

Литература.

1. Гаппоев Т. Т. Особенности уравнивания пространственных механизмов/ Гаппоев Т. Т. // Балансировка машин и приборов.- М.: Машиностроение, 1979.- 294 с.
2. Табуев Д. Б. Уравнивание сил и моментов сил инерции в пространственных механизмах: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук.-Тбилиси, 1983.-15 с.
3. Белоновская И.Д. Построение самоуравновешенных систем пространственных механизмов / Белоновская И.Д., Диментберг Ф. М., Майсюк Л. Б.- М.:Машиноведение, 1987. -№ 1.- С. 3-7.
4. Щепетильников В. Л. Уравнивание механизмов/ Щепетильников В. Л.-М.: Машиностроение, 1982.- 256 с.
5. Мудров П. Г. Пространственные механизмы с вращательными парами./ Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1976.- 265 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СВАРКЕ, НАПЛАВКЕ И НАПЫЛЕНИИ (ОБЗОР)**

*А.С. Лукашов, аспирант, Е.А. Зернин, к.т.н., доц., М.А. Кузнецов  
Юргинский технологический институт (филиал) Национальный исследовательский  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
Тел. (38451)-5-09-06, e-mail: Jlexa555@bk.ru*

С наступлением XXI столетия стали невероятно быстро развиваться нанотехнологии и наноматериалы, используемые в наиболее важных областях человеческой деятельности, во всех передовых странах планеты. Количество научных публикаций по тематике, связанной с наноразмерными материалами, скорость внедрения фундаментальных и поисковых разработок, анализ роста денежных вложений в данную сферу демонстрируют весомое значение нанотехнологий и наноматериалов, которые, судя по всему, в ближайшее десятилетие будут являться одним из основных факторов оборонного, научного, экономического развития государств. Долю научных статей, приходящихся на публикации, затрагивающие тему наноматериалов и нанотехнологий, весьма затруднительно определить, в связи с тем, что по данной проблематике только за несколько последних лет опубликовано около 15-25 тысяч статей, что является достаточно показательным фактом [1].

Одним из основных потребителей нанодисперсных материалов является машиностроение, в котором ведется внедрение технологий нанесения износостойких покрытий, уделяется внимание наноструктурированной продукции и оборудованию для обработки деталей с нанометровой точностью. При этом улучшение качественных показателей может быть достигнуто как посредством введения наноразмерных добавок при осуществлении конкретного техпроцесса, так и за счет соответствующих режимов [2].

Так в работе [3] рассмотрены различные способы введения наноразмерных частиц карбидов вольфрама в металл, наплавленный с использованием электродугового и электрошлакового процессов. Установлено, что поверхностный слой покрытия электродов, размещающий в себе карбиды, является наиболее эффективным введением нанодисперсных карбидов вольфрама в сварочную ванну. Исследовались такие процессы как дуговая наплавка неплавящимся электродом в гелии с подачей стержней с покрытием и порошковой проволоки, электрошлаковая наплавка, при которой использовались экспериментальная порошковая проволока и флюс АНФ-6. При этом выявлено, что нанодисперсные карбиды вольфрама, не растворяясь в сварочной ванне, минуя высокотемпературную область реакционной зоны, перемещаются в наплавленный металл, тем самым модифицируют его рутитовыми электродами в процессе сварки. Используя тугоплавкие наноразмерные порошки, микропорошки железа, никеля и других металлов с определенным количеством наночастиц в химических соединениях, можно более эффективно воздействовать в процессе сварки и наплавки на структуру и свойства металла [3].

Целью работы [4] являлось исследование влияния введенных в покрытие сварочных электродов микрогранул никеля, содержащих нанодисперсные частицы монокарбида WC, на структуру, ударную вязкость и твердость низкоуглеродистого наплавленного металла. Установлено, что введение в основное покрытие сварочных электродов композиционных микрогранул никеля, содержащих нанодисперсный монокарбид WC, является эффективным способом модифицирования низкоуглеродистого наплавленного металла. Содержание в покрытии электрода микрогранул Ni + WC (около 3 %

его массы) обеспечивает повышение ударной вязкости металла сварного шва по сравнению с образцами, сваренными стандартными электродами УОНИ – 13/45.

В работе [5] Еремин Е.Н. применяет электрошлаковую сварку комбинированным электродом с модифицированием металла шва дисперсными частицами карбонитрида титана. Полученные результаты свидетельствуют о широких технологических и металлургических возможностях инокулирующего модифицирования при электрошлаковой сварке комбинированным электродом в производстве изделий ответственного назначения из жаропрочных сплавов. Применение разработанной технологии сварки позволяет существенно экономить ресурсы за счет повышения качества и увеличения весовой точности кольцевых заготовок из жаропрочных сплавов в авиационном двигателестроении.

В статье [6] о модифицировании среднехромистого наплавленного металла приведены результаты исследований влияния редкоземельных металлов на структуру и свойства металла. Показано, что роль добавок редкоземельных металлов проявляется в повышении технологической прочности, ударной вязкости и сопротивлении термоусталостному разрушению металла, применяемого для наплавки валков горячей прокатки. Эффект достигается за счет связывания серы в тугоплавкие мелкодисперсные соединения и устранения слоистости при ее распределении, снижения микрохимической неоднородности, измельчения аустенитного зерна. При этом уменьшается также загрязненность металла шва неметаллическими включениями.

В работах Паршина С.Г. [7 – 9] приводится описание применения ультрадисперсных частиц активирующих флюсов и наноструктурированных электродных материалов. Целью работ было повышение производительности процесса сварки, улучшение характеристик капельного перехода и качества сварных соединений стали. Выявлено, что ультрадисперсные флюсы являются эффективным способом управления энергетическими свойствами электрической дуги, улучшения капельного перехода электродного металла и качества сварных соединений [7]. А применение разработанных наноструктурированных электродных проволок с микрокомпозиционными покрытиями из частиц галогенидов в металлической матрице позволило разработать технологию форсированной MIG – сварки сталей с увеличением производительности процесса сварки до 68,5 %. Сварные швы, выполненные по новой технологии, имели хорошее стабильное формирование при глубоком проплавлении листового проката, в том числе в критическом и суперкритическом режимах при высоких плотностях тока [8].

В работе [9] приведены результаты исследования влияния ультрадисперсных активирующих флюсов на свойства сварочной дуги и формирование сварных соединений при сварке постоянным и переменным током. Применение таких флюсов позволило получить узкие сварные швы при сварке пластин без скола кромок за один проход. Сварные швы имели благоприятную мелкозернистую микроструктуру с хорошим формированием корневого шва. Ширина ЗТВ при сварке сталей уменьшилась на 25 – 50 %. Сварные соединения, выполненные с активирующим флюсом, имели высокую пластичность и прочность.

В работах Сапожкова С.Б. и Макарова С.В. [10 - 12] рассмотрена технологическая схема изготовления электродов для ручной дуговой сварки. Описан способ введения нанопорошка в сварочную ванну через покрытие электродов. При этом нанопорошок сложного состава добавляется в покрытие на стадии производства электродов в жидкое стекло с применением механо-активаторной установки кавитационного типа. Также приведены механические свойства и химический состав металла сварного шва, выполненного электродами с применением нанодисперсных порошков неорганических материалов. Анализ экспериментальных данных показал, что структура металла шва, выполненного экспериментальными электродами более однородная, чем после сварки серийными электродами.

Большое внимание уделяют разработкам в области сварочного производства Князьков К.В., Радченко М.В., Смирнов А.Н. и их соавторы научных публикаций. В работах [13-17] рассмотрено введение в расплав нанодисперсных частиц с помощью плазменно-порошковой наплавки. Исследования показали, что введение модификатора в порошковую смесь привело к значительным изменениям: к измельчению структуры материала, к снижению величины внутренних напряжений и скалярной плотности дислокаций. Эти изменения рассматриваются как факторы, способствующие повышению износостойкости наплавленных покрытий.

В работе по исследованию покрытий [18], полученных плазменно-порошковой наплавкой и влияния модификатора на структуру, поля внутренних напряжений и фазовый состав покрытий установлено, что введение модификатора привело к измельчению структуры материала, образованию в карбидной подсистеме карбида  $W_2C$  и борида  $Fe_3Ni_3B$ , снижению величины внутренних напряжений и скалярной плотности дислокации.

Износостойкие газотермические покрытия рассмотрены в работе [19]. Данные покрытия получены напылением газовой горелкой «Mogul-9», самофлюсующегося порошка ПГСР-4 с модифицирующими добавками ультрадисперсных шпинелей, получаемых в процессе плазмохимического синтеза. Испытаниями на износ и профилометрическими измерениями установлено, что ультрадисперсные добавки покрытия и материал контртел существенно влияют на профили контактных поверхностей трения.

Для получения защитного покрытия также применяют газопламенную наплавку, позволяющую использовать как один из составляющих порошковой смеси наноразмерный порошок с высокой степенью твердости, который имеет большое значение в возможности образования тугоплавких высокотвердых структур. К таким нанопорошкам относятся карбид вольфрама, вольфрамокобальтовый карбид, карбид хрома, которые будут значительно увеличивать износостойкость покрытия, подвергнутого наплавке, за счет получения высокопрочных, твердых структур. Проведенные исследования [20] показали, что порошковый сплав, включающий в себя наноструктурированные компоненты демонстрирует более высокие характеристики в сравнении с порошком того же состава, но не содержащего в себе наноразмерных частиц. Помимо этого, новое покрытие также обладает более однородной структурой, что приводит к ее более рациональной работе на истирание. Следует отметить, что при наплавке защитных покрытий применение нанопорошков позволяет создавать такие покрытия, которые имеют эксплуатационные характеристики выше по сравнению с покрытиями, при изготовлении которых применялись порошки с крупной фракцией [20].

В последнее время, с развитием нанотехнологий, появилась возможность модифицирования металла шва сварного соединения наноразмерными тугоплавкими частицами. Одним из перспективных способов введения наноразмерных модификаторов может стать предварительная засыпка композиционных гранул в зазор между свариваемыми поверхностями, по аналогии с применением порошкообразного присадочного материала при сварке под слоем флюса. Преимуществом такого способа введения модифицирующих компонентов является исключение непосредственного контакта композиционных гранул и высокотемпературной зоны дуги. При этом наноразмерные частицы подвергаются воздействию расплавленного металла сварочной ванны, что защищает их от непосредственного действия дугового разряда. Применение предварительной засыпки композиционных гранул в разделку не требует создания специально легированной проволоки, что является экономически целесообразным. Выявлено, что при добавлении композиционных гранул размер зерна наплавленного металла уменьшается, а структура является более равномерной. Введение в расплав наноразмерных частиц приводит к увеличению значений ударной вязкости при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  на 21%. Следует отметить, что образцы с введением порошка никеля имеют значения ударной вязкости меньше на 58% [21].

Еще одна публикация [22] посвящена исследованию в области создания новых составов керамических флюсов, с использованием которых можно не только управлять металлургическими процессами, но и легировать металл. Целью работы являлось исследование влияния введенных во флюс наноразмерных тугоплавких частиц на структуру низкоуглеродистого металла шва и его ударную вязкость при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ . Материалом, транспортирующим нанопорошок, служил порошок никеля с размером частиц до 50 мкм, в который внедрен карбид вольфрама. Композиционные микрогранулы никеля содержали до 30 масс. % частиц WC. Также в качестве легирующей части керамического флюса использовали порошки ферромарганца и электролитического никеля. Итак, введение в состав керамического флюса композиционных микрогранул Ni+WC в количестве до 1,5 масс. % способствует модифицированию структуры низкоуглеродистого металла сварного шва, что приводит к повышению в 2 раза его ударной вязкости при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Работа [23] Коберника Н.В. и др., направленная на раскрытие влияния наноразмерных частиц на кристаллизацию сварочной ванны в неравновесных условиях процесса автоматической дуговой сваркой под флюсом двумя проволочными электродами, показала, что значения ударной вязкости металла шва при отрицательных температурах увеличивается на 21 – 24 %, за счет введения композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы, а набор морфологических форм структурно-фазовых составляющих металла шва не претерпевает существенных изменений при введении в зону сварки композиционных гранул, содержащих наноразмерные частицы карбида вольфрама.

Одним из актуальных вопросов современного машиностроения является исследование влияния ультрадисперсных карбидов на свойства теплоустойчивого наплавленного металла. Ультрадисперсные карбидные композиции предполагалось использовать в шихте порошковых проволок, которые применяются при наплавке инструментов для горячей обработки металлов давлением и обеспечивают

получение наплавленного металла типа теплостойких штамповых сталей. Испытания на термостойкость наплавленного металла свидетельствуют о том, что использование в шихте порошковых проволок ультрадисперсных карбидных композиций повышает термическую стойкость наплавленного металла — увеличивается количество циклов нагрев-охлаждение до появления и развития сетки трещин разгара. Испытания на изнашивание при трении скольжения металла по металлу при повышенной температуре показали, что износ металла, наплавленного порошковыми проволоками с опытной шихтой, меньше, чем в случае использования проволок со стандартной шихтой [24].

В публикации [25] Литвиненко-Арькова В.Б. было исследовано влияние нанопорошка карбонитрида титана TiCN, вводимого в состав шихты порошковых проволок, на структуру наплавленного металла и его свойства. Для наплавки использовали порошковые проволоки с диаметром 2,6 мм и коэффициентом заполнения шихтой 46–47 %, которые изготавливали по известной технологии. Для получения наплавленного металла, легированного азотом в состав шихты проволок внедряли порошок азотированного хрома. Выявлено, что при введении 0,2–0,5 масс.% нанодисперсного порошка TiCN в шихту проволок происходит 2,0–2,5 кратное измельчение зерна, содержание наноразмерных и микродисперсных частиц TiCN в металле, подвергнутому наплавке, обеспечивает стойкость к пластической деформации при высоких температурах (750–950 °С).

В работе [26] рассмотрено влияние алюминия на пористость и свойства износостойкого сплава, наплавленного самозащитной порошковой проволокой ПП-АН160. Исследована трещиностойкость и пористость низколегированного углеродистого сплава при наплавке самозащитной порошковой проволокой. Установлено, что легирование наплавленного металла более 0,7 мас.% алюминия приводит к увеличению в нем количества мартенситной фазы и снижению его стойкости против образования трещин. Показано, что максимальная твердость наплавленного металла при незначительном снижении его трещиностойкости может быть достигнута при содержании 0,5 - 0,7 мас.% алюминия.

В публикации [27], авторами которой являются Klimpel A. и Kik C., выявлено процентное содержание наноструктурированных депозитов, при котором достигаются максимальные качественные показатели, изучено влияние химического состава порошковой проволоки на твердость и износостойкость. Показана актуальность внедрения наноразмерных частиц в состав проволоки, которая используется для наплавки как новых, так и изношенных деталей машин.

На данный момент также существует ряд разработанных сварочных материалов – запатентованных порошковых проволок [28-31], в шихте которых содержится наноразмерный порошок. Так Еремин Е.Н. и соавторы [28-29] использовали ультрадисперсный порошок карбида кремния для электрошлаковой наплавки деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа. Разработкой Омского государственного технического университета стала порошковая проволока, в шихте которой содержатся феррованадий, карбид бора, диборид титана и другие компоненты, позволяющая повысить стойкость деталей и оборудования, работающих в условиях интенсивного износа при повышенных температурах с ударными нагрузками. Японские ученые [30] запатентовали проволоку, в флюсовой сердцевине которой содержатся оксид алюминия, оксид титана и другие компоненты, обеспечивающую предотвращение образования трещин при сварке оцинкованных стальных листов. Литвиненко-Арьков В.Б. с соавторами [31] ввели в шихту ультрадисперсный порошок карбонитрида титана и кремнефтористого натрия, что позволило повысить на 30% термостойкость и жаростойкость наплавленного металла.

Вывод.

Проведенный обзор литературы, содержащей информацию о применении нанодисперсных порошков в сварочном производстве, продемонстрировал немалое количество технологий внедрения нанопорошков в металл шва. Каждая научная публикация, рассмотренная в данной работе, описывает свой уникальный способ сварки, оказывающий, как правило, положительный эффект на эксплуатационные свойства металла, но в то же время имеющий ряд свойственных недостатков, связанных как с технологическими особенностями, так и с техническими. Обобщенный результат проанализированных исследований [3-33] показал, что введение наноразмерных материалов демонстрирует измельчение структуры, обеспечивает стойкость к пластическому деформированию, повышает термостойкость, износостойкость, а также равномерней распределяет легирующие элементы.

Одним из направлений использования нанопорошков неорганических материалов является создание самозащитной порошковой проволоки. При разработке порошковой самозащитной проволоки, содержащей нанопорошки, особое внимание следует уделять легкому зажиганию дуги и стабильному ее горению, снижению потерь электродного металла на угар и разбрызгивание. Именно эти аспекты яв-

ляются отрицательной стороной применения самозащитной порошковой проволоки, особенно при производстве трубопроводного транспорта различного назначения. В связи с чем становится актуальной работа по созданию технологии дуговой сварки самозащитной порошковой проволокой, в основе которой будет лежать проволока, содержащая нанопорошки неорганических материалов сложного состава.

Литература.

1. Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения // Учебное пособие Москва, 2007. – 125с.
2. Кочанов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // Ритм. 2010. №8. С.16-21.
3. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама // Физика и химия обработки материалов. 2009. №6. С.41-47.
4. Соколов Г.Н., Трошков А.С. Влияние нанодисперсных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленного металла // Сварка и диагностика. 2011. №3. С.36-38.
5. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов // Омский научный вестник. 2009. №3. С.63-67.
6. Степанов К.К., Матвиенко В.Н., Олдаковский А.И. Модифицирование среднехромистого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2011. №8. С.12-14.
7. Паршин С.Г. Применение ультрадисперсных частиц активирующих флюсов с целью повышения производительности MIG/MAG - сварки сталей // Сварочное производство. 2011. №6. С.16-21.
8. Паршин С.Г. MIG – сварка стали с применением наноструктурированных электродных материалов // Сварочное производство. 2011. №10. С.27-31.
9. Паршин С.Г. Повышение производительности WIG – сварки сталей и алюминиевых сплавов при введении ультрадисперсных частиц активирующих флюсов // Сварочное производство. 2012. №3. С.7-11.
10. S. V. Makarov and S. B. Sapozhkov Use of complex nanopowder ( $Al_2O_3$ , Si, Ni, Ti, W) in production of electrodes for manual arc welding // World Applied Sciences Journal 22 (Special Issue on Techniques and Technologies). 2013. P. 87-90.
11. S. V. Makarov and S. B. Sapozhkov Production of electrodes for manual arc welding using nanodisperse materials // World Applied Sciences Journal. 2014. 29 (6). P. 720-723.
12. Makarov S.V., Gnedash E.V., Ostanin V.V Comparative characteristics of standard welding electrodes and welding electrodes with the addition of nanopowders // Life Science Journal. 2014. Volume 11. P. 414-417
13. Смирнов А.Н., Князьков К.В., Радченко М.В., Козлов Э.В., Князьков В.Л. Структурно–фазовое состояние и поля внутренних напряжений в износостойких покрытиях, модифицированных наноразмерными частицами  $Al_2O_3$ . Часть 1 – материалы, методы исследований и роль химических элементов // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2012. №4. С. 106-111.
14. Смирнов А.Н., Князьков К.В., Радченко М.В., Козлов Э.В., Князьков В.Л. Структурно–фазовое состояние и поля внутренних напряжений в износостойких покрытиях системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC и в покрытиях, модифицированных наноразмерными частицами  $Al_2O_3$ . Часть 2 – фазовый состав исследованных покрытий // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2012. №5. С. 87-91.
15. Смирнов А.Н., Князьков К.В., Радченко М.В., Козлов Э.В., Князьков В.Л. Структурно–фазовое состояние и поля внутренних напряжений в износостойких покрытиях системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC и в покрытиях, модифицированных наноразмерными частицами  $Al_2O_3$ . Часть 3 – структура, фазовое состояние и поля внутренних напряжений в исследованных образцах // Вестник кузбасского государственного технического университета. 2012. №6. С. 75-79.
16. Князьков К.В., Радченко М.В. Исследование структурно – фазового состояния износостойких наплавов на основе карбида вольфрама, модифицированного нанодисперсными частицами  $Al_2O_3$  // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 1-3.
17. Князьков К.В., Радченко М.В. Исследование износостойкости упрочняющих покрытий системы Ni-Cr-B-Fe/WC, модифицированных нанодисперсными частицами  $Al_2O_3$  // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 13-15.

18. Смирнов А.Н., Князьков В.Л., Радченко М.В. Влияние нанодисперсных частиц  $Al_2O_3$  на структурно-фазовое состояние покрытий системы Ni-Cr-B-Si-Fe/WC, полученных плазменно-порошковой наплавкой // Сварка и диагностика. 2012. №5. С.32-37.
19. Лебедев Д.И., Винокуров Г.Г., Стручков Н.Ф. Исследование контактной поверхности износостойких газотермических покрытий с ультрадисперсными добавками при трении скольжении со стальным контртелом // Современные научные технологии. 2014. №1. С.42-45.
20. Ледников Е.А., Радченко М.В. Применение ультрадисперсных порошковых частиц для увеличения ресурса работы деталей, изготавливаемых и восстанавливаемых с применением метода сверхзвуковой газопорошковой наплавки // X Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2013». Секция «Машиностроение». Подсекция «Оборудование и технология сварочного производства». 2013. С. 6-8.
21. Линник А.А., Коберник Н.В. Легирование металла шва порошковыми присадками на основе карбида вольфрама при сварке под флюсом // Всероссийская научно-техническая конференция студентов Студенческая научная весна 2013: Машиностроительные технологии.
22. Трошков А.С., Соколов Г.Н., Сычева С.С., Лысак В.И. Структура и свойства низкоуглеродистого металла, наплавленного под керамическим флюсом, содержащим композиционные микрогранулы Ni-нанодисперсный WC // Известия волгоградского государственного технического университета. 2012. №6. С.187-190.
23. Коберник Н.В., Михеев Р.С., Панкратов А.С., Линник А.А. Модифицирование наплавленного металла наноразмерными частицами карбида вольфрама с целью повышения эксплуатационных свойств сварных соединений // Инженерный вестник. 2013. №4. С. 9-12.
24. Рябцев И.А., Кондратьев И.А. Влияние ультрадисперсных карбидов в порошковых проволоках на свойства теплоустойчивого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2009. №6. С.13-15.
25. Литвиненко-Арьков В.Б., Соколов Г.Н., Кязымов Ф.А. Структура и свойства термостойкого металла, наплавленного порошковыми проволоками с наночастицами TiCN // Известия волгоградского государственного технического университета. 2012. №6. С.194-197.
26. Кривчиков С.Ю. Влияние добавок алюминия в порошковую проволоку на свойства высокоуглеродистого наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2012. №5. С.38-39.
27. Klimpel A., Kik T. Erosion and abrasion wear resistance of GMA wire surfaced nanostructural deposits // Archives of Materials Science and Engineering. 2008. №2. P.121-124.
28. Еремин Е.Н., Лосев А.С., Филиппов Ю.О. Еремин А.Е. Порошковая проволока // Патент 2350448 С2. 2007.
29. Лосев А.С., Еремин Е.Н., Мухин В.Ф. Порошковая проволока // Патент 2429957 С1. 2010.
30. Мизумото М., Кодама С., Асаи К. Порошковая проволока // Патент 2413600 С2. 2007.
31. Литвиненко-Арьков В.Б., Соколов Г.Н., Артемьев А.А., Лысак В.И. Порошковая проволока // Патент 2478030 С1. 2011.
32. Nickl A. An alternate to cobalt base hard-facing alloys // Journal of metals. 1980. № 3. P. 6-12.
33. Liu C.T. Ni<sub>3</sub>Al aluminide alloys // Structural Intermetallics. Ed. Darolia R. et al. The Miner., Met and Mater. Soc., 1993. P.365 -377.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИАМИДА НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Нгуен Суан Тьук\*, асп., С.В. Панин \*\*, д.т.н., проф., Л.А. Корниенко \*, к.ф.-м.н.

\* Национальный исследовательский Томский политехнический институт  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

\*\* Институт физики прочности и материаловедения СО РАН  
634021, г. Томск пр. Академический, 2/4

E-mail: nxthuc1986@gmail.com, bsyp@ispms.tsc.ru, crosmc@ispms.tsc.ru

#### Введение

Важной технологической задачей при разработке антифрикционных композитов на основе сверхвысокомолекулярной СВМПЭ-матрицы является поиск совместимых полимерных наполнителей (эластифицирующих добавок) для кратного повышения его триботехнических характеристик [1-3] при одновременном повышении технологичности (экструдированности) смесей. В работах [4-6] авторы исследовали полимер-полимерные композиции на основе СВМПЭ с полиэтиленом и полипро-