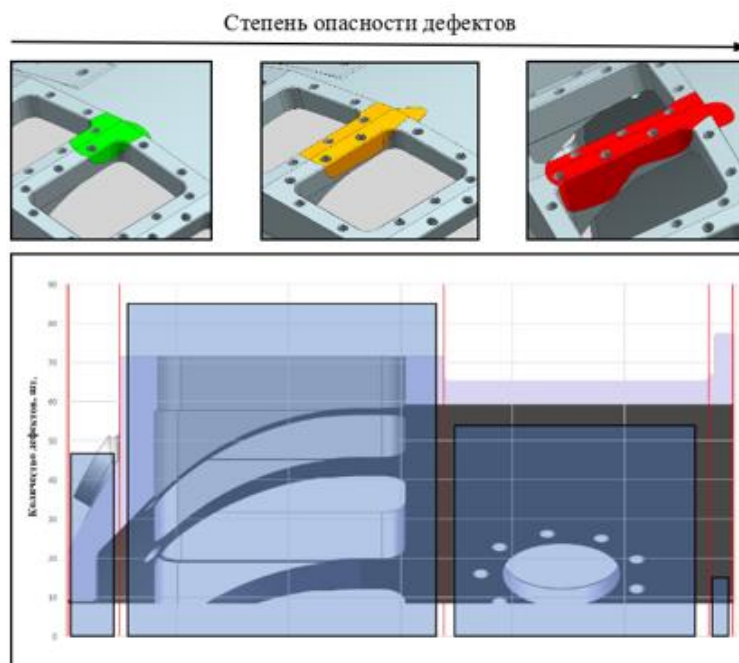


Рис. 1 Классификация дефектов ЛВМ по степени опасности и характер их распределения вдоль оси кольцевой заготовки

Для измененной геометрии корпуса (без массивных приливов и с унифицированными толщинами стенок) разработан рациональный маршрут ОМД на базе патентов РФ № 2741046 и № 2792019 [6, 7]: получение исходной заготовки из слитка электрошлакового переплава (ЭШП) [6]; осадка, прошивка и горячая протяжка на гидравлических прессах усилиями до 200 МН [6]; изотермическая штамповка (предварительное профилирование) [7] и профильная раскатка на кольцепрокатном стане. Для исключения роста зерна применяется ступенчатый методический нагрев (посадка при температуре ≤ 400 °С, выдержка при 600–650 °С, финальный подъем до 1170–1190 °С со скоростью не более 70 град./ч) [7]. Последующая термообработка включает закалку (1130–1150 °С, охлаждение на воздухе) и старение при 780–830 °С для интенсивного выделения упрочняющих фаз [7].

Данные, полученные в результате проделанной работы, будут использованы в рамках работ предприятия по изменению технологии изготовления корпусных деталей КС с целью исключения внутренних дефектов заготовок.

Список литературы:

1. Iqbal M.A., Skotnicová K., Shafiq A., Sindhu T.N. Inconel alloys: A comprehensive review of properties and advanced manufacturing techniques // International Journal of Thermofluids. – 2025. – Vol. 29. – 101394.
2. Мелентьев В.А. Технологические возможности изготовления заготовок ковкой и штамповкой: Учебное пособие. – Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2017. – 162 с.
3. Sheliga D., Motyka M., Ziaja W., Cygan R., Fuglewicz S., Gromada M. Investigation of Solidification Process of Nickel-Based Superalloy Castings Fabricated under Industrial Conditions Using New Thermal Insulation Module Technology // JOM. – 2023. – Vol. 75, No. 6. – pp. 128-135.
4. Moyye D.P., Satheesh Kumar S.S., Nagarajan D., Balasundar I. Microstructural Evolution and Mechanical Behavior during Isothermal Multiaxial Forging of Nickel-Based Superalloy SUPERNI 718 // JMEPEG. – 2025. – Vol. 34. – pp. 2344-2357.
5. Галкин В.И. Об оценке возможностей и перспектив конечно-элементного анализа процессов обработки металлов давлением // Проблемы технологии. Инновации. – М.: МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2019.

6. Патент RU 2792019 С1. Способ изготовления крупногабаритных профильных кольцевых изделий из коррозионностойкой жаропрочной стали. / АО «Металлургический завод «Электросталь». – Оpubл. 15.03.2023. Бюл. № 8.

7. Патент RU 2741046 С1. Способ изготовления крупногабаритного сложноконтурного кольцевого изделия из жаропрочного сплава на никелевой основе / АО «Металлургический завод «Электросталь». – Оpubл. 22.01.2021. Бюл. № 3.

Сведения об авторах

Михляев Н.А. – инженер-конструктор. Область научных интересов: конструкция и проектирование камер сгорания ГТД, технологии изготовления крупногабаритных корпусных деталей.

Ревков В.Д. – инженер-конструктор. Область научных интересов: конструкция и проектирование камер сгорания ГТД, тепловое состояние корпусных элементов конструкции КС.

Кондратьев В.С. – инженер-конструктор. Область научных интересов: конструкция и проектирование камер сгорания ГТД, технологии изготовления крупногабаритных корпусных деталей.

Рассказчиков Д.С. – инженер-конструктор. Область научных интересов: методы расчета и доводки камер сгорания ГТД.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY AND RATIONALITY OF CHANGING THE MANUFACTURING TECHNOLOGY OF A GAS TURBINE ENGINE OUTER CASING BLANK BY TRANSITIONING TO METAL FORMING METHODS

Mikhlyayev N.A., Revkov V.D., Kondratiev V.S., Rasskazchikov D.S.

JSC «UEC-Kuznetsov», Samara, sgk@uec-kuznetsov.ru

Keywords: outer casing, heat-resistant nickel superalloys, VZhL14N-VI, investment casting, metal forming, profile ring rolling, isothermal forging, finite element analysis.

The paper presents an evaluation of the efficiency and rationality of replacing the investment casting process with metal forming techniques for manufacturing the outer casing of a gas turbine engine (GTE) combustor made of VZhL14N-VI heat-resistant nickel-based superalloy. Based on the statistical analysis of internal casting defects (shrinkage porosity, cracks, macrostructural inhomogeneity), a classification of defects by danger levels and complexity of repair is introduced. To ensure structural reliability and eliminate stable casting defects, an alternative metal forming workflow is developed based on RF patents No. 2741046 and No. 2792019. The proposed route includes electroslag remelting (ESR), upsetting, piercing, hot drawing on 200 MN hydraulic presses, isothermal forging, and profile ring rolling. Optimal multi-stage heating rates and heat treatment parameters are defined to control grain growth and achieve superior mechanical properties.