

22 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

Сплав представляет большой интерес для внедрения в конструкцию изделий АТ как материал для изготовления сварных деталей. ОКБ Сухого совместно с производственным предприятием «КнААЗ им. Ю. А. Гагарина» занималось отработкой режимов сварки сплава на имеющемся на серийном заводе оборудовании. В результате был отработан и успешно внедрен режим точечной сварки листового материала.

При внедрении деталей из сплава 1151, сваренных точечной сваркой, был решен ряд задач: проведена оценка технологичности и степень отработки технологического процесса точечной сварки алюминиевых сплавов, отработаны режимы точечной сварки на элементарных и конструктивно-подобных образцах, проведена оценка качества получаемых сварных соединений, исследованы макро- и микроструктура, определены прочностные и усталостные характеристики сварных соединений.

Из полуфабрикатов сплава 1151 в конструкцию изделий АТ были внедрены листы толщиной от 1,5 до 5 мм, подвергаемые формованию и свариваемые точечной сваркой. Они используются в отсеках, подвергаемых нагреву до 175 °С, в качестве замены титановому сплаву ОТ4-1, что позволило снизить вес конструкции.

Приведенные выше примеры – лишь небольшой фрагмент совместной работы института-разработчика сплава, завода-изготовителя полуфабриката и потребителя материала – конструкторского бюро и серийных заводов. Многоэтапность внедрения материала, своевременные корректировки как технологии получения полуфабрикатов, так и изменений в конструкторской документации (изменение конструкций или выбора режима обработки) явно демонстрирует необходимость придерживаться определенного алгоритма при внедрении нового материала. Процессы отработки режимов получения полуфабрикатов на металлургических заводах, грамотное проектирование с учетом выбора полуфабриката и проверка его на технологическую пригодность (механическая обработка, установка крепежа, сварка, пайка и т. д.) – все эти процессы для эффективности внедрения в конструкцию должны быть не растянуты во времени, а запараллелены.

УДК 621.92

МОРФОЛОГИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИОБИЯ ПРИ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

В. А. Носенко, В. Г. Карпов, Л. Л. Кременецкий

Волжский политехнический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Российская Федерация

Морфология обработанной поверхности сплава на основе ниобия свидетельствует об интенсивном адгезионном взаимодействии металла с абразивным материалом при врезном шлифовании. Установлен факт переноса продуктов износа шлифовального круга на обработанную поверхность и внедрения в металл. На основании полученных данных о химическом составе продуктов износа экспериментально доказано присутствие на обработанной поверхности кристаллов карбида кремния, керамической связки и их сочетаний.

Ключевые слова: ниобий, шлифование, карбид кремния, морфология, химический состав, рентгеноспектральный микроанализ.

**THE MORPHOLOGY AND CHEMICAL COMPOSITION
OF THE MACHINED SURFACE OF NIOBIUM-BASED ALLOY
AT INFEEED GRINDING**

V. A. Nosenko, V. G. Karpov, L. L. Kremenetskii

*Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State
Technical University, Russian Federation*

The morphology of the machined surface of niobium-based alloy indicates an intense adhesive interaction between the metal and the abrasive material at infeed grinding. The transfer of tool wear of grinding wheel to the machined surface and penetration into metal has been established. Based on the obtained data on the chemical composition of tool wear, the presence of silicon carbide crystals, a ceramic bond, and their combinations on the machined surface has been experimentally proven.

Keywords: niobium, grinding, silicon carbide, morphology, chemical composition, X-ray microanalysis.

Жаропрочные сплавы на основе ниобия используются в авиационных реактивных двигателях для изготовления дисков и неохлаждаемых турбинных лопаток. В связи с этим к качеству обработанной поверхности изделий из сплавов на основе ниобия предъявляются высокие требования [1, 2]. Шлифование относится к числу финишных операций, во многом определяющих качество поверхности изделия, что свидетельствует об актуальности исследования данного процесса.

С использованием последних мировых достижений в области контроля качества обработанной поверхности доказано, что осколки кристаллов или зерен, вырванных из связки шлифовального круга, способны переноситься на обработанную поверхность [3]. Перенос абразивного материала происходит при шлифовании различных металлов кругами из карбида кремния, корунда [4, 5]. Менее изучен перенос материалов при шлифовании сплавов на основе ниобия.

Цель работы – исследование морфологии и химического состава поверхности ниобия после шлифования абразивным инструментом из карбида кремния.

Методика исследования. Морфологию и химический состав обработанной поверхности исследовали на электронном микроскопе «Versa 3D DualBeam». Заготовки из ниобиевого сплава обрабатывали на прецизионном плоскошлифовальном станке с ЧПУ модели CHEVALIER Smart – B1224 III. Шлифование осуществляли методом врезной подачи кругом из карбида кремния 1 350 × 20 × 127 64C F60 K 7V на керамической связке с охлаждением. Режим обработки: v – 35 м/с; v_s – 12 м/мин; S_t – 0,010 мм/ход, без выхаживания; припуск – 0,5 мм.

Результаты исследований и обсуждение. Обработанная поверхность при шлифовании является результатом царапания большого количества вершин зерен, расположенных на рабочей поверхности абразивного инструмента. Показана обработанная поверхность на последнем проходе со стороны выхода шлифовального круга (рис. 1, а). На поверхности можно выделить отдельные царапины. При базовом увеличении 1050 крат относительно чистые царапины, на которых различимы микронеровности вершины зерна, встречаются редко (рис. 1, б). Состояние поверхности сплава после шлифования кругом из карбида кремния свидетельствует о достаточно интенсивном адгезионном взаимодействии металла с абразивным инструментом из карбида кремния. Для сравнения, при шлифовании сплава никеля кругом из кубического нитрида бора обработанная поверхность достаточно чистая, царапины на поверхности никеля хорошо различимы, что свидетельствует о низкой интенсивности адгезионного взаимодействия (рис. 1, в).

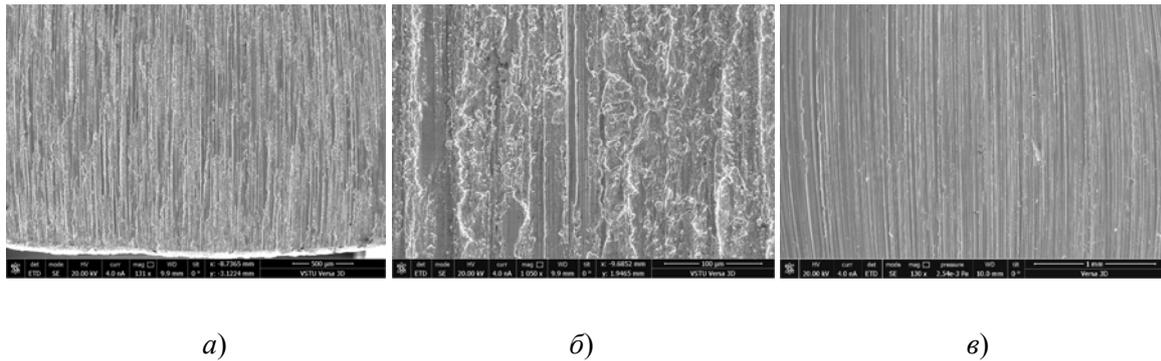


Рис. 1. Состояние обработанной поверхности сплава на основе ниобия после шлифования кругом из карбида кремния при базовом увеличении 131 крат (а) и 1050 крат (б) и никелевого сплава при шлифовании кругом из кубического нитрида бора (в)

Предполагаемыми продуктами износа шлифовального круга из карбида кремния на керамической связке могут быть кристаллы карбида кремния, керамической связки и их сочетание. Получены фотографии предполагаемых продуктов износа абразивного инструмента, обнаруженные на обработанной поверхности. Продукты износа частично или полностью вдавлены в металл (рис. 2).

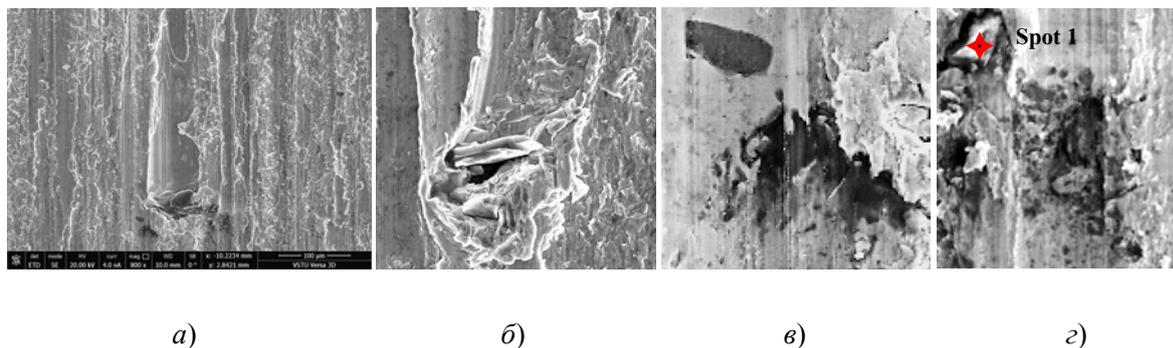


Рис. 2. Перенос материала абразивного инструмента на обработанную поверхность

Скалывание вершины абразивного материала или вырывание зерна из связки круга может происходить в момент царапания вершиной зерна (рис. 2, а). Размер объекта по горизонтали (направление, перпендикулярное скорости главного движения) около – 70 мкм. При скалывании вершины зерна или вырывании зерна из связки возможно изменение первоначальной траектории главного движения (рис. 2, б). Размер отдельных объектов может приближаться к среднему размеру зерна шлифовального круга. На рис. 2, а в правой и левой частях относительно траектории главного движения видны более мелкие вкрапления размером от 10 до 1 мкм и менее (рис. 2, в, г).

Похожее состояние поверхности показано на рис. 3, а. Рентгенограммы трех анализируемых объектов в точках Spot 1, Spot 2 и Spot 3 приведены на рис. 3, б–в.

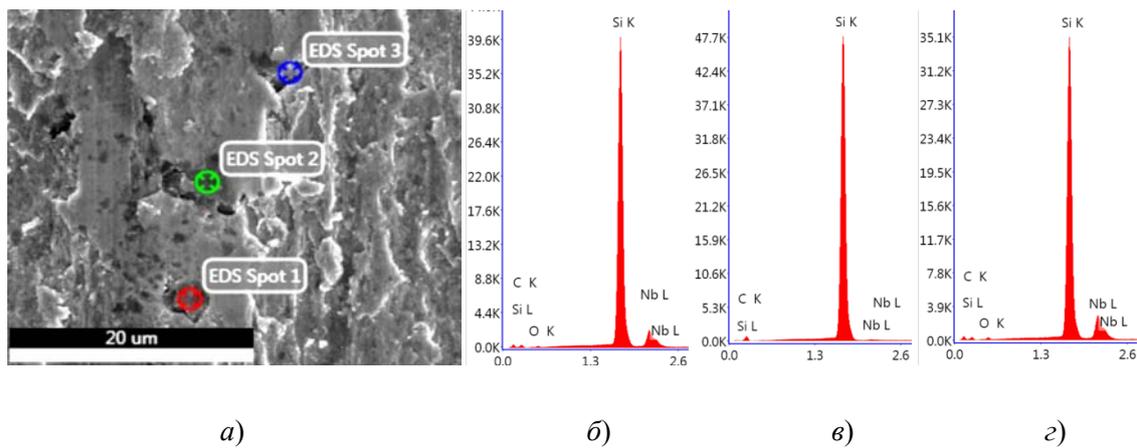


Рис. 3. Морфология обработанной поверхности с инородными объектами внедрения (а) и рентгенограммы в трех точках объектов Spot 1 (б), Spot 2 (в) и Spot 3 (г)

В точке Spot 2 присутствуют два основных химических элемента – кремний и углерод в количестве соответственно 50,1 и 49,7 атомарных процентов, что соответствует химической формуле карбида кремния (SiC). На поверхности кристалла обнаружены также следы ниобия. Химический состав в точке Spot 3 содержит четыре основных химических элемента: углерод, кремний, кислород и ниобий. Содержание атомов углерода – около 35 %, кремния – около 55 %. Если ориентироваться на химическую формулу SiC, в веществе содержится избыточный кремний. Наличие кислорода и избыточного кремния возможно в результате присутствия в анализируемом объеме некоторого количества связки. В точке Spot 1 содержатся следующие химические элементы: кислород, кремний, алюминий, калий, натрий и кальций. Концентрация перечисленных химических элементов согласуется со средней концентрацией аналогичных химических элементов в керамической связке K10 [6].

Морфология обработанной поверхности ниобиевого сплава после шлифования кругом из карбида кремния на керамической связке свидетельствует о интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии инструмента и обрабатываемого материала. Происходит перенос продуктов износа абразивного инструмента на обработанную поверхность. На основе рентгеноспектрального анализа установлено, что продуктами износа абразивного инструмента являются кристаллы абразивного материала (карбид кремния), керамическая связка и их сочетание.

Литература

1. Caron, P. French Research and Development Activities on High-Performance Superalloys for Gas Turbine Components / P. Caron // Materials Science Forum. – 2007. – Vol. 546–549. – P. 1179–1186. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.546-549.1179
2. Зеликман, А. Н. Металлургия редких металлов : учебник / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов. – М. : Metallurgy, 1991. – 432 с.
3. Носенко, С. В. Рельеф и химический состав поверхности титанового сплава при черновом шлифовании / С. В. Носенко, В. А. Носенко, Л. Л. Кременецкий // Гл. механик. – 2016. – № 4. – С. 66–69.
4. Nosenko, V. A. Transfer of Cubic Boron Nitride Grinding Wheel Wear Products to the Nickel Alloy Surface / V. A. Nosenko, A. V. Fetisov, S. P. Kuznetsov // MATEC Web of Conf. – 2020. – Vol. 329. – P 8. DOI: 10.1051/mateconf/202032903050

5. Nosenko, V. A. Morphology and Chemical Composition of Silicon Carbide Surfaces Interacting with Iron, Cobalt, and Nickel in Microscratching / V. A. Nosenko, A. V. Fetisov, V. Ye. Puzyrkova // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284. – P. 363–368. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ssp.284.363
6. Гаршин, А. П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства / А. П. Гаршин, С. М. Федотова ; под общей ред. А. П. Гаршина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.

УДК 681.7.023.72

ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИНЗ С ТОНКИМ ЦЕНТРОМ

Л. Д. Мальпика, А. С. Козерук

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Приведен анализ состояния технологии обработки линз для оптических приборов. Рассмотрена кинематическая схема устройства для одновременной двусторонней обработки линз с тонким центром. Выполнено математическое моделирование процесса абразивной обработки линз по методу свободного притирания и проведены численные исследования этой обработки.

Ключевые слова: линза, локальные погрешности, двусторонняя обработка, устройство, численное исследование.

PROGRESSIVE TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING LENSES WITH A FINE CENTER FOR OPTICAL INSTRUMENTS

L. Y. Malpica, A. S. Kozeruk

Belarusian National Technical University, Minsk

An analysis of the state of technology for processing lenses for optical devices is given. The kinematic scheme of the device for simultaneous two-sided processing of lenses with a thin center is considered. Mathematical modeling of the process of abrasive processing of lenses using the method of free rubbing was carried out and numerical studies of this processing were carried out.

Keywords: lens, local errors, two-sided processing, device, numerical study.

Одной из проблем современного оптического приборостроения является изготовление маложестких линз (с относительной толщиной 0,03 и менее) с высокими требованиями к их геометрической форме [1]. По существующей технологии односторонней обработки (шлифования и полирования абразивной суспензией по методу свободного притирания инструментом в виде гриба или чашки) как в Республике Беларусь и странах ближнего зарубежья, так и в странах дальнего зарубежья заготовки этих линз поочередно закрепляют одной из рабочих поверхностей на клеочное приспособление смолой и обрабатывают вторую ее поверхность. Такое закрепление требует нагрева клеочного инструмента, смолы и заготовки, при остывании которых из-за различных температурных коэффициентов линейного расширения материалов возникают напряжения в стекле. После снятия линзы с клеочного приспособления эти напряжения релаксируют, в результате чего происходит ухудшение качества детали в виде нарушения заданной точности радиуса кривизны обработанной поверхности (макропогрешность), которая проявляется в отклонении ее стрелки прогиба от номинального значения в пределах $\pm 0,0015$ мм и в локальном деформировании этой поверхности (микропогрешность) в среднем на $\pm 0,0004$ мм. Для уменьшения отме-