

cBN равен $f = 0,21$. Исследования показали [3], что эффективными материалами при высокоскоростном (до 40 м/с) трении являются композиты с высокомодульными наполнителями.

Методом вакуумной пайки изготовлены образцы пар трения из сверхтвердых материалов на основе cBN (эльбор-Р, гексанит-Р, композит 05-ИТ) и высокомодульных материалов – твердых сплавов группы ВК и ТК (ВК6, ВК15, Т15К6), спеченных по стандартному режиму. Материалы испытаны в условиях сухого трения на воздухе в сравнении с нитридной керамикой (Si_3N_4). Использовали схемы испытания: образец (сверхтвердые материалы на основе cBN, Si_3N_4) – ролик (твердые сплавы). Режимы испытания: скорость скольжения $V = 1\text{--}6$ м/с; нагрузка $P = 50\text{--}100$ Н; давление в зоне трения $14,7\text{--}108,8$ МПа. Исследовали коэффициенты трения, износ пар трения, температуры узла трения в зависимости от скорости скольжения и сочетания материалов пар трения.

Установлено, что с повышением скорости скольжения (1–6 м/с) коэффициент трения материалов на основе cBN по твердым сплавам

уменьшается с $f = 0,62$ до $0,37$, а температура в зоне трения возрастает до 300 °С. Существенного различия коэффициентов трения от марки cBN и твердых сплавов не наблюдали. Суммарный линейный износ пар трения составил, мкм/км: 2,5–9,0 (эльбор-Р – твердые сплавы); 5,8–14,0 (композит 05-ИТ – твердые сплавы); 2–6 (гексанит-Р – твердые сплавы). По уменьшению износа сверхтвердые материалы на основе cBN располагаются в следующей последовательности: композит 05-ИТ–эльбор-Р–гексанит-Р. Твердые сплавы в контакте со сверхтвердыми материалами изнашиваются в 3–6 раз больше сверхтвердых материалов.

Износ при сухом трении Si_3N_4 по твердым сплавам равен 2,0–15,1 мг/км, износ материалов на основе cBN составил 0,32–0,84 мг/км при нагрузке 100 Н и скорости скольжения 3 м/с. Следовательно, износ cBN меньше Si_3N_4 на два порядка. Такая разительная разница в износе по твердым сплавам обусловлена тем, что керамика Si_3N_4 обладает меньшей твердостью (13,5–16 ГПа) и модулем упругости ($E = 280\text{--}320$ ГПа) по сравнению с материалами на основе cBN (твердость 18,5–38,6 ГПа; $E = 715\text{--}840$ ГПа).

Литература

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. – М.: Машиностроение. – 1968. – 543 с.
2. Roskilinna J.O., Linnolahti M., Pakkanen T.A. Friction Paths for Cubic Boron Nitride: An Ab Initio Study // Tribology Letters. – 2007. – V.27. – №2. – P. 145–154.
3. Бондаренко В.П., Андреев И.В., Бондарь В.И. Перспективы повышения поверхностной прочности и противозадирной стойкости триботехнических материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАНУ, 2007. – Вып. 10. – С.455–459.

Бородавко В.И., Вабищевич П.А., Грецкий Н.Л., Пынькин А.М., Пуляев В.К.

ГНПО «Центр» НАН Беларуси,

Волотовский Ф.А., Корзун А.Е. ОАО «ОКБ Академическое» НАН Беларуси,

Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПАКЕТА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Паровые турбины во время работы подвергаются воздействию различных факторов, высоких температур, коррозии, эрозии, а в результате материал испытывает статические, динамические и

температурные напряжения. Рабочие лопатки являются одними из наиболее ответственных и дорогих элементов турбины. От качества материала, выполнения и установки лопаточного аппара-

та в значительной степени зависит надежность и экономичность эксплуатации турбины. Тяжелые условия работы лопаточного аппарата определяют те высокие требования, которым они должны соответствовать.

Лопатки первой ступени изготавливаются за одно целое с участком бандажа и хвостовой части и поступают на сборку в виде пакета из двух лопаток, сваренных между собой по бандажу и хвосту. При наборе лопаток на диск между бандажами каждой пары лопаток выдерживается зазор от 0,3 до 0,8 мм, замыкается каждый ряд лопаток замковыми пакетами (рис. 1).

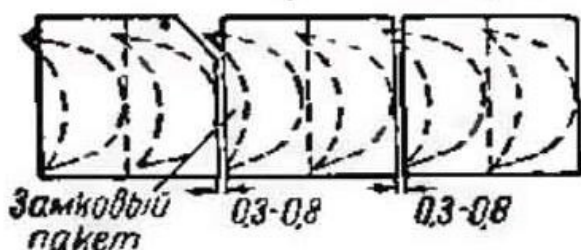


Рисунок 1 – Вид сверху на бандажи сварных пакетов рабочих лопаток с замковым пакетом

Лопатки работают в тяжелых условиях высоких температур и нагрузок, поэтому их изготавливают из жаропрочной высоколегированной стали мартенситного класса 15X11МФ.

Данная сталь относится к трудно-свариваемым сталям при использовании традиционного электродугового способа сварки в защитной среде, поскольку сварка с большой погонной энергией, приводит к перегреву околошовного металла, росту зерна, сегрегациям примесей на границах зерен, способствующих охрупчиванию сварных соединений. Склонность к холодным трещинам и к разупрочнению металла в зоне термического влияния жаропрочных сталей при электродуговом способе сварки обуславливает необходимость предварительного подогрева изделия перед сваркой до 200–300 град.

Применение электронно-лучевой сварки (ЭЛС) при производстве пакета лопаток вместо традиционного электродугового способа сварки в защитной среде позволяет повысить качество, снизить количество брака и себестоимость изготовления.

Высокая концентрация энергии в луче обуславливает высокую скорость сварки и позволяет получать швы не только с минимальной зоной расплавленного металла, но и соединения, в которых металл околошовной зоны не претерпевает значительных изменений вследствие ввода мини-

мального количества теплоты. Малая погонная энергия при ЭЛС способствует снижению зоны термического влияния, исключает недостатки, вызванные изменением физикомеханических свойств металла в околошовной зоне. Глубокое проплавление металла при ЭЛС позволяет исключить необходимость выполнения разделки кромок перед сваркой. Кроме того, ввод 20

меньшего количества тепла дает возможность уменьшить деформации изделий по сравнению с дуговыми способами сварки. Высокий вакуум в камере ЭЛС способствует высокой чистоте сварочной ванны и дегазации сварочного шва.

Сборка лопаток (рис. 2, а) в пакеты производится по стыку участков бандажной и хвостовой частей (рис. 2, б) ЭЛС на всю глубину без разделки кромок. Для входа и выхода электронного луча предусмотрены технологические пластики (рис. 2, в), которые удаляются при последующей механической обработке.

Пакет, состоящий из двух лопаток и технологических пластиков, собирается и базируется в кассету (рис. 2, в), которая устанавливается в многоместной технологической оснастке (рис. 2, г). Разработанная многоместная технологическая оснастка позволяет автоматизировать процесс ЭЛС и производить до 40 пакетов лопаток за бандажная часть хвостовая часть технологические пластики одну установку. Учитывая повышенную склонность к хрупкому разрушению жаропрочных сталей мартенситного класса после сварки, пакеты лопаток после ЭЛС незамедлительно подвергаются термической обработке (отпуску) для снятия внутренних напряжений и формирования требуемых механических свойств (рис. 2, д). Далее пакет лопаток (рис. 2, е), поступает на окончательную механическую обработку, где удаляются пластики и окончательно формируются посадочные и присоединительные места, выдерживая требуемые размеры и допуски.

После ЭЛС и снятия внутренних напряжений проводятся дополнительные контрольные измерения геометрии деталей и определяются зоны термической деформации.

Измерения до сварки и после производятся путем лазерного сканирования геометрии пакета лопаток с помощью координатно-измерительной руки NikonMetrology MСAx40+ с последующим компьютерным анализом полученных результатов в прикладной программе Focus. Числовые значения отклонений определяются в автоматическом режиме и представлены в виде цветовой карты отклонений (рис. 3).

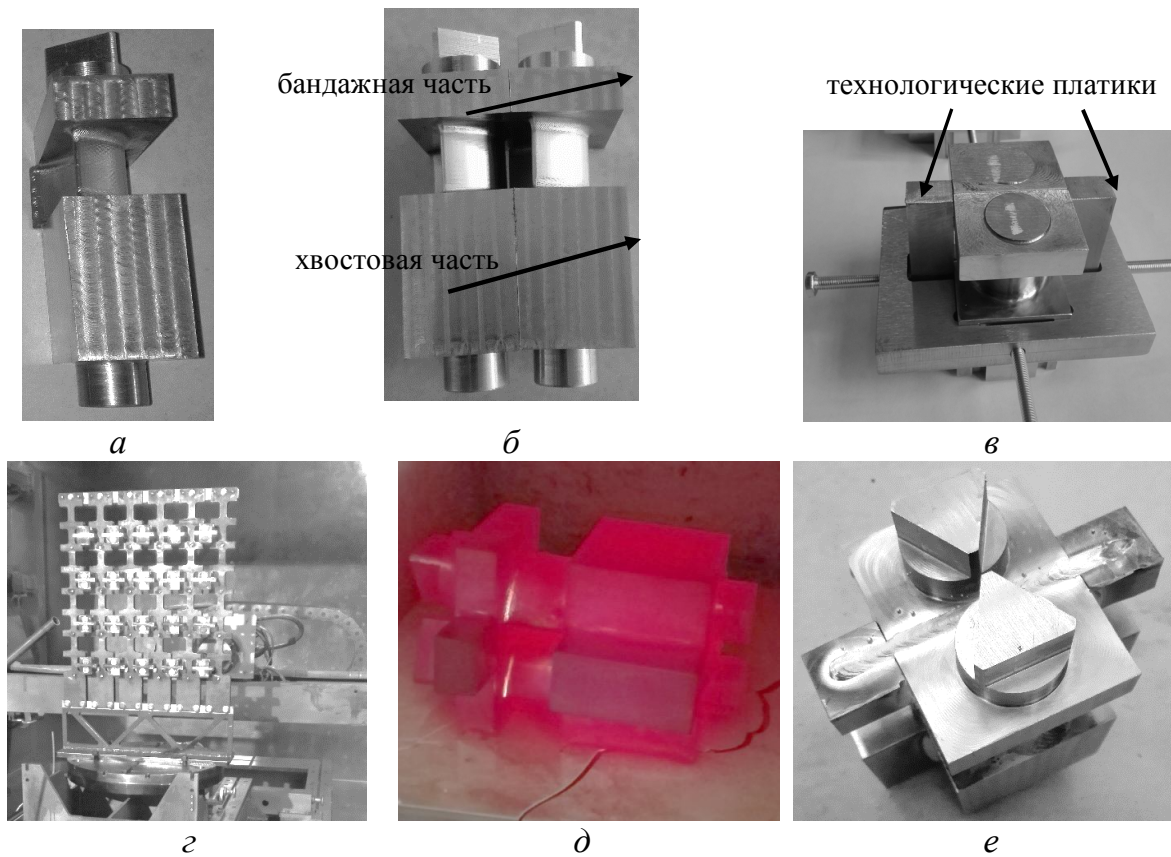


Рисунок 2 – Процесс и оснащение электронно-лучевой сварки пакета лопаток паровых турбин: а – лопатка; б – пакет лопаток; в – сборка в кассеты пакетов лопаток турбин с технологическими пластинами; г – многоместная технологическая оснастка с кассетами в камере; д – термообработка пакета лопаток для снятия внутренних напряжений после сварки; е – пакет лопаток после сварки и термической обработки

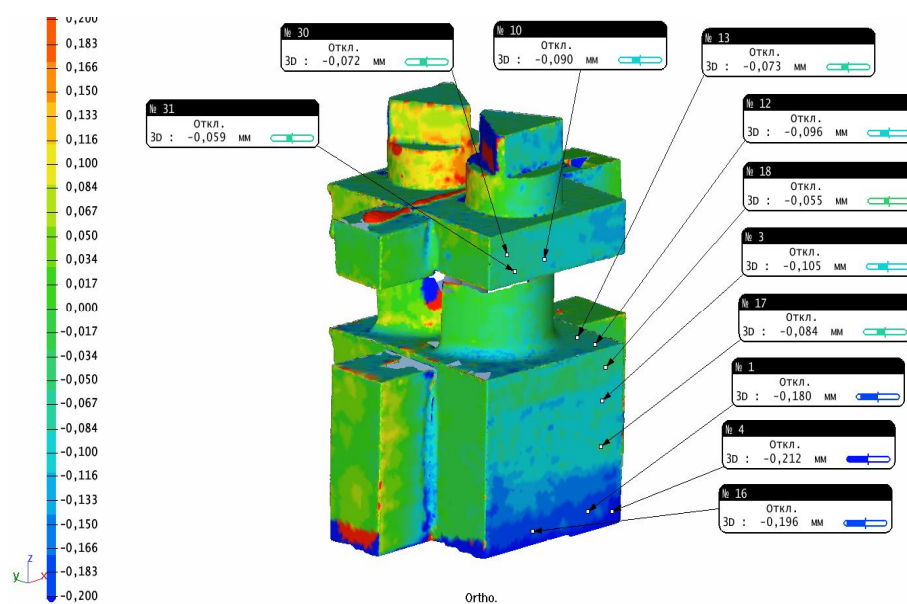


Рисунок 3 – Цветовая карта измерений зон термической деформации

В бандажном шве пакета лопаток деформация практически отсутствует (максимальное отклонение 0,09 мм).

Максимальная зона термической деформации при ЭЛС выявлена в хвостовом шве в верхней его части и составляет 0,212 мм, а в зоне корня шва термическая деформация незначительна (максимальное отклонение 0,096 мм).

Термические деформации укладываются в пределах допуска по данной операции и полностью исключают последующую механическую обработку.

Разработанный технологический процесс и средства оснащения для изготовления пакета лопаток паровых турбин с рассчитанными режимами ЭЛС позволили повысить качество и снизить себестоимость сборки.

Бурыкин В.В., Рыжов Ю.Э.

Институт сверхтвердых материалов им В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

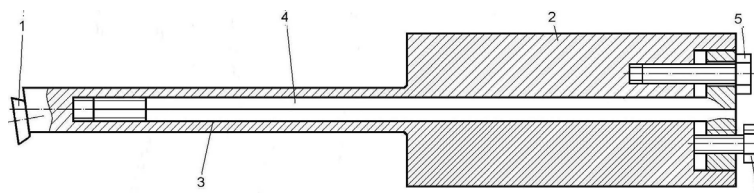
ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ РЕЗЦАМИ ИЗ ПСТМ

В настоящее время для чистовой расточки деталей на токарных станках, в том числе на станках с ЧПУ, применяют резцы, оснащенные круглыми режущими пластинами из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ). Использование режущих пластин из ПСТМ, несмотря на их высокую стоимость, снижает себестоимость обработки за счет обеспечения высокого качества обработанных поверхностей деталей. При обработке деталей из труднообрабатываемых материалов (закаленных сталей, высокопрочных и отбеленных чугунов, износостойких наплавленных и напыленных покрытий) режущий инструмент подвергается сложному силовому нагружению, что обуславливает необходимость выполнения ряда требований к его конструкции. Во многих случаях расточка отверстий сопровождается повышенным уровнем вибраций режущего инструмента, что снижает его стойкость и затрудняет достижение высокого качества обработанной поверхности. Снизить уровень вибрации можно различными способами, в том числе путем создания в державке инструмента напряжений, обратных по знаку тем, которые возникают в ней в процессе резания [1]. Спроектирован расточной резец (рис. 1) с системой стержней, которые за счет резьбовых стержневых соединений создают в верхней части державки напряжения сжатия, а в нижней – растяжения [2]. Регулируя натяжение стержней, можно добиться наименьших значений вибраций и создавать ограничение по допустимому их уровню.

Режущий инструмент содержит сменную режущую пластину 1, соединенную с державкой 2, в отверстиях которой установлены стержни 3 и 4, расположенные по разные стороны от нейтральной линии, один из которых взаимодействует с узлом сжатия, а второй – с узлом растяжения. Стержни представляют собой полуцилиндры с возможностью проскальзывания один относительно другого по касательным плоскостям. При этом, один конец стержней-полуцилиндров с помощью совместной резьбы соединен с державкой, второй – с упомянутыми узлами сжатия и растяжения, которые выполнены в виде болтов 5 и 6, завернутых в державку.

С помощью динамометрического ключа в державке создают напряжения сжатия или растяжения, которые в процессе работы резца компенсируют напряжения, формируемые в державке. Снижение уровня вибраций обеспечивает уменьшение интенсивности образования трещин на передней и задней поверхностях режущих пластин инструмента, повышая его стойкость.

Рассмотренным расточным резцом обрабатывали отверстия $\varnothing 10-25$ мм в деталях из стали



*Рисунок 1 – Расточной резец:
1 – режущая пластина; 2 – державка;
3, 4 – стержни; 5, 6 – болты*