

УДК 621.09.047

ТЕХНОЛОГИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОВОДКИ ЩЕЛЕВЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

© 2014 А.О. Родионов, Г.А. Сухочев, С.Н. Коденцев, Е.Г. Смольяникова

Воронежский государственный технический университет

Представлены результаты поисковых исследований в области обработки проточных поверхностей систем охлаждения. Особую технологическую сложность представляют щелевые каналы, для обработки которых затруднительно использование традиционных средств металлообработки и контроля показателей качества поверхности. На основе анализа существующих методов обработки был предложен способ комбинированной обработки, обеспечивающий избирательное выравнивание микропрофиля поверхности в условиях ограниченного пространства и гарантирующий заданные эксплуатационные характеристики высоконапорных систем охлаждения. Сущность способа состоит в прохождении потока токопроводящей абразивонасыщенной жидкости низкой концентрации через обрабатываемые каналы. Обработка потоком жидкости с абразивом позволяет исправлять локальные погрешности формы, так как абразив активнее работает в местах уменьшения условного прохода и снимает материал именно в этих местах, нуждающихся в дополнительном снятии материала. Электрохимическое же воздействие интенсифицирует процесс механического снятия материала с микровыступов, сокращая время обработки. Описан механизм электрохимикоабразивной доводки щелевых каналов. Описана сущность работы технологической системы, позволяющей объединить комбинированный процесс с контролем расходных характеристик деталей с проточными каналами, что даёт возможность существенного сокращения сроков и трудоёмкости технологической доводки новой техники. Представлены результаты экспериментальной проверки технологических возможностей комбинированного процесса.

Проточная поверхность, комбинированная обработка, щелевой канал, микровыступы.

Щелевые каналы характерны для ответственных деталей систем охлаждения, типовыми представителями которых являются кольца завеса, форсунки, плунжеры, гильзы, золотники и т.п. Характер их эксплуатации зачастую осложнён нестационарными вибрациями и температурными циклическими воздействиями в области высоких давлений рабочей среды [1]. Такие детали часто изготавливают из литых или штампуемых труднообрабатываемых износостойких жаропрочных и коррозионностойких материалов. К ним предъявляются очень жёсткие требования по точности и шероховатости, в том числе по характеру микропрофиля: малый радиус скругления кромки канала и отсутствие заусенцев.

Технологическую сложность в обработке представляют щелевые каналы. После получения канала требуется доводочная операция для удаления материала в месте выхода инструмента. Особая сложность возникает при использовании традиционных средств металлообработки и

контроля показателей качества поверхности, а также её геометрии при профилировании щелевых каналов в процессе изготовления таких деталей.

Для повышения эксплуатационных показателей наукоемких изделий потребовалась разработка новых технологий воздействия на поверхности в щелевых каналах, где наиболее успешным оказался метод комбинированной обработки с наложением электрического поля, что ранее считалось неперспективным в этой технологической отрасли. Подобные исследования для поверхностей проточных отверстий, в том числе каналов высоконапорных форсунок, оказались весьма результативными, так как позволили снизить в рассматриваемых случаях ограничения по достижению стабильных расчётных показателей качества. Оптимизация рабочих параметров достигалась тем, что после предварительного формирования каналов осуществляли их струйную электрохимическую обработку, которая заключалась в подаче токопроводящей жидкости через

обрабатываемые отверстия, после чего включали ток и выдерживали на установленном режиме время, необходимое для получения сечения отверстия, обеспечивающего заданный расход при постоянном давлении жидкости [2].

Однако при малых сечениях протяжённых щелевых каналов сложного профиля исследователям не удавалось получить стабильного микропрофиля поверхности, что затрудняло создание перспективных систем охлаждения. Для решения этой задачи требовалась разработка новых способов комбинированной обработки, обеспечивающих избирательное выравнивание микропрофиля поверхности в условиях ограниченного пространства и гарантирующих заданные эксплуатационные характеристики наукоёмкого изделия, обладающего невысокой технологичностью конструкции [3].

Результаты анализа особенностей конструкции, технологии изготовления и характера эксплуатации типовых деталей с труднодоступными поверхностями проточных щелевых каналов, в том числе элементов систем охлаждения наукоёмких изделий, имеющих высоконапорные расходные параметры эксплуатации в экстремальных условиях (рис. 1), позволяют сделать выводы:

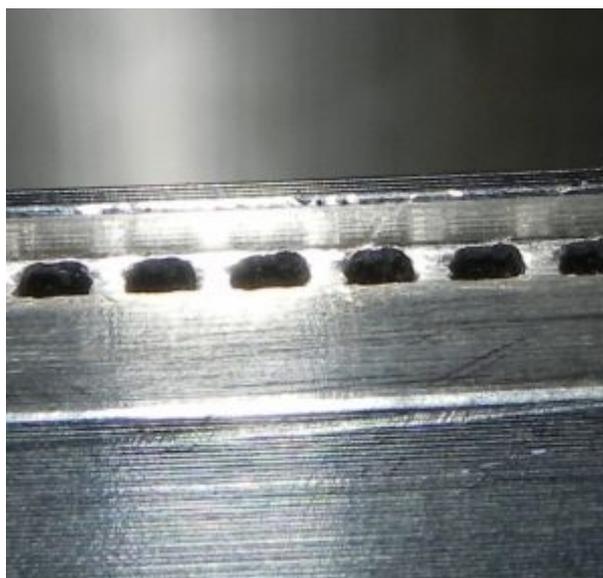


Рис. 1. Элемент системы охлаждения с мелкоразмерными щелевыми каналами

– наиболее перспективным в настоящее время является комбинированный метод, сочетающий в себе анодное растворение металла заготовки и механическое воздействие на поверхность;

– технология комбинированной обработки эффективна для достижения высокого качества поверхностного слоя узких щелевых каналов и их расходных характеристик при обеспечении режимных параметров процесса за счёт выявления и учёта влияния особенностей комбинированного внешнего и внутреннего воздействия на механизм направленного формирования микрогеометрии поверхностного слоя материала детали.

Традиционно щелевые пазы и каналы сложного профиля формируют в деталях из труднообрабатываемых материалов прошиванием на электроэрозионных и электрохимических станках, используя и комбинированную обработку. Для повышения производительности применяют комбинированную электроэрозионную обработку электродами с термоактивным покрытием [4], но после неё остаётся нестабильный микропрофиль поверхности по образующей канала и значительный (до 40 мкм) изменённый поверхностный слой материала, образование которого на стенках канала неизбежно для интенсивных режимов обработки жаропрочных никелевых сплавов (рис. 2).

Для устранения этих дефектов предложен способ комбинированной электрохимикоабразивной обработки щелевых каналов низкоконцентрированной абразивно-жидкостной средой с наложением электрического тока.

Сущность способа состоит в прохождении потока токопроводящей абразивонасыщенной жидкости низкой концентрации через обрабатываемые каналы. На технологическую систему наложен ток низкого напряжения (4-8 В), и она выдерживается при определённом режиме на время до получения заданного расхода при постоянном давлении жидкости.

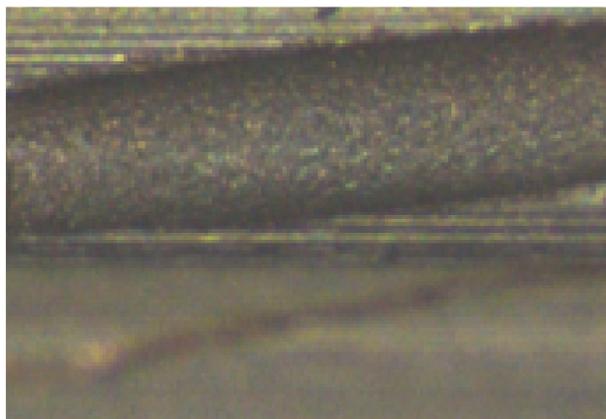


Рис. 2. Поверхность в канале после электроэрозионного прошивания

Обработка потоком жидкости с абразивом позволяет исправлять локальные погрешности формы, так как абразив активнее работает в местах уменьшения условного прохода и снимает материал именно в этих местах, нуждающихся в дополнительном снятии материала. Электрохимическое воздействие интенсифи-

цирует процесс механического снятия материала с микровыступов, сокращая время обработки.

При механическом контакте абразивного зерна с выступами снятие материала происходит за счёт микрорезания, и производительность процесса зависит от концентрации, ориентации, размеров гранул и профиля канала. В случае анодного растворения усилие контакта будет снижаться за счёт жидкостной и оксидной плёнок между заготовкой и гранулой, а также вследствие анодного растворения вершин неровностей [2] на поверхности в местах контакта с гранулой, что снижает сопротивление трения.

Схема контакта гранул обрабатывающей среды с поверхностью канала показана на рис. 3, анализ которого показывает, что для обеспечения удаления припуска при механическом контакте необходимо следующее:

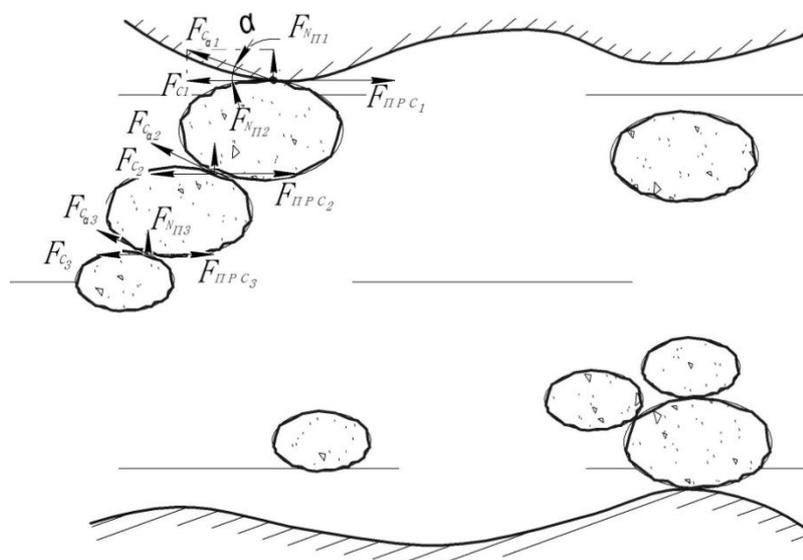


Рис. 3. Схема контакта гранул обрабатывающей среды с поверхностью канала

- сила сопротивления трения F_C должна быть меньше напора потока рабочей среды $F_{прс}$;
- ориентированная по потоку результирующая сила сопротивления F_{Ca} зависит от угла наклона касательной α к волнистости микропрофиля по длине образующей канала и требует адаптивной

стабилизации потока токопроводящей жидкости с абразивом соответствующей объёмной концентрации;

- сила нормального давления F_{NI} зависит не только от физико-механических условий контакта гранулы с поверхностью, но и от энергии присоединяющихся при соударении других частиц аб-

разива в потоке. Таким образом, силы микрорезания абразивом подчиняются теоретико-вероятностному закону и с большой степенью точности могут измеряться большей частью экспериментально [5].

В случае использования анодного растворения для известной силы нормального давления F_{NI} в зоне контакта можно найти результирующее усилие сопротивления F_{Ca} :

$$F_{Ca} = l_x \cdot F_{NI} z_{an} \left(1 + \frac{f}{tg\alpha} \right) k_{np}, \quad (1)$$

где l_x – длина образующей канала;

f – коэффициент трения;

z_{an} – припуск на анодное растворение;

k_{np} – коэффициент контактного присоединения гранул ($k_{np} = 1,05-1,1$ в зависимости от концентрации абразива).

Время t_{np} удаления припуска Z зависит от скорости перемещения гранул v_r и их диаметра d_r . При достаточно высокой концентрации гранул

$$t_{np} \approx d_r / v_r. \quad (2)$$

Для различных групп материалов коэффициент, учитывающий возрастание скорости анодного растворения при соударении, изменяется в пределах $K_{ан} = 1,25 \dots 1,6$.

Тогда средняя скорость V_{cp} съёма материала составит

$$V_{cp} = \frac{Z}{t_{np}} \cdot K_{анcp}, \quad (3)$$

где Z , t_{np} определяются из (2), (3). Полученные зависимости позволяют получать оптимальные режимы удаления припуска с помощью анодного растворения.

Очень трудоёмкой дорогостоящей операцией в настоящее время является и контроль обеспечения заданных эксплуатационных показателей деталей с проточными каналами. Контроль проводится после окончательного изготовления деталей при параметрических испытаниях на специальных проливочных стендах в составе агрегата или отдельно с последующей индивидуальной доработкой.

Для проведения экспериментальных исследований по комбинированной обработке щелевых каналов установка для электрохимической доводки была модернизирована и встроена в проливочный стенд для замера расходных характеристик. Сущность работы такой технологической системы заключается в следующем:

- перед началом электрохимической обработки с добавлением абразивного наполнителя производят замер расхода жидкости через проточное отверстие;

- для проведения комбинированной обработки заполняют магистраль токопроводящей жидкостью с добавлением абразива и включают установку для комбинированной обработки; по истечении расчётного времени установку выключают и проводят промывку системы.

После проведения обработки необходим контрольный замер расхода. При отклонении значений полученного расхода от заданных значений проводят повторную комбинированную обработку на скорректированных режимах.

Замер расхода проходящего через отверстие электролита при электрохимической обработке позволяет контролировать массовый расход жидкости и при достижении нужного показателя прекращать прокачку электролита. Это обеспечит получение канала с точным, заранее установленным расходом. Сочетание в одном процессе двух видов воздействий – механико-абразивного и электрохимического - с одновременным замером расхода абразивонасыщенного электролита позволяет одновременно обеспечивать требуемую геометрическую форму сечения отверстия, необходимую шероховатость и заданный расход. За счёт изменения концентрации абразива и напряжения тока можно управлять процессом формирования микрогеометрии поверхности с заданными характеристиками.

Таким образом, предложена новая технологическая схема оборудования для объединения комбинированного процесса и методов контроля расходных характери-

стик проточных поверхностей, что даёт возможность существенного сокращения сроков и трудоёмкости технологической доводки новой техники.

Результаты экспериментальной проверки технологических возможностей комбинированного процесса показаны на

рис. 4, 5. Из анализа графиков очевидно, что комбинированная обработка обладает не только повышенной производительностью, но и позволяет стабилизировать расходные характеристики каналов, выравнивая их значения в процессе доводки.

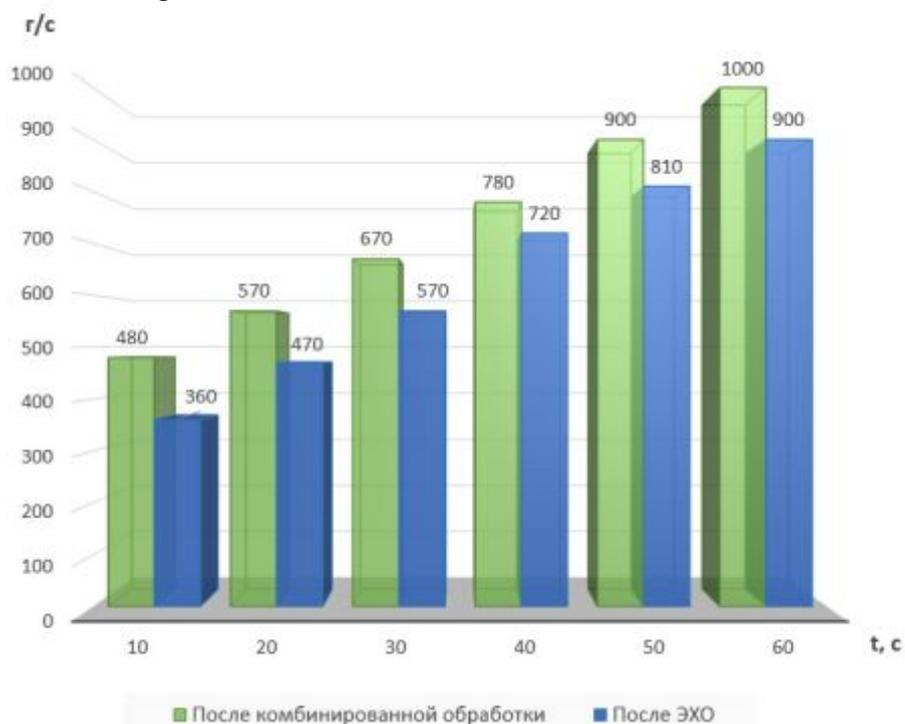


Рис. 4. Зависимость расхода через каналы деталей от времени доводки щелевых каналов при разных способах обработки

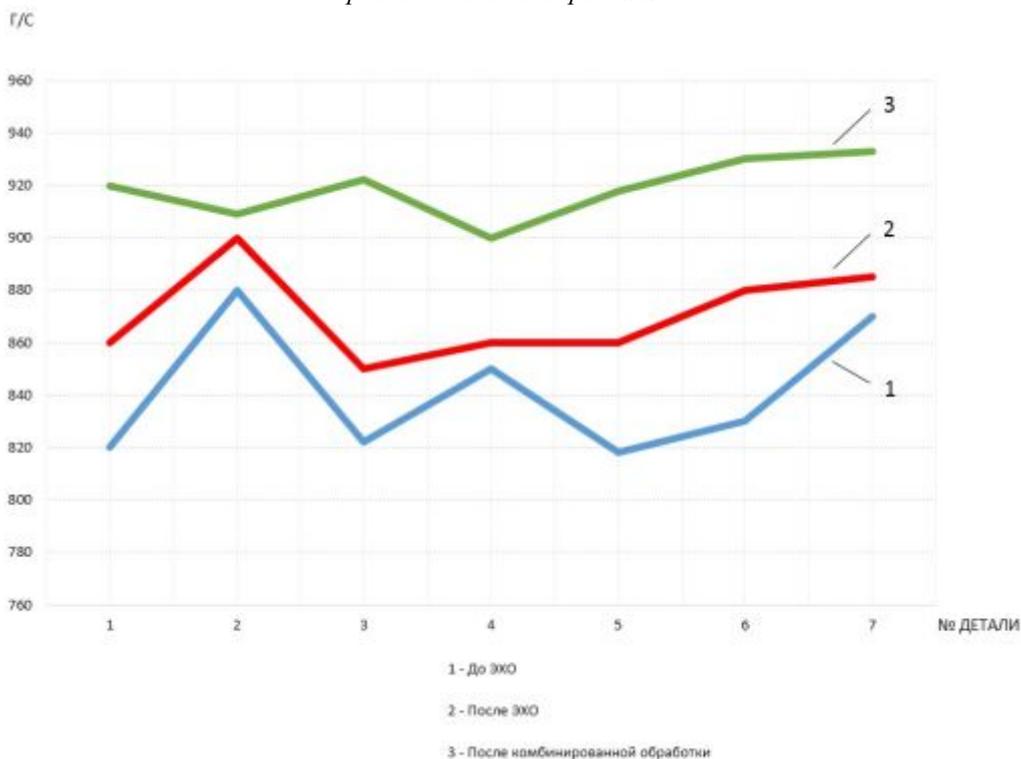


Рис. 5. Полученные значения расхода на партии деталей при разных способах доводки щелевых каналов

Заключение

Наиболее перспективной существующей технологической схемой является получение мелкогабаритного канала в два этапа:

- предварительная высокопроизводительная электроэрозионная обработка;
- окончательная комбинированная электрохимикоабразивная обработка для

удаления технологически наследованного изменённого слоя материала.

Сочетание двух типов обработок – механико-абразивной и электрохимической с одновременным замером расхода электролита обеспечивает требуемую геометрическую форму сечения отверстия, необходимую шероховатость и заданный расход.

Библиографический список

1. Сухочев Г.А. Управление качеством изделий, работающих в экстремальных условиях при нестационарных воздействиях. М.: Машиностроение, 2004. 287 с.

2. Сухочев Г.А., Коденцев С.Н., Родионов А.О. Технологические возможности комбинированной обработки в обеспечении расходных характеристик деталей с мелкогабаритными проточными каналами // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 7(103). С. 45-48.

3. Сухочев Г.А., Смольяникова Е.Г., Капустин А.В. Проблемно ориентированное использование нетрадиционных технологий для повышения производственной технологичности наукоемкой гидро-

аппаратуры и лопаточных машин // Насосы. Турбины. Системы. 2013. № 3(8). С. 12-18.

4. Коденцев С.Н., Сухочев Г.А., Смольяникова Е.Г. Технология комбинированной электроэрозионной обработки полостей и каналов сложного профиля // Научно-ёмкие технологии в машиностроении. 2012. № 5. С. 31–36.

5. Небольсин Д.М., Сухочев Г.А., Коденцев С.Н. Исследование режимов комбинированной обработки внутренних поверхностей // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 4. С. 44–47.

Информация об авторах

Родионов Александр Олегович, аспирант кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет. E-mail: rodionov_alexander@mail.ru. Область научных интересов: технологическое обеспечение качества комбинированной обработки.

Сухочев Геннадий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Воронежский государственный технический университет. E-mail: suhotchev@mail.ru. Область научных интересов: технологическое обеспечение эксплуатационных показателей изделий комбинированным методом обработки.

Коденцев Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет. E-mail: suhotchev@mail.ru. Область научных интересов: наукоемкие технологии ракетного двигателестроения.

Смольяникова Евгения Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет. E-mail: sm.evgeniya@gmail.com. Область научных интересов: технологическое обеспечение качества комбинированной обработки.

COMBINED TREATMENT TECHNOLOGY FOR SLOT CHANNELS OF COOLING SYSTEMS

© 2014 A.O. Rodionov, G.A. Suhochev, S.N. Kodentsev, E.G. Smolyannikova

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

The article presents the results of the searching and experimental research in the field of treatment of discontinuous surfaces in parts of cooling systems. The existing methods and means of technological equipment for providing of quality surface treatment of slot channels are described. Slot channels are especially technologically complex for treatment. A new method of combined treatment was proposed based on an analysis of existing treatment methods. The method allows to achieve the specified operational characteristics of slot channels. Basic technological principles to design a new method of finishing of small-flow parts, which combines finishing and control operations, are developed. In article the mechanism of combined finishing for slotted channels are described. The results of experimental verification of the technological capabilities of the combined treatment are presented.

Small-size surface, combined treatment, slot channel, micro elevation.

References

1. Suhochev G.A. Upravlenie kachestvom izdelij, rabotajushhijh v jekstremal'nyh uslovijah pri nestacionarnyh vozdeystvijah [Quality management of products operating under extreme conditions in non-stationary effects]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2004. 287 p.
2. Suhochev G.A., Kodentsev S.N., Rodionov A.O. Technological capabilities of combination processing are provided consumption characteristics of details with small channel // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. 2013. No. 7. P. 45-48. (In Russ.)
3. Suhochev G.A., Smolyannikova E.G., Kapustin A.V. Task-Oriented Use Of Unconventional Technologies In Order To Increase The Technological Effectiveness Of Hydraulics And Paddle Machines // Pumps. Turbine. Systems. 2013. No. 3(8). P. 12-18. (In Russ.)
4. Kodentsev S.N., Suhochev G.A., Smolyannikova E.G. Technology of combined electrical discharge machining of cavities and channels of complex profile // Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii. 2012. No. 5. P. 31-36. (In Russ.)
5. Nebolsin D.M., Suhochev G.A., Kodentsev S.N. Research of modes of the combined processing of internal surfaces // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. 2011. V. 7, no.4. P. 44-47. (In Russ.)

About the authors

Rodionov Alexander Olegovich, post-graduate student of Engineering Technology Department, Voronezh State Technical University. E-mail: rodionov_alexander@mail.ru. Area of Research: technological providing of quality in combined treatment.

Suhochev Guennady Alekseevich, Doctor of Science (Engineering), Professor of Engineering Technology Department, Voronezh State Technical University. E-mail: suhotchev@mail.ru. Area of Research: technology performance products combined processing methods.

Kodentsev Sergei Nikolaevich, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Engineering Technology Department, Voronezh State Technical University. E-mail: suhotchev@mail.ru. Area of Research: high tech rocket engine.

Smolyannikova Eugene Gennadievna, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Engineering Technology Department, Voronezh State Technical University. E-mail: sm.evgeniya@gmail.com. Area of Research: technological providing of quality in combined treatment.