DOI: 10.34220/2311-8873-2022-22-28

УДК: 621.048.7

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ

Грымзин Андрей Юрьевич
аспирант кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, РФ

Подгорнов Сергей Николаевич
аспирант кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, РФ

✉[1]**Сухочев Геннадий Алексеевич**
доктор техн. наук, проф. кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, РФ
e-mail: suhotchev@mail.ru

Коденцев Сергей Николаевич
кандидат техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, РФ

Аннотация.
В статье приведена информация по спроектированным и внедренным процессам комбинированной обработки нагруженных деталей перспективных энергетических установок, описаны оригинальные средства технологического оснащения, рассмотрены перспективы расширения их технологических возможностей и влияния на повышение производственной технологичности изделий.

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ, КОМБИНИРОВАННОЕ УПРОЧНЕНИЕ, ПРОТОЧНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ.

TECHNOLOGICAL AND QUALITY INDICATORS OF FLOWING SURFACES AFTER COMBINED PROCESSING

Grymzin Andrey Yuryevich
graduate student of the Department of Engineering Technology of the Voronezh State Technical University, RF

Podgornov Sergey Nikolaevich
graduate student of the Department of Engineering Technology of the Voronezh State Technical University, RF

✉[1]**Sukhochev Gennady Alekseevich**
dr. techno. sciences, prof. Department of Technology of Engineering of the Voronezh State Technical University, RF
e-mail: suhotchev@mail.ru

Kudentsev Sergey Nikolaevich
candidate technism. sciences, associate professor of the Department of Engineering of Voronezh State Technical University, RF

Annotation.
The article provides information on the designed and implemented processes of combined processing of loaded parts of promising energy installations, described original means of technological equipment, the prospects for expanding their technological capabilities and influence on increasing the production techniques of products are considered.

Keywords: MANUFACTURABILITY, COMBINED HARDENING, FLOWING SURFACE, REGIME PARAMETERS.

[1]*Автор для ведения переписки*

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Для достижения нужных параметров экспериментальных образцов в отраслях промышленности, выпускающих энергетические двигательные установки, применяются конструкторско-технологические подходы в их разработке, сочетающие различные технологические схемы и методы изготовления. Используются как традиционные технологии, вклю-

чающие металлообработку со снятием стружки, штамповку, сварку и прессование, так и непривычные или редко используемые в машиностроительном производстве физико-технические способы формообразующих воздействий (лазерных, химических, лучевых, плазменных, электрических и др.), для практической реализации которых проводится объединение их в общий технологический процесс [1-4].

Чтобы достичь наилучших результатов все более обширно используются способы комбинированной обработки. При помощи таких способов становится возможным более качественно и быстро обрабатывать такие материалы, как высокопрочные сплавы, обладающие высокой вязкостью, сложнолегированные коррозионностойкие стали и непроводящие ток конструкционные материалы. Этим достигается возможность обработки деталей более сложных конфигураций с обеспечением высокого качества их поверхностей, повышается ресурс работы и другие эксплуатационные показатели перспективных изделий ведущих отраслей отечественного машиностроения [5-8].

Актуальность при изготовлении высокоэкономичных энергоустановок и двигателей состоит в том, что данная отрасль занимает весомую часть рынка, а повышение технологичности их изготовления дает существенно лучшие производственные результаты, сокращает затраты времени на изготовление деталей и узлов, и повышает конкурентоспособность на мировом рынке в данной отрасли.

2 Материалы и методы

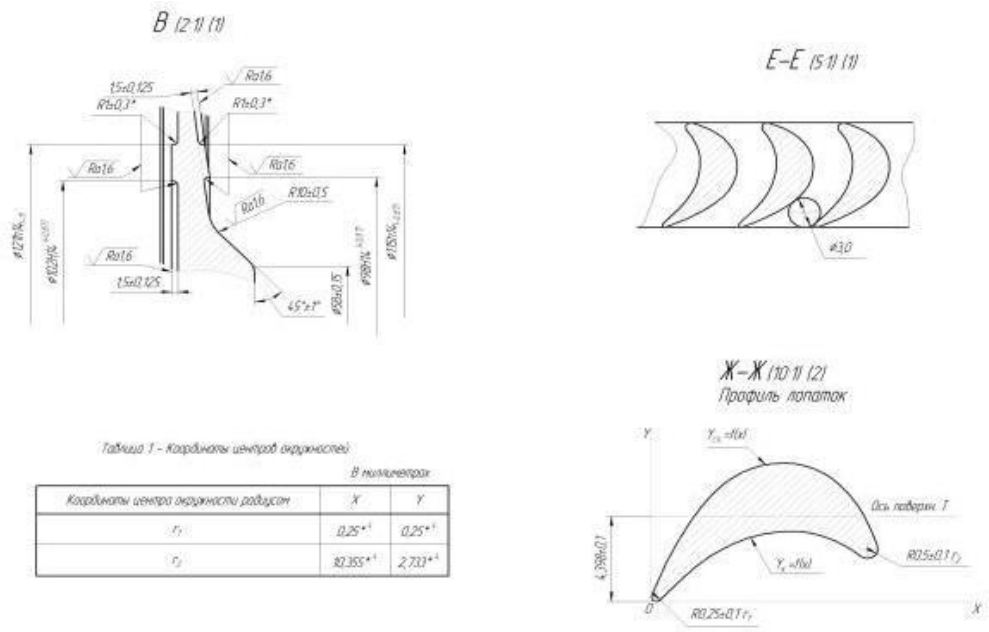
В различных технологических задачах могут использоваться различные пути решений в зависимости от заданных требований к изделию и стоимости, и целесообразности использования методов тех или иных методов обработки. Также рассматривается и целесообразность использования комбинированных обработок с учетом их способности решать несколько задач и возможности использования для различных формообразующих воздействий.

По этой причине научно обоснованы и предложены технологические методики повышения параметров качества поверхностей в узком межлопаточном пространстве лопастных деталей, поверхности которых имеют кривизну второго порядка (рис. 1). По существующей технологии у лопаток, исключая практически недоступные локальные участки в глубине канала, обрабатывают поверхности на входе и выходе из межлопаточного пространства [9-12].

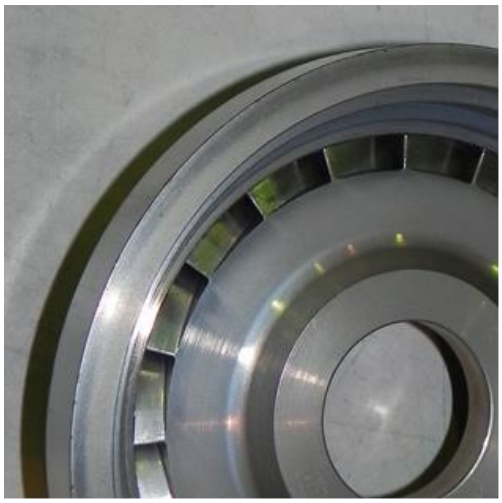
Для удаления заусенцев, формирования регулярного микрорельефа, избирательного локального снятия припуска по профилю мелкоразмерных каналов оребренных охлаждаемых стенок камер сгорания (рис. 2) используется размерное электрохимическое травление металла. После необходимой трансформации данная технология применима в комбинированном процессе отделки и импульсно-ударного поверхностного упрочнения сужающихся криволинейных межлопаточных каналов лопастных деталей высокооборотных роторов.

Для нормируемого завихрения с целью определенного торможения тока проходящей по каналам теплоснимающей жидкости по дну последнего с заданной последовательностью формируются небольшие углубления (рис. 2). В настоящее время на их получение электроискровым методом по всей поверхности охлаждаемой оболочки требуется трудоемкость более одной станко-смены.

Очень низкая конструктивная технологичность усугубляется наличием предварительной операции не просто немеханизированного, а сугубо ручного снятия заусенцев фрезерного происхождения по вершинам оребрения. Трудоемкость этой слесарной операции (до 10-12 часов на одну оребренную оболочку оживального профиля) снижается до 1-2 часов только при использовании комбинированных отделочно-зачистных методов обработки.



а



б

Рисунок 1 – Параметры профиля лопаток (*а*) и фрагмент рабочего колеса типовой турбины (*б*)

Рисунок 2 – Оребренная оболочка с периодически распределенными углублениями в межреберных каналах

3 Результаты исследований

Замена трудоемких слесарных операций комбинированными отедочно-зачистными методами обработки становится возможной из-за того, что в соответствии с характером производства технологические операции с комбинированными воздействиями в процессе формообразования могут быть легко адаптированы к любому объекту обработки. Путем комбинаций различного рода воздействий формируются такие комбинированные технологии, как: импульсно-ударное упрочнение, зачистка токопроводящими щетками, равноканальное экструдирование абразивных сред под действием низкочастотной вибрации, гидроструйная очистка с электроискровой кавитацией в зоне контакта, магнито-импульсное деформирование, размерное электро-химико-механическое фрезерование, обдувка слабо токопроводной газожидкостной средой с микрошариками, термомеханическая обработка и т.д. [1].

Так как такие процессы с комбинированным воздействием на обрабатываемую поверхность представляют собой лишь отдельные операции сквозного технологического процесса изготовления единичного изделия, то исходное состояние объекта обработки может иметь нежелательную наследственность от предыдущих технологических этапов производства. То есть отдельно взятые комбинированные методы не являются самодостаточным средством для определяющего влияния на показатели качества наукоемкой продукции, например – перспективных энергетических установок и двигателей [8, 13-15].

Поэтому для увеличения области технологического использования процессов с комбинированным воздействием необходимо выполнение дополнительных экспериментальных исследований режимных параметров и возможности управления ими в производственных условиях.

Одной из операций таких комбинированных процессов в настоящее время является операция струйной обдувки микрогранулами, которую выполняют на устройствах с несущим потоком сжатого воздуха [1, 15]. Микрогранулы представляют собой металлические микросферы из закаленной стали с усредненным вписанным диаметром 100-200 мкм.

Исследования процесса распыливания гранул показали следующие оптимальные значения его параметров. Удаление от сопла до поверхности детали составляет 150-200 мм. При этом единовременно потоком обрабатывающей среды, содержащей микрогранулы, охватывается округлый участок размером до 60 мм. Деталь в процессе обработки поворачивают вокруг своей оси, обрабатываемая поверхность при этом находится под углом около 90 ^{0}С к направлению потока, угловая скорость вращения составляет 60-80^{-1}мин, сжатый воздух подается с давлением до 0,6 МПа.

Для случая обработки оребренной оболочки охлаждения задача значительно усложняется: конструктивно и технологически она ограничивается малыми габаритами пазов и локально распределенными кавернами, закручивающими и тормозящими поток охладителя, а также нежесткой оживальной формой детали. Это приводит к тому, что исходя из конструктивных и технологических соображений целесообразно применять микрошарики диаметром 50-100 мкм.

Жесткие условия предъявляются и к вершинам пазов, кромки которых должны оставаться предельно правильными при отсутствии на них заусенцев, остающихся после фрезерования. Это условие обусловлено технологическими требованиями подготовки к пайке с обечайкой. Соблюдение этих требований, а также минимизацию коробления при отделочно-зачистной обработке под пайку удается выполнить при уменьшении фракции микрогранул до 50 мкм и снижении давления сжатого воздуха до 0,3 МПа [16-18].

Результатом исследований станет разработка или модернизация процессов и средств технологического оснащения. Планируется проводить данные мероприятия на базе предприятия АО «КБХА». При работе с данным предприятием поставлена задача по улучшению технологии применительно к конкретным конструктивным элементам изделий основной тематики и условиям их работы.

Планируется продолжить развитие в данном направлении в рамках научно-исследовательских и опытно-технологических работ с использованием элементов аддитивных технологий для прототипирования средств технологического оснащения комбинированных методов.

Объектами исследования выбраны лопаточные детали роторной группы турбонасосных агрегатов, проточные элементы оребренных оболочек и другие нагруженные элементы конструкций энергетических установок. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что на данный момент есть все возможности для дальнейшего исследования указанных объектов, направленного на повышение и обеспечение технологичности комбинированных процессов при сохранении требуемых качеств продукции, а также дальнейшего повышения ресурса работы и других эксплуатационных показателей изделий [1, 5, 19-21].

4 Обсуждение и заключение

Данное направление исследований актуально и весьма обширно апробировано. Тем не менее, для увеличения области технологического использования процессов с комбинированным воздействием вследствие разнообразности сложнопрофильных поверхностей и повышенных требований к их качеству практически всегда необходимо выполнение дополнительных экспериментальных исследований по оптимизации режимных параметров и возможности управления ими в производственных условиях. Для создания конкурентоспособной продукции с высоким уровнем технологичности весьма важно усовершенствование технологий изготовления на основе сочетаний процессов импульсно-ударного упрочнения, зачистки токопроводящими щетками, равноканального экструдирования абразивных сред под действием низкочастотной вибрации, гидроструйной очистки с электроискровой кавитацией в зоне контакта, магнито-импульсного деформирования, размерного электро-химико-механического фрезерования, обдувки слабо токопроводной газожидкостной средой с микрошариками, термомеханической обработки. Для обработки малоразмерных каналов на профильных поверхностях получены оптимальные режимы обработки комбинированным процессом со струйной обдувкой микрогранулами размером до 50 мм.

Список литературы

1 Сухочев, Г. А. Управление качеством изделий, работающих в экстремальных условиях при нестационарных воздействиях / Г. А. Сухочев. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 286 с.

2 Грилихес, С. Я. Электрохимическое полирование. Теория и практика. Влияние на свойства металлов / С. Я. Грилихес. – Л. : Машиностроение, 1976. – 208 с.

3 Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов / М. В. Щербак, М. А. Толстая, А. П. Анисимов, В. Х. Постаногов. – М. : Машиностроение, 1981. – 263 с.

4 Подураев В. Н. Технология физикохимических методов обработки / В. Н. Подураев. – М. : Машиностроение, 1985. – 264 с.

5 Балтер, М. А. Влияние структуры стали на ее усталостную прочность после поверхностного пластического деформирования / М. А. Балтер // Исследования по упрочнению деталей машин. – М. : Машиностроение, 1972. – № 11. – С. 226-235.

6 Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин / М. А. Балтер. – М. : Машиностроение, 1978. – 183 с.

7 Ножницкий, Ю. А. Конструктивно-технологический облик рабочих лопаток высокотемпературных турбин перспективных ГТД / Новые технологические процессы и надежность ГТД. Выпуск 7. Обеспечение прочностной надежности рабочих лопаток высокотемпературных турбин // Научно-технический сборник под редакцией Ю. А. Ножницкого и Р. И. Ткаченко – М : ЦИАМ, 2008. – С. 3-7.

8 Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э. В. Рыжов, А. Г. Суслов, В. П. Федоров. – М. : Машиностроение, 1979. – 176 с.

9 Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – Ростов н / Д : Изд-во ДГТУ, 1998. – 624 с.

10 А. с. 1316797 СССР, МКИЗ В 24 В 31 / 06. Способ вибрационной обработки

деталей сложной формы / А. В. Левченко // Бюллетень изобретений. – 1987. – № 22.

11 А. с. 1593065 СССР, МКИЗ В 24 В 31 / 06. Способ вибрационной обработки деталей сложной формы / Ю. Р. Копылов и др. // Бюллетень изобретений. – 1990. – № 34.

12 Гореликов, В. Н. Упрочнение поверхностей лопаточных деталей для работы в водородосодержащей среде / В. Н. Гореликов, А. И. Портных, С. Н. Коденцев, В. П. Белокуров // В сб. : Современные технологии производства в машиностроении. Межвузовский сборник научных трудов. Воронеж, 2021. С. 99-104.

13 Сухочев, Г. А. Технологическое обеспечение качества лопаточных деталей с использованием наукоемких нетрадиционных методов обработки / Г. А. Сухочев, А. В. Капустин, Е. Г. Смольянникова, Д. М. Небольсин // Насосы. Турбины. Системы, – Воронеж : ООО ИПЦ «Научная книга», 2011. – № 1. – С. 34-42.

14 Влияние обработки лопаток компрессора шариками в магнитном поле на формирование параметров поверхностного слоя и прочностные характеристики / Г. В. Пухальская, А. Д. Коваль, С. В. Лоскутов, И. Л. Гликсон, Л. П. Степанова, О. Л. Лукьяненко // Вестник двигателестроения : науч.-техн. журнал. – Вып. 2. – Запорожье : ОАО «МоторСич», 2009. – С. 92–101.

15 Крамаровский, Б. И. Повышение выносливости и ресурса лопаток компрессора ГТД упрочняюще-отделочной обработкой с применением микрошариков / Б. И. Крамаровский, К. Ф. Митряев, М. Б. Сазонов // Поверхностный слой, точность и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов. – М. : МДНТП, 1986. – С. 47.

16 Родионов, А. О. Процессы комбинированного воздействия при обработке узких каналов деталей гидрооборудования / А. О. Родионов, Г. А. Сухочев, Д. В. Силаев // Насосы. Турбины. Системы. – Воронеж : Научная книга, 2014. – № 4(13). – С. 49-56.

17 Родионов, А. О. Комбинированная обработка узких каналов деталей высоконапорных систем подачи / А. О. Родионов, Г. А. Сухочев, Д. В. Силаев, В. Н. Сокольников // Обеспечение качества продукции на этапах конструкторской и технологической подготовки производства : межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж : ВГТУ, 2014. Вып. 14 – С. 87-92.

18 Поляков, М. С. Технология упрочнения : в 2-х т. / М. С. Поляков. – Л. : Машиностроение, 1995. – Т. 1 – 832 с; Т. 2 – 668 с.

19 Бойцов В. Б., Чернявский А. О. Технологические методы повышения прочности и долговечности / В. Б. Бойцов, А. О. Чернявский – М. : Машиностроение, 2005. – 128 с.

20 Васильев, А. С. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А. С. Васильев, А. М. Дальский, Ю. М. Золотаревский, А. И. Кондаков. – М. : Машиностроение, 2005. – 352 с.

21 Инженерия поверхности деталей машин / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Ю. В. Панфилов. Под ред. А. Г. Суслова – М : Машиностроение, 2008. – 318 с.

References

1 Sukhochev, G. A. Management of the quality of products operating in excellar conditions under non stationary influences / G. A. Sukhochev. – Vronzh : Voro, 2003. – 286 p.

2 Grilichez, S. Ya. Electrochemical polishing. Theory and practice. Influence on the properties of metals / S. Ya. Grilichez. – L. : Mechanical Engineering, 1976. – 208 p.

3 Fundamentals of the theory and practice of electrochemical processing of metals and alloys / M. V. Shcherbak, M. A. Tolstaya, A. P. Anisimov, V. Kh. Podanov. – M. : Mechanical Engineering, 1981. – 263 p.

4 Poduraev V. N. Technology of physicochemical processing methods / V. N. Poduraev. – M. : Mechanical Engineering, 1985. – 264 p.

5 Balter, M. A. The influence of the structure of steel on its fatigue strength after superficial plastic deformation / M. A. Balter // Studies on the strengthening of machine parts. – M. :

Mechanical Engineering, 1972. – № 11. – S. 226-235.

6 Balter, M. A. Simple the details of the machines / M. A. Balter. – M. : Mechanical Engineering, 1978. – 183 p.

7 Kzoniksky, Yu. A. The constructive and technological appearance of the working blades of high-temperature turbines of promising GTD / new technological processes and the reliability of the GTD. Issue 7. Ensuring the strength reliability of working blades of high-temperature turbines // Scientific and Technical Collection edited by Yu. A. Kzunetsky and R. I. Tkachenko – M : CIAM, 2008. – S. 3-7.

8 Ryzhov, E. V. Technological support of the operational properties of machine parts / E. V. Ryzhov, A. G. Suslov, V. P. Fedorov. – M. : Mechanical Engineering, 1979. – 176 p.

9 Babichev, A. P. Fundamentals of vibrational technology / A. P. Babichev, I. A. Babichev. – Rostov N / D : Publishing House of DSTU, 1998. – 624 p.

10 A. s. 1316797 USSR, MKI3 at 24 at 31 / 06. The method of vibration processing of parts of complex form / A. V. Levchenko // Bulletin of inventions. – 1987. – № 22.

11 A. s. 1593065 USSR, MKI3 at 24 at 31 / 06. The method of vibration processing of parts of complex form / Yu. R. Kopylov et al. // Bulletin of inventions. – 1990. – № 34.

12 Gorelikov, V. N. The strengthening of the surfaces of the scapular parts for work in the hydrogen containing environment / V. N. Gorelikov, A. I. Porty, S. N. Kudentsev, V. P. Belokurov // In Sat. : Modern production technologies in mechanical engineering. Interuniversity collection of scientific works. Voronezh, 2021. S. 99-104.

13 Sukhochev, G. A. Technological support of the quality of spatulas using high -tech non – traditional processing methods / G. A. Sukhochev, A. V. Kapustin, E. G. Smolyannikova, D. M. Malsin // Pumps. Turbines. Systems, – Voronezh : IPC LLC "Scientific Book", 2011. – № 1. – P.34-42.

14 The effect of processing of the compressor blades with balls in the magnetic field on the formation of the parameters of the surface layer and the strength characteristics / G. V. Pykhalskaya, A. D. Koval, S. V. Loskutov, I. L. Glickson, L. P. Stepanova, O. L. Lukyanenko // Bulletin of Engineering: Scientific – Technology. magazine. – Issue 2. – Zaporozhye : OJSC "Motor-Sich", 2009. – S. 92-101.

15 Kramarovsky B. I. Improving the endurance and resource of the HTD compressor blades with hardening and finishing processing using microesariki / B. I. Kramarovsky, K. F. Mitryaev, M. B. Sazonov // Surface layer, accuracy and operational properties of machines parts and devices. – M. : MDNTP, 1986. – S. 47.

16 Rodionov, A. O. The processes of combined exposure during the processing of narrow channels of hydro equipment parts / A. O. Rodionov, G. A. Sukhochev, D. V. Silaev // Pumps. Turbines. Systems. – Voronezh : Scientific Book, 2014. – № 4 (13). – S. 49-56.

17 Rodionov, A. O. Combined processing of narrow channels of parts of high weight supply systems / A. O. Rodionov, G. A. Sukhochev, D. V. Silaev, V. N. Sokolnikov // Providing the quality of products at the stages of design and technological preparation of production : Interuniversity. Sat. scientific. tr. – Voronezh : VGTU, 2014. Issue. 14 – S. 87-92.

18 Polyakov M. S., Technology of strengthening: in 2 volumes / M. S. Poles. – L. : Mechanical Engineering, 1995. – T. 1 – 832 s; T. 2 – 668 p.

19 Boytsov V. B., Chernyavsky A. O. Technological methods for increasing strength and durability / V. B. Boytsov, A. O. Chernyavsky – M. : Machine Construction, 2005. – 128 p.

20 Vasiliev, A. S. The directed formation of the properties of mechanical engineering products / A. S. Vasiliev, A. M. Dalsky, Yu. M. Zolotarevsky, A. I. Kondakov. – M. : Mechanical Engineering, 2005. – 352 p.

21 Engineering of the surface of the parts of the machines / A. G. Suslov, V. F. Blessed, Yu. V. Panfilov. Ed. A. G. Suslova – M : Mechanical Engineering, 2008. – 318 p.

© Грымзин А.Ю., Подгорнов С.Н., Сухочев Г.А., Коденцев С.Н., 2022