

I N T E R N A T I O N A L C O N F E R E N C E

**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МАТЕРИАЛОВ – 2023**



**PHYSICS AND TECHNOLOGY
OF ADVANCED
MATERIALS – 2023**

Уфа, 2-6 октября 2023 г.

Ufa, 2-6 October, 2023



**СБОРНИК ТРУДОВ
BOOK OF ABSTRACTS**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ РАН
УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ – 2023**

(PHYSICS AND TECHNOLOGY OF ADVANCED MATERIALS – 2023)

*Сборник трудов
Международной конференции
(г. Уфа, 2 – 6 октября 2023 г.)*

Уфа
РИЦ УУНиТ
2023

УДК 620.1/.2+539.3/.5+621.7
ББК 30.3+30.121+30.68
Ф50

Физика и технология перспективных материалов–2023:

Ф50 сборник трудов Международной конференции (г. Уфа, 2-6 октября 2023 г. / отв. ред. А.А. Назаров. — Уфа: РИЦ УУНиТ, 2023. – 420 с.
ISBN 978-5-7477-5738-7

В сборнике представлены последние достижения в области физики и технологии обработки перспективных материалов. Представленные доклады посвящены широкому кругу проблем современного материаловедения: получение новых материалов различной природы и различного назначения, изучение электронной, атомной структуры, микроструктуры, физических, физико-химических и механических свойств материалов, исследование структурных, фазовых превращений в материалах в процессах обработки, а также их применение, повышение ресурса деталей и конструкций, используемых в промышленности и т.д.

Сборник предназначен для интересующихся проблемами современного материаловедения.

Physics and Technology of Advanced Materials-2023:

abstracts of the International Conference (Ufa, 2-6 October, 2023). – Ufa, Ufa University of Science and Technology, 2023. - 420 p.

The book presents the latest achievements in the field of physics and technology of processing of advanced materials. The presented reports are devoted to a wide range of problems of the modern materials science, such as development of new materials of various origins and for various purposes, research on the electronic, atomic structure, microstructure, physical, physicochemical and mechanical properties of materials, study of structural, phase transformations in materials in treatment processes, as well as their application, increase of the resource of parts and structures used in industry, etc.

The collection can be of interest for everyone interested in the problems of modern materials science.

УДК 620.1/.2+539.3/.5+621.7
ББК 30.3+30.121+30.68

ISBN 978-5-7477-5738-7

© УУНиТ, 2023

© ИПСМ РАН, 2023

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕМ И АЗОТОМ НА УПРОЧНЕНИЕ НАПЛАВЛЕННЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СПЛАВОВ

А.Н. Гостевская, Г.И. Черепанова, Н.Н. Малущин, В.Е. Громов, Л.П. Башенко

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк
lokou1296@mail.ru

Быстрорежущие теплостойкие сплавы дополнительно легированные азотом широко применяются для упрочнения деталей машин и механизмов, работающих в условиях абразивного износа и высоких температур. Выплавка быстрорежущих сплавов с повышенным содержанием азота имеет определенные сложности, связанные с трудностью контроля его содержания. Эти затруднения могут быть успешно преодолены при получении быстрорежущих сплавов с помощью наплавки порошковыми проволоками, обеспечивающими повышенное содержание азота в наплавленном металле [1].

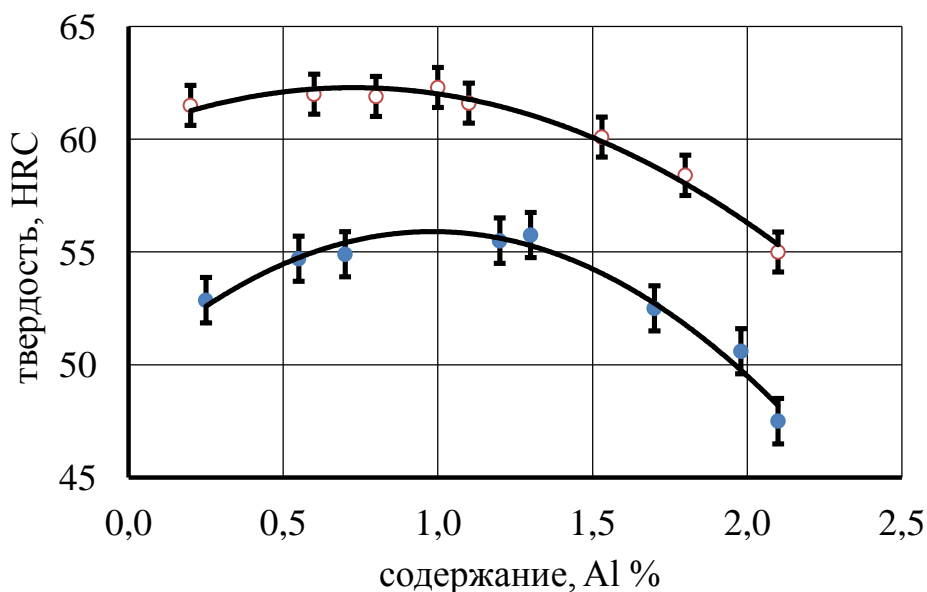
Быстрорежущие сплавы обладают высокими служебными свойствами и неудовлетворительной свариваемостью из-за высокой вероятности образования холодных трещин. В разработанных Сибирским государственным индустриальным университетом (СибГИУ) способах наплавки быстрорежущими сплавами для предотвращения образования холодных трещин предложено использовать эффект кинетической пластичности («сверхпластичности») и регулируемый низкотемпературный подогрев. Способы наплавки позволяют получать наплавленный металл в закаленном состоянии и без трещин [2]. Для реализации предложенных способов применена плазменная наплавка порошковыми проволоками, обеспечивающими получение наплавленных быстрорежущих сплавов P18Ю, P6M5Ю, P2M9Ю и др., дополнительно легированных азотом. Плазменная наплавка в среде азота по сравнению с аргоном позволяет не только снизить затраты на наплавку, но и эффективно легировать наплавленный металл азотом из газовой фазы непосредственно в процессе наплавки, что существенно повышает его твердость и износостойкость. Для предотвращения процесса азотного кипения при наплавке в состав шихты порошковой проволоки вводят алюминий.

Цель работы - исследовать влияние алюминия и азота на упрочнение наплавленных быстрорежущих сплавов.

В работе исследовались наплавленные быстрорежущие сплавы P18Ю, дополнительно легированного алюминием и азотом, следующего химического состава, масс. %: 0,87 C; 4,41 Cr; 17,00 W; 0,10 Mo; 1,50 V; Ti 0,35; 1,15 Al; 0,06 N. В качестве подложки использовали сталь 30XГСА следующего химического состава, масс. %: 0,3 C; 0,9 Cr; 0,8 Mn; 0,9 Si.

Наплавку заготовки осуществляли на установке для плазменной наплавки тел вращения [1,2]. Валки наплавливали плазменной дугой с подачей в сварочную ванну нетоковедущей присадочной порошковой проволоки ПП-Р18Ю. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон, защитного – азот. Режим наплавки: $I_{св} = 150-160$ А, $U_{д} = 50-55$ В, скорость наплавки $v_{н} = 18$ м/ч, скорость подачи порошковой проволоки $v_{п.пр.} = 60$ м/ч, смещение с зенита 10–12 мм, длина дуги $l_{д} = 20$ мм, расход защитного газа (азота) $Q_{защ} = 20-22$ л/мин, расход плазмообразующего газа (аргона) $Q_{плазм} = 6-8$ л/мин, диаметр проволоки 3,7 мм.

При наплавке сжатой дугой в азотсодержащих газовых средах наблюдается интенсивное кипение сварочной ванны и образование пористости. Для устранения пористости в состав сердечника порошковой проволоки вводили алюминий, связывающий избыточный азот в нерастворимые в жидком металле соединения (нитрид алюминия). Такие соединения частично всплывают на поверхность сварочной ванны, а также остаются в наплавленном металле и выступают в роли дополнительной упрочняющей фазы. С другой стороны, алюминий, переходящий в твердый раствор, оказывает существенное влияние на процесс структурообразования, увеличивая количество мягких структурных составляющих.



5. Рис. 1. Влияние алюминия на твердость сплава P18Ю]:

6. 1 – после наплавки; 2 – после отпуска

7.

В результате исследования процесса структурообразования наплавленных в азоте теплостойких сталей высокой твердости установлено, что алюминий не однозначно влияет на твердость металла после наплавки и отпуска на вторичную твердость. Алюминий, участвуя в образовании дисперсионных частиц (предположительно нитридов или комплексных оксидов) размером 6 – 12 мкм, способствует упрочнению металла, однако увеличение его содержания в металле более 1,0 % приводит к увеличению количества δ-феррита и разупрочнению металла. Оптимальным с точки зрения получения максимальной вторичной твердости и предотвращения пористости является концентрация алюминия в наплавленном металле в пределах 0,8 – 1,0 % [1.2].

Для уменьшения склонности к порообразованию, вызванному водородом, в состав сердечника порошковой проволоки дополнительно вводили кремнефтористый или алюмофтористый натрий (Na_2SiF_6 и Na_3AlF_6) и пыль фильтров алюминиевого производства, связывающие водород в соединение $[\text{HF}]$.

Стойкость против образования холодных трещин повышается также при снижении в составе наплавленного металла водорода (водородная гипотеза) предотвращения холодных трещин). Для повышения стойкости против образования холодных трещин и уменьшения склонности к порообразованию, вызванному водородом, в состав сердечника порошковой проволоки дополнительно вводили кремнефтористый, алюмофтористый натрий или пыль фильтров алюминиевого производства. Наплавленный металл находится в закаленном состоянии, что позволяет для повышения твердости и износостойкости ограничиться только высокотемпературным отпуском [2].

Для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота в СибГИУ разработаны порошковые проволоки, обеспечивающие широкую гамму химических составов и эксплуатационных свойств наплавленного металла.

Разработанные порошковые проволоки обеспечивают получение наплавленного металла типа теплостойких сплавов P18Ю, P6M5Ю, P2M9Ю и т. п. Такие порошковые проволоки предназначены для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота с целью восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей оборудования и металлообрабатывающего инструмента, когда требуется особенно высокая твердость и износостойкость рабочих поверхностей. Диаметр изготавливаемой порошковой проволоки 2,7 + 3,7 мм; коэффициент наплавки – 18–20 Г/А·ч; коэффициент разбрызгивания не более 3,5 %. Твердость наплавленного металла HRC 52–60, твердость наплавленного металла

после термической обработки (отпуска) – HRC 62 – 64. Порошковые проволоки для плазменной наплавки изготавливались на станке для изготовления порошковой проволоки. Производительность станка до 50 кг порошковой проволоки за смену [1,2].

Способы многослойной наплавки предотвращает образование трещин в процессе наплавки и позволяет увеличить твердость наплавленного металла до 59-60 HRC [2]. Содержание азота в наплавленном металле составляет 0,02 – 0,04 %. Для увеличения содержания азота в наплавленном металле и для реализации способов многослойной наплавки разработаны порошковая проволока, шихта которой содержит углерод, хром, молибден, вольфрам, ванадий, алюминий, железо, никель, пыль электрофильтров алюминиевого производства, В состав шихты дополнительно введен азотированный феррохром и титан [2].

Замена хрома на азотированный феррохром позволяет повысить содержание азота в наплавленном металле в 1,5 – 2,0 раза с 0,02 – 0,04 % при наплавке в азотсодержащей защитно-легирующей среде до 0,06 - 0,08%.

Введение титана в состав порошковой проволоки позволяет повысить содержание азота в наплавленном металле с 0,06 – 0,08 % до 0,09 – 0,12 %. Комплексное легирование наплавленного металла азотом при плазменной наплавке в азотсодержащей защитно-легирующей среде, наличие алюминия в шихте порошковой проволоки и дополнительное введение в ее состав азотированного феррохрома и титана позволяет повысить твердость, износостойкость и теплостойкость.

Плазменная наплавка в среде азота проволокой ПП-Р18Ю обеспечивает без применения термообработки твердость до 57 HRC, проволока ПП-Р18ЮА с азотированным феррохромом – твердость до 58 HRC, дополнительно легированная титаном проволока – до 59 HRC. Наплавка по разработанному способу разработанными порошковыми проволоками позволяет получать твердость 59 – 60 HRC.

Режим высокотемпературного отпуска: температура нагрева 580 °С, время выдержки 1 ч, количество отпусков 4. Контроль качества наплавленных деталей состоит из внешнего осмотра и измерений, проверки твердости наплавленных поверхностей, ультразвуковой и магнитной дефектоскопии и металлографических исследований.

Дефекты наплавки при контроле качества наплавленных деталей не обнаружены. Качество наплавленной поверхности удовлетворительное. Твердость наплавленного металла составляет 54 – 58 HRC. Для увеличения твердости и износостойкости проводился 4-х кратный часовой отпуск при 580 °С и окончательная механическая обработка.

Выводы.

1. Введение в состав наплавленного металла алюминия и азота положительно сказывается на качестве и упрочнении наплавленных быстрорежущих сплавов.

2. Оптимальным с точки зрения получения максимальной вторичной твердости и предотвращения пористости является концентрация алюминия в наплавленном металле в пределах 0,8 – 1,0 %.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00186, <https://rscf.ru/project/23-19-00186>.

Литература

1. Малушин, Н. Н. Технологии наплавки деталей горно-металлургического комплекса теплостойкими сталями высокой твердости: монография / Н.Н. Малушин, Д.В. Валуев, В.Л. Осетковский, С.А. Солодский. Томск: ТПУ, 2015. 212 с.

2. Упрочнение теплостойких сплавов плазмой в среде азота: монография / Н.Н. Малушин, В.Е. Громов, Д.А. Романов, Л.П. Башенко, О.А. Перегудов. Новокузнецк, ООО «Полиграфист», 2022. 232 с.