**Фурман Игорь Евгеньевич. Совершенствование составов и способов литья кобальтовых стеллитов : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 Екатеринбург, 2007 148 с. РГБ ОД, 61:07-5/2157**

ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет - УПИ

На правах рукописи

**ФУРМАН ИГОРЬ ЕВГЕНЬЕВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВОВ И СПОСОБОВ ЛИТЬЯ КОБАЛЬТОВЫХ СТЕЛЛИТОВ**

Специальность 05.16.04 - Литейное производство

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

научный руководитель: д.т.н. проф. Мысик Р.К.

Екатеринбург

2007

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение 4

[Глава 1. Состояние вопроса 8](#bookmark5)

[Глава 2. Физико-химические свойства кобальтовых стеллитов 27](#bookmark7)

1. [Поверхностное натяжение расплавов на основе кобальта 28](#bookmark8)
2. Смачивание стали кобальтовыми стеллитами 32

[Выводы 40](#bookmark10)

[Глава 3. Износостойкость кобальтовых стеллитов 41](#bookmark11)

1. [Влияние химического состава на износостойкость кобальтовых стеллитов -](#bookmark12)
2. [Износ по закрепленному абразиву -](#bookmark13)
3. [Износ по незакрепленному абразиву 52](#bookmark22)
4. [Газо-абразивный износ 55](#bookmark23)
5. Газо-абразивный износ при повышенных температурах 60
6. Износ металла по металлу 62
7. Изучение эксплуатационных свойств кобальтовых стеллитов

для упрочнения опор шарошечных долот 69

Выводы 76

Глава 4. Технология изготовления литых наплавочных прутков из

кобальтовых стеллитов .78

1. [Технология приготовления расплава -](#bookmark27)
2. Вязкость кобальтовых стеллитов 81
3. Разработка технологии литья наплавочных прутков из стеллитов..*99*
4. Влияние технологических параметров на заполняемость литейных форм кобальтовыми стеллитами 102
5. Установка для вакуумного всасывания наплавочных прутков из стеллитов 111
6. Влияние некоторых технологических параметров на структуру литых прутков 113

з

Выводы 118

Глава 5. Промышленные испытания деталей машин, наплавленные

кобальтовыми стеллитами 120

1. [Промышленные испытания буровых долот -](#bookmark35)
2. [Промышленные испытания пил со стеллитовой наплавкой 124](#bookmark36)
3. [Производственные испытания лопаток авиационных двигателей наплавленных стеллитом 127](#bookmark37)
4. Опробование технологии вакуумного всасывания для получения литых прутков из жаропрочных никель-кобальтовых сплавов 129

Выводы 130

Общие выводы по работе 131

[Библиографический список 135](#bookmark38)

Приложения 141

**ВВЕДЕНИЕ Актуальность работы**

Одной из важнейших задач машиностроения является снижение мате­риалоемкости продукции, повышение срока службы и технического уров­ня выпускаемых машин, их надежности, удлинения межремонтных перио­дов. В большинстве случаев выход из строя деталей машин обусловлен ло­кальным изнашиванием рабочих поверхностей в местах интенсивного взаимодействия с рабочей средой или сопряженной деталью. При этом из­менение первоначальных размеров деталей в большей степени зависит от поверхностной прочности, которая является не менее важной характери­стикой, чем объемная. Высокая поверхностная прочность при условии эксплуатации деталей часто должна сочетаться с пластичностью сердце­винных областей. Обеспечить такой комплекс свойств, используя для изго­товления только один сплав, не всегда удается, а в некоторых случаях это становится экономически не обоснованным. Существует целый ряд спосо­бов повышения износостойкости деталей: химико-термический, поверхно­стное легирование, наплавка и напыление специальных сплавов на по­верхность деталей, армирование их и т.д.

Поверхности деталей машин, работающих при повышенных темпера­турах и в агрессивных средах, наплавляют специальными высоколегиро­ванными сплавами, содержащими обычно до 30% легирующих элементов. Этот способ оправдал себя при изготовлении многих деталей машин, на­пример, пил, ножей для резки горячего металла, седел вентилей, клапанов двигателей, подшипников шарошечных долот. Для упрочнения деталей, работающих в условиях значительного нагружения и высоких температур, используют наплавку высоколегированными кобальтовыми сплавами - стеллитами.

В России разработкой стеллитов на основе кобальта практически не занимались. ГОСТ 21449-75 содержит всего две марки стеллита ВЗК и ВЗКр, которые используются в деревообрабатывающей промышленности, для упрочнения зубьев дисковых, рамных и тарных пил и ножей рубанков, в автомобильной промышленности для наплавки клапанов и седел двига­телей, а также в нефтегазовой промышленности для упрочнения клапанов задвижек высокого давления. Такой универсализм не позволяет достичь максимальных результатов упрочнения на всех этих деталях. Пределы варьирования содержания легирующих элементов в этих сплавах очень велики и составляют обычно несколько процентов, что приводит к тому, что один и тот же сплав обладает совершенно различными физико­механическими свойствами. Это так же приводит к ограничению исполь­зования этих сплавов в промышленности.

Кроме того, изготовление наплавочных прутков из стеллитов произво­дится методом литья в песчано-глинистые формы, и не позволяет получать их с качественной поверхностью без пригара и шероховатости. Прутки, из­готавливаемые по такой технологии, требуют дополнительной механиче­ской обработки, что приводит к значительным потерям таких дорогостоя­щих материалов как кобальт и вольфрам. Кроме того, применяемая техно­логия не позволяет получать прутки диаметром меньше 4 мм, что во мно­гом сдерживает их применение в авиационной промышленности, и требует ее совершенствования.

**Цель работы**

Изучение влияния содержания легирующих элементов кобальтовых стеллитов и технологических параметров литья прутков с целью повыше­ния износостойкости деталей за счет регламентации химического состава сплава и совершенствования технологии изготовления прутков.

Основное внимание было уделено решению следующих задач: изуче­нию влияния основных легирующих элементов на смачивание стеллитами различных марок сталей и сплавов, из которых изготавливаются изделия, подвергаемые упрочнению стеллитами; исследованию влияние химическо­го состава стеллитов ВЗК, ВЗКр, ЗВ14КБ на эксплуатационные свойства изделий; разработке технологических параметров литья прутков диамет­ром от 2 до 8 мм из вышеуказанных сплавов, обеспечивающих получение качественных готовых изделий.

**Научная новизна работы .**

1. Установлено, что углерод и хром снижают поверхностное натяжение кобальтовых стеллитов, а вольфрам и ниобий незначительно его увеличи­вают, краевые углы смачивания стеллитами долотных сталей 14ХНЗМА, 15НЗМА, 19ХГНМА; клапанной стали 40Х9С2; стали Х9В и сплава ЖС6У меняются в пределах 8° - 51°, что существенным образом влияет как на адгезионную прочность сцепления наплавленных слоев, так и на режимы наплавки.
2. Уточнены пределы легирования стеллитов ВЗК, ВЗКр, ЗВ14КБ угле­родом, вольфрамом и хромом, позволяющие повысить износостойкость сплавов при работе в различных агрессивных средах.
3. Установлены закономерности формирования равномерной карбид­ной структуры кобальтовых стеллитов в зависимости от термовременных параметров их выплавки и обработки.
4. Установлены и обоснованы режимы литья кобальтовых стеллитов в кварцевые трубы методом вакуумного всасывания, обеспечивающие полу­чение литых наплавочных прутков без внутренних и поверхностных де­фектов.

**Практическая значимость работы**

Разработана технология получения прутков из кобальтовых стеллитов ВЗК, ВЗКр, ЗВ14КБ диаметром от 2 до 8 мм, обеспечивающая получение готовой продукции, соответствующей требованиям нормативной докумен­тации. Прутки из вышеуказанных сплавов прошли промышленные испы­тания на ОАО «Уралбурмаш», ОАО «Пермский моторный завод», ФГУП ММПП «Салют», ОАО «Арамильский авиаремонтный завод № 695», ОАО «Ростовский завод гражданской авиации № 412», ООО «Ремжилстрой- КСЗ». На предприятии ОАО «Уралбурмаш» была внедрена технология из­готовления прутков диаметром 4 и 6 мм с уточненными пределами содер­жания легирующих элементов в сплаве ЗВ14КБ.

**Апробация работы**

Основные результаты работы докладывались на следующих конферен­циях, съездах и семинарах: Second International Conference on Mathematical Modeling & Computer Simulation of Metal (Ariel, Israel, 2002); на VI съезде литейщиков России (Екатеринбург, 2003); на VII отчетной конференции молодых ученых (Екатеринбург, 2005); на VII съезде литейщиков России (Новосибирск, 2005); на XII международной научно-практической конфе­ренции студентов и молодых ученых (Томск, 2006).

**Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Выводы

1. Опоры и опорные поверхности радиальных и упорных подшипников ка­чения горнорудных долот, наплавленные прутками из сплава ЗВ14КБ, уточненного состава, и изготовленные по предложенной технологии ваку­умного всасывания в кварцевые трубки, прошли расширенные испытания на ГОКах с различной крепостью горных пород. Установлено, что исполь­зование стеллитов ЗВ14КБ с минимальным содержанием углерода и вольфрама и модифицированных ниобием позволяет значительно повы­сить износостойкость подшипников качения в долоте. На качканарском ГОКе долота проходят около 300 метров, а на ГОКе ОАО «УралАсбест» - свыше 600 метров.

Наплавка опорных поверхностей подшипника долот литыми прутками внедрена на ОАО «Уралбурмаш».

1. Наплавочные прутки из сплавов ВЗК и ВЗКр уточненных составов оп­робованы для наплавки рамных и дисковых пил. Показано, что использо­вание прутков, выплавленных по разработанной технологии, позволило увеличить производительность распила древесины на 4,4 *%* и повысить стойкость пил в 6 раз.
2. Разработанная технология литья наплавочных прутков позволила полу­чить прутки из сплава ВЗК диаметром 2 мм для наплавки лопаток авиаци­онных двигателей. Изготовленные по такой технологии прутки прошли успешные испытания на арамильском авиаремонтном заводе № 695, а тех­нология их изготовления внедрена на предприятии ООО «Литейное произ­водство УБМ».

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведенный анализ работ, посвященных разработке составов и изучению физико-механических и эксплуатационных свойств кобальтовых стеллитов, показал, что в независимости от условий работы деталей ма­шин, их упрочнение проводится всего лишь тремя марками сплавов ВЗК, ВЗКр и ЗВ14КБ. Такой универсализм не позволяет достичь максимальных результатов упрочнения этими сплавами деталей машин. Пределы варьи­рования легирующих элементов в этих сплавах составляют обычно не­сколько процентов, что приводит к тому, что один и тот же сплав обладает совершенно различными физико-механическими свойствами. Это так же приводит к нестабильности упрочнения деталей кобальтовыми стеллита­ми.
2. Изучено влияние химического состава стеллитов ВЗК; ВЗКр; ЗВ14КБ на их физико-химические свойства. Установлено, что углерод и хром снижают поверхностное натяжение кобальтовых стеллитов, а вольф­рам и ниобий незначительно его увеличивают.

Исследование смачивания стеллитами ВЗК; ВЗКр; ЗВ14КБ ряда сталей и сплавов: долотных сталей 14ХНЗМА, 15НЗМА, 19ХГНМА; клапанной стали 40Х9С2; стали Х9В и сплава ЖС6У показало, что краевые углы сма­чивания возрастают с увеличением процентного содержания легирующих элементов (особенно вольфрама). В зависимости от химического состава краевые углы меняются в пределах от 8° до 51°. Такое различие может ска­заться как на адгезионную прочность сцепления наплавленных слоев, так и на режимы наплавки.

1. Изучено влияние химического состава кобальтовых стеллитов ЗВ14КБ, ВЗК и ВЗКр на их износостойкость при воздействии закрепленно­го, незакрепленного абразива, а так же в условиях ударно-абразивных на­грузок и трения металл по металлу, как при комнатных, так и при повы­шенных температурах. Установлено, что в зависимости от условий абра­зивного воздействия на упрочненные детали наиболее рационально ис­пользовать стеллиты определенного химического состава. Так, например, в условиях воздействия закрепленного абразива наибольшей износостойко­стью обладает сплав ЗВ14КБ, содержащий Сг - 30%, W - 15%, С - 3%, а в условиях ударно-абразивного воздействия сплав ЗВ14КБ, содержащий Сг- *26%,* W - *12%, С* - *2,6%.* Показано, что введение до 6% ниобия в сплав ЗВ14КБ приводит к образованию в нем мелких карбидов округлой формы, что значительно повышает износостойкость сплава при всех видах абра­зивного воздействия.
2. Установлено, что с увеличением содержания основных легирующих элементов - вольфрама, углерода и хрома вязкость стеллитов увеличивает­ся. При температурах выше 1520 **°С** происходит распад карбидов **М3С2, М7С3** с последующим образованием новой карбидной фазы **М23С6,** что приводит к возникновению гистерезиса вязкости. Эксперименты свиде­тельствуют, что после двойного переплава стеллитов гистерезисный ха­рактер температурных зависимостей вязкости практически исчезает, что свидетельствует о гомогенности расплава и стабильности фазового соста­ва. В результате, рекомендовано для производства прутков из кобальтовых стеллитов ВЗК, ВЗКр, ЗВ14КБ проводить их двойной переплав, что замет­но снижает образование дефектов как в прутках, так и в наплавленном слое и позволяет получать наплавленные слои со стабильными свойствами.

Показано, что в кобальтовых сплавах с повышенным содержанием ниобия гистерезис вязкости не наблюдается, что, по-видимому, связано с образованием в расплавах устойчивой карбидной фазы NbC. Однако и та­кие стеллиты требуют при их производстве двойного переплава для глубо­кой дегазации.

1. Изучено влияние температуры (в диапазоне 1300-1600 °С) и перепа­да давления (в интервале 0,2-0,95 атм.) на заполняемость кварцевых тру­бок различного диаметра (1,4 - 6 мм) расплавом. Найдены необходимые режимы заполнения форм кобальтовыми стеллитами, позволяющие полу­чить наплавочные прутки необходимой геометрии и не имеющие литых дефектов (усадочной раковины, газовой пористости, неспаев и т.д.). Пока­зано, что модифицирование и легирование стеллитов ниобием в количест­ве от 1% до 6 % позволяет получить по всей длине литых наплавочных прутков относительно равномерную мелкозернистую структуру.
2. Создана установка и отработаны режимы для производства литых наплавочных прутков из кобальтовых стеллитов, позволяющая получить прутки диаметром от 1,4 мм до 8 мм, не требующих дополнительной меха­нической обработки.
3. Опоры и опорные поверхности радиальных и упорных подшипников качения горнорудных долот, наплавленные прутками из сплава ЗВ14КБ, с уточненным химическим составом и изготовленные по предложенной тех­нологии вакуумного всасывания в кварцевые трубы, прошли расширенные испытания на ГОКах с различной крепостью горных пород. Установлено, что использование стеллитов ЗВ14КБ с минимальным содержанием угле­рода и вольфрама и модифицированных ниобием позволяет повысить из­носостойкость подшипников качения в долоте на 11 *%.*

Наплавка опорных поверхностей подшипника долот литыми прутками уточненного химического состава внедрена на ОАО «Уралбурмаш».

1. Наплавочные прутки из сплавов ВЗК и ВЗКр уточненных составов опробованы для наплавки рамных и дисковых пил. Показано, что исполь­зование прутков, изготовленных по разработанной технологии, позволило увеличить производительность распила древесины на 4,4 % и повысить стойкость пил в 6 раз.

9. Разработанная технология литья наплавочных прутков позволила полу­чить прутки из сплава ВЗК диаметром 2 мм для наплавки лопаток авиаци­онных двигателей. Изготовленные по такой технологии прутки прошли успешные испытания на арамильском авиаремонтном заводе № 695, а тех-

нология их изготовления внедрена на предприятии ООО «Литейное произ­водство УБМ».

**Библиографический список**

1. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. Изд-во «Металлургия», 2-е изд., 1969, 752 с.
2. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие, кислотоупорные и жароупорные стали. Металургиздат, 2-е изд., 1945, 512 с.
3. Herchenroeder R.B. “Haynes Alloy No. 188 Aging Characteristics,” Interna­tional Symposium on Structural Stability in Superalloys, Seven Springs, PA, September 1968, p. 110-112.
4. Туманов В.И. Свойства сплавов системы карбид вольфрама - карбид ти­тана - карбид тантала - карбид ниобия - кобальт. М., «Металлургия», 1973. 184 с.
5. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и про­мышленных энергоустановок / Под ред. Симса Ч.Т., Столоффа Н.С., Хаге- ля У.К.: Пер. с англ. В 2-х книгах. Кн. 1 / Под ред. Шалина Р.Е. - М.: Ме­таллургия, 1995. - 384 с.
6. Griffiths W.T. “The Problem of High-Temperature Alloys for Gas Turbines,” 739th Royal Aeronautical Society Lecture, London, October 1947, p. 47-48.
7. Morral F.R. Cobalt and Cobalt Alloys, Cobalt Information Center, Columbus, Ohio, 1967, p. 183-189.
8. Беттеридж У. Жаропрочные сплавы типа нимоник. Металлургиздат, 1961, 410 с.
9. Bagder F.S. a. Sweeny W.O. Symposium on Materials for the Turbines, ASTM, 1946, June, p. 99-112.

10.Sweeny W.O. Trans. ASME, 1947, v. 69, № 6, p. 569-581.

1. Badger F.S., Kroft F.C.J. Metal Progress, 1947, Sept., p. 394-402.
2. Epremian E. Trans. ASM, 1947, v. 39, p. 88-91, 132.
3. Grant N.G. Trans. ASM, 1946, v. 39, p. 261-280.
4. Юкалов И.Н. Отливки из химически стойких сплавов. М.: «Машино­строение», 1964, 233 с.

15.Sims С.Т., Superalloys 1984, TMS-AIME, Warrendale, PA, 1984, p. 399.

1. Wood D.B. a. Gregg I.F. Metall Treatment 1957, v.24, №143, p. 317.
2. Fleischer R.L. “The Strengthening of Metals”Reinhold, New York, 1964, p. 93
3. Freche J.C., Ashbrook R.L., and. Klima S.J, Cobalt, 20, 1963, p. 114.
4. Pugliese L.A. and Stroup J.P., Cobalt, 43, June 1963, p. 80.
5. Morrow H., Danesi W.P., and Sponseller D.L., Cobalt, 4, 1973, p. 93.
6. Woodford D.A. and McMahon C.J., Jr., Proceedings of the Second Interna­tional Conference Strength of Metals and Alloys - Asilomar, ASM, Metals Park, OH, 1970, p. 1067.
7. Grant N.G. Trans. ASM, 1948, v.40, p. 585.
8. Wilson T. Materials a. Methods, 1946, v. 24, №4, p. 885.
9. Allen N.P., “A Summary of the Development of Creep-Resisting Alloys,” Symposium on High Temperature Steels and Alloys for Gas Turbines, The Iron and Steel Institute, London, July 1952. p. 56.
10. Аппен A.A. «Температуроустойчивые неорганические покрытия». Изд. 2­е, пер. и доп. JL: «Химия», 1976, 219 с.
11. Knotek О., Lugcheider Е. Hartlegierungen fur das Pulverspritzen // DVS - Ber. - 1977, №47, p. 51-59.
12. Приданцев M.B. Влияние примесей и редкоземельных металлов на свой­ства сплавов. Металлургиздат, 1962. 341 с.
13. Klastrom D.L., Superalloys 1980, ASM, Metals Park, OH, 1980, p. 131.
14. Coutsouradis D., J. Int. Appl. Cob., Bruxelles, 21, June 1964, p. 1-19.
15. Hopkins S.W., “in Thermal Fatigue of Materials and Components,“ D.A. Spera and D.F. Mowbray (eds.), ASTM STP 612, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1976, p. 157.