

Сведения о ходе выполнения проекта

«Разработка гетеромодульных наноструктурных керамических композитов и методов их 3D формования»

Руководитель проекта д-р физ.-мат. наук, профессор Кульков С.Н.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 18 октября 2017 г. № 14.584.21.0026 с Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 3 в период с 01.01.2019 г. по 31.12.2019 г. выполнены следующие работы:

1. Разработаны технологические решения получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti, Si)C, B, N/CNT$ инжекционным формованием.
2. Изучено влияние технологических условий инжекционного формования на структурно-фазовое состояние изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti, Si)C, B, N/CNT$, полученных инжекционным формованием.
3. Отработаны технологические параметры получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti, Si)C, B, N/CNT$ инжекционным формованием.
4. Скорректирован состав гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti, Si)C, B, N/CNT$ и технологические параметры получения изделий из них с учётом результатов исследований Иностранного партнёра и Индустриального партнёра.
5. Проведен анализ полноты решения задач и достижения поставленной цели исследования, в том числе: выполнение оценки эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем; проведение сравнительного анализа полученных результатов с мировыми аналогами.
6. Разработаны рекомендации по использованию результатов исследования в реальном секторе экономики, разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.
7. Разработан проект технического задания на проведение ОТР по теме: «Получение изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti, Si)C, B, N/CN$ ».
8. Проведены дополнительные патентные исследования.
9. Получены изделия из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti, Si)C, B, N/CNT$ инжекционным формованием в условиях Индустриального партнёра.
10. Отработаны технологические параметры получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава $(Zr, Ti,$

(Si)C,B,N/CNT инъекционным формованием на технологическом оборудовании Индустриального партнёра.

11. Разработаны технологические решения получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)C,B,N/CNT инъекционным формованием на технологическом оборудовании Иностранного партнёра.
12. Разработаны рекомендации по структурно-фазовому состоянию гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)C,B,N/CNT для использования в высокоскоростных фрикционных контактах.

Основные результаты проекта:

Разработаны технологические решения получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si) C, B, N/CNT инъекционным формованием. Изучено влияние технологических условий инъекционного формования на структурно-фазовое состояние изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)C,B,N/CNT, полученных инъекционным формованием. Отработаны технологические параметры получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)C,B,N/CNT инъекционным формованием. Технология инъекционного формования изделий из фидстоков гетеромодульных наноструктурных керамических композитов ZrC-BN-ZrB₂-SiC-CNT и TiC-BN-ZrB₂-SiC-CNT позволяет достичь высокого уровня плотности ($\rho_{\text{отн}} = 0.99$). Полученные результаты по плотности керамических изделий сопоставимы с аналогичными данными для керамических изделий, полученных методом прессования под давления. Однако отличительным преимуществом метода инъекционного формования является возможность получения изделий комплексной геометрии, недоступная для традиционных методов спекания под давления и искрового-плазменного спекания керамических изделий.

Определены оптимальные технологические условия инъекционного формования изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)C,B,N/CNT. Осуществлена корректировка состава гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)C,B,N/CNT и технологических параметров получения изделий их них с учетом результатов исследований Иностранного партнера и Индустриального партнера. Показано, что разработанные керамические составы полифазных гетеромодульных наноструктурных керамических композитов позволяют получить изделия, удовлетворяющие предъявляемым требованиям и заявленным характеристикам, указанным в Техническом задании. Проведен анализ полноты решения задач и достижения поставленной цели исследований. Разработаны рекомендаций по использованию результатов исследования в реальном секторе экономики, разработка технологических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и

особенностей Индустриального партнера – организации реального сектора экономики.

Иностранным партнёром Swatch Group Research and Development SGRD проведены исследования исходных компонентов гетеромодульных керамических композитов, изучено влияние условий трения на структурно-фазовое состояние, разработаны технологических решений получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)₂C₃B₂N/CNT инъекционным формованием и рекомендаций по структурно-фазовому состоянию гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)₂C₃B₂N/CNT для использования в высокоскоростных фрикционных контактах.

Индустриальным партнёром ООО "Куранты" проведены исследования по разработке фидстока для последующего формования сложнопрофильных изделий из гетерофазных керамических композитов, осуществлены работы по отработке технологических операций получения фидстоков из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов ZrC-BN-ZrB₂-SiC-CNT и TiCBN-ZrB₂-SiC-CNT, получены изделия из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)₂C₃B₂N/CNT инъекционным формованием и отработаны технологические параметры получения изделий из гетеромодульных наноструктурных керамических композитов полифазного состава (Zr, Ti, Si)₂C₃B₂N/CNT инъекционным формованием.

Состав композитов, разработанных в рамках проекта, обеспечил высокую вязкость разрушения за счёт организации многоуровневой диссипативной системы. В качестве низко модульной составляющей в гетеромодульных керамических композитах использованы дискретные включения гексагонального нитрида бора. Работы, предусмотренные планом графиком, выполнены в полном объёме.