

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук Швейкина Владимира Павловича
на диссертационную работу Усольцева Евгения Алексеевича «Разработка технологии получения износостойких изделий из литых твердых сплавов на основе кобальта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство

Диссертационная работа выполнена с целью разработки литейных сплавов для получения шара и седла клапанной пары с повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Структура, объем и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературных источников, включающего 91 наименование. Общий объем диссертационной работы составляет 115 страниц и включает в себя 62 рисунка и 21 таблицу.

Во **введении** обоснована актуальность и степень разработанности темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, представлена научная и практическая значимость, степень достоверности и апробация полученных результатов.

В первой главе приведён обзор литературных источников по теме исследования. Показано, что штанговые глубинные насосы широко применяются на скважинах РФ, а также приведены данные статистики по причинам отказов скважинных насосов. Проведен анализ факторов, влияющих на выбор материала клапанной пары, по результатам которого установлено, что для большинства месторождений РФ наиболее подходящим материалом является кобальтовый стеллит. Рассмотрены кобальтовые стеллиты трёх типов, применяемые за рубежом в оборудовании для нефтегазовой промышленности. Отмечено, что стандарты в РФ содержат всего несколько марок сплавов типа стеллит и работа

по их регламентации в зависимости от условий применения не проводится. Показано, что изготовленные методом порошковой металлургии детали «Шар» и «Седло» клапанной пары обладают остаточной микропористостью, которая приводит к снижению герметичности узла и, как следствие, снижению эффективности работы насосной установки. На основании проведенного анализа сформулирована цель и выделены основные задачи работы.

Вторая глава посвящена подбору химического состава сплава для отливок клапанных пар. За основу в работе был принят хорошо известный сплав Stellite 20(Л), который наиболее часто применяется для получения клапанных пар методом порошковой металлургии. Однако, необходимо было измельчить структуру, добиться повышения износостойкости клапанных пар.

В работе предложено использовать сплав Mk1 с минимальным содержанием легирующих элементов, который по сравнению с базовым сплавом Stellite 20(Л) обладает более мелкой структурой, состоящей из карбидов M_2C_6 , образующих скелетообразные включения, окруженных μ фазой. При подобном расположении хрупкая интерметаллидная μ фаза не образует крупных включений и находится главным образом в виде сложного соединения с карбидом M_6C . Средняя площадь сечения зерна составила 472 мкм^2 , что соответствует 8 баллу зерна и позволило отнести данный сплав к мелкозернистым (балл зерна 7-14). Объемная доля карбидов составила 40%.

Из диапазона химического состава опытного сплава Mk1 было выделено два новых сплава Mk1s и Mk1b, характеристики которых наилучшим образом подходят для отливок седла и шара.

Одним из эффективных способов воздействия на структуру металла является термовременная обработка (ТВО), смысл которой заключается в выдержке расплава при высокой температуре в течение определенного промежутка времени. Применение ТВО к сплаву Mk1 привело к уменьшению средней площади сечения зерна с 472 мкм^2 до 244 мкм^2 . Объемная доля карбидов составила 40%.

Третья глава посвящена сравнительному исследованию износостойкости наиболее распространенных в промышленности стеллитов марки ВЗК (43 HRC), 3В14КБ (60 HRC), Stellite 20(ПМ) (59 HRC) с опытными сплавы Mk1s (53 HRC) и Mk1b (56 HRC) при различных видах износа. Исследовался износ по закрепленному и незакрепленному абразиву.

Результаты исследования показали, что при износе по закрепленному абразиву износостойкость кобальтовых стеллитов главным образом зависит от твердости структурных составляющих сплава и занимаемой ими суммарной площади, но не зависит от их размера и формы. Получивший наибольший износ образец из сплава ВЗК имеет в своём составе преимущественно кобальтовую матрицу, в то время как показавший наибольшую износостойкость сплав 3В14КБ обладает крупными карбидными включениями и разветвленной сетью карбидов и интерметаллидов.

При износе по незакрепленному абразиву, напротив, размер и форма карбидов имеют большое влияние, поскольку от их распределения главным образом зависит степень неравномерности износа мягкой кобальтовой матрицы. Обладающие плотной структурой с округлыми карбидами сплавы Mk1s и Mk1b продемонстрировали лучшие показатели износостойкости, даже по сравнению с порошковым Stellite 20. Это связано с наличием в последнем микропор, служащих концентраторами напряжений и центрами зарождения микротрещин.

Одним из основных преимуществ стеллитовых клапанных пар перед клапанами из карбида вольфрама является устойчивость к сероводородной коррозии. При проведении испытаний в растворе H_2SO_4 с добавлением 1,5 г/л стимулятора наводороживания – тиомочевины было установлено, что коррозионная стойкость литого сплава Mk1 в среде сероводорода превосходит порошковый сплав Stellite 20 на 10%, а сплав ВК8 в 4 раза. Лучшие показатели стойкости сплава Mk1 связаны с отсутствием микропористости на поверхности литой заготовки, что обеспечивает меньшую площадь взаимодействия с агрессивной средой, по сравнению заготовками, полученными методом порошковой металлургии.

Четвертая глава посвящена определению основных теплофизических свойств сплава Мк1 и разработке технологии получения отливок клапанных пар. На основании технологических параметров отливок произведен и обоснован выбор литья по выплавляемым моделям в качестве технологии получения отливок.

Проведенные промышленные испытания доказали пригодность предложенной технологии для массового производства отливок клапанных пар. Результаты испытаний литых клапанных пар показали их способность обеспечивать герметичность при вакуумном давлении 0,65 кгс/см² (~ 0,063 МПа) в течение 10 секунд в соответствии со стандартом API 11AX. При этом они показали лучшие показатели герметичности, по сравнению с порошковыми клапанными парами.

В заключении работы сформулированы выводы и общие научные и практические результаты исследования.

Актуальность диссертационного исследования

Одной из основных причин выхода из строя нефтяных штанговых глубинных насосов (ШГН) является неисправность клапанной пары, вызванная абразивным и коррозионным износом. Возникновение негерметичности клапанной пары приводит к снижению производительности или полному прекращению работы насоса.

На сегодняшний день наиболее востребованы клапанные пары из стеллитов, представляющих собой группу сплавов на основе хрома и кобальта. Клапанные пары из стеллитов производятся методом порошковой металлургии, который, несмотря на достаточно высокие эксплуатационные характеристики получаемых изделий, не избавлен от определенных недостатков, а именно:

- повышенный износ поверхности из-за наличия остаточной пористости, т.к. поры служат концентраторами напряжений и местами зарождения трещин;

- наличие пор снижает коррозионную стойкость за счет увеличения площади взаимодействия поверхности с агрессивной средой;

-сложность техпроцесса получения металлических порошков мелких фракций, приводящая к удорожанию стоимости изготовления продукции.

В связи с этим актуальной задачей является создание способа получения клапанных пар с высокими ударно-абразивными свойствами методом литья.

Научная новизна

Определены значения вязкости разработанных литейных сплавов Mk1s и Mk1b в диапазоне температур от 1280°C до 1700°C, установлена температура гомогенизации, позволяющая снизить размер карбидов и интерметаллидов в литых кобальтовых стеллитах на 20%.

Установлена качественная зависимость износостойкости сплавов на основе кобальтовых стеллитов от размера и формы карбидов. Обнаружено, что наибольший износ при ударно-абразивном изнашивании наблюдается за счет разрушения и выкрашивания интерметаллидных фаз, несмотря на их высокую твердость.

Определены основные теплофизические свойства сплавов Mk1s и Mk1b, необходимые для осуществления компьютерного моделирования процессов заливки и затвердевания. Получены значения плотности в диапазоне температур 20-1400°C, теплопроводности в диапазоне температур 20-1450°C, а также уравнения линейной температурной зависимости теплоемкости при температуре до 1150°C и в диапазоне 1150-1400°C.

Теоретическая и практическая значимость работы

Показана невозможность использования для получения литых заготовок клапанных пар ШГН сплава Stellite 20, применяемого в порошковой металлургии. Определены составы литейных сплавов для отливок шаров и седел клапанных пар ШГН с преобладающим карбидным упрочнением и низким содержанием интерметаллидов, обеспечивающие максимальную износостойкость при работе в условиях высокого абразивного и коррозионного износа.

Разработана технология получения заготовок клапанных пар различных типоразмеров из кобальтовых стеллитов методом литья по выплавляемым моделям, обеспечивающая получение продукции соответствующей требованиям нормативной документации.

Методы исследования и достоверность полученных результатов

Для решения поставленных задач использовались современные методы исследования, в частности метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с помощью микроскопа JSM-6490 LV, рентгеноструктурный анализ на дифрактометре Bruker D8 Advance, метод расчета фазовых диаграмм CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams), определение химического состава на искровом спектрометре СРЕКТРОМАХ. Обработка цифровых изображений производилась с помощью программного обеспечения JMicroVision. Лазерная термообработка поверхности производилась на установке IPG ИРЭ-Полус ЛС-5. Для изучения износостойкости применялись установка типа Бриннеля-Хаурта и испытательная машина СМЦ-2. Для изучения теплофизических свойств применялись стандартизированная методика гидростатического взвешивания, метод дроп-калориметрии, метод стационарного теплового потока, измерение жидкотекучести методом вакуумного всасывания. Моделирование процесса заливки и затвердевания проводилось в программном пакете LVMFlow.

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 печатных работах, 3 из них опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья вошла в международную базу Scopus. Результаты работы обсуждались на 2 конференциях международного и регионального уровня.

Замечания по работе:

1. Исходя из чего было установлено оптимальное содержание μ фазы в сплаве в пределах 10-12 %?

2. Почему в качестве карбидообразующих элементов в сплаве используются только хром и вольфрам, а не молибден, тантал или ниобий, как в некоторых стеллитах?
3. В результатах измерений коррозионной стойкости указан сплав Mk1 без подразделения на отдельные марки. Проводились ли сравнительные испытания коррозионной стойкости сплавов Mk1b и Mk1s для шара и седла соответственно?
4. В автореферате и тексте диссертации содержится незначительное количество опечаток, не снижающих общего впечатления о работе.

Заключение по работе

Диссертационная работа Усольцева Евгения Алексеевича «Разработка технологии получения износостойких изделий из литых твердых сплавов на основе кобальта» выполнена для решения актуальных задач разработки литейных сплавов для получения шара и седла клапанной пары с повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью. Новые научные результаты работы связаны с установлением качественной зависимости износостойкости сплавов на основе кобальтовых стеллитов от размера и формы карбидов, с доказательством факта осуществления износа при ударно-абразивном изнашивании за счет разрушения и выкрашивания интерметаллидных фаз, несмотря на их высокую твердость. Практическая ценность работы связана с разработкой технологии получения заготовок клапанных пар различных типоразмеров из кобальтовых стеллитов методом литья по выплавляемым моделям, положительным результатом апробации материалов диссертационной работы в промышленных условиях. Отмеченные замечания по работе носят частный характер и направлены на развитие дальнейших исследований и повышения эффективности процесса литья.

Таким образом, диссертационная работа Усольцева Е.А. отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а её автор, Усольцев Евгений Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство».

Официальный оппонент:

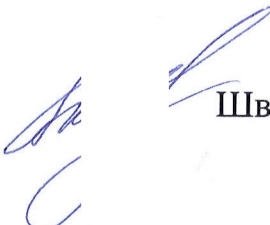
Заместитель директора по научной работе

ФГБУ науки «Институт машиноведения Уральского отделения

Российской академии наук»,

доктор технических наук, доцент

« 7 » декабря 2020 г.



Швейкин Владимир Павлович

620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34

E-mail: shveikin60@mail.ru Тел.: (343) 374-25-94

Степанов В.Н. Муравьев С.В. заверено
Директор ИИМ УрО РАН РМХ
С.В. Муравьев
07.12.2020

