

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ УПОРНЫХ ШАЙБ С СЕРЕБРЯНЫМ ПОКРЫТИЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В БУРОВЫХ ДОЛОТАХ¹

В.Н. Рассудова

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: valentina.rassud@mail.ru

Проводятся сравнительные исследования металлографических характеристик, химического состава и твердости основного материала и серебряного покрытия упорных шайб буровых долот различных производителей.

Ключевые слова: упорные шайбы, буровые долота, покрытия, бронза, микроструктура, износостойкость.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа структуры и свойств упорных шайб различных производителей и оценки их износостойкости в связи с проблемой недостаточной работоспособности ряда шайб буровых долот.

Для проведения сравнительного анализа были отобраны шайбы различных производителей:

- упорная шайба №1, изготовленная в ОАО «Волгабурмаш» с последующим нанесением серебряного покрытия на ФГУП «НИИ Экран»;
- упорная шайба №2, изготовленная в ОАО «Волгабурмаш» с последующим нанесением серебряного покрытия в ОАО ЗС «Экран»;
- упорная шайба №3 фирмы BRUSHWELLMAN, Германия, с серебряным покрытием.

1. Химический анализ основы упорных шайб проводился для установления различия в химическом составе материалов, из которых изготовлены шайбы. Результаты анализа приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Химический анализ материала основы упорных шайб отечественного производства

№ шайбы	Содержание элементов, %								Марка по составу
	Cu	Be	Ni	Co	Fe	Al	Si	Pb	
1	осн	2,0	0,37	<0,01	0,03	0,03	0,09	0,002	Соответствует марке бронзы БрБ2, ГОСТ 18175-78
2	осн	2,0	0,37	<0,01	0,03	0,02	0,08	0,002	
3	осн	1,8-2,1	0,2-0,5	–	≤0,15	≤0,15	≤0,15	≤0,005	Требования для марки бронзы БрБ2, ГОСТ 18175-78

¹ Работа выполнена с использованием научного оборудования центра коллективного пользования СамГТУ «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов».

Валентина Николаевна Рассудова – аспирант.

Таблица 2

Химический анализ материала основы упорной шайбы фирмы BRUSHWELLMAN

Содержание элементов, %										Марка по составу
Cu	Ni	Sn	Mn	Mg	Fe	Pb	Co	Nb	Zn	
осн	15,0	8,0	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Соответствует марке сплава Cu-15Ni-8Sn
осн	14,5-15,5	7,5-8,5	<0,3	<0,15	<0,5	<0,02	–	<0,1	<0,5	Требования для марки сплава Cu-15Ni-8Sn

Марка сплава Cu-15Ni-8Sn (США) подобрана программой Win Alloy (свидетельство №990680 от 20.09.99). Отечественных аналогов данной марки сплава подобрать не представляется возможным. Однако в обоих сплавах основой выступает медь с добавлением различного количества легирующих элементов. Примеси и специально введенные элементы в медь даже в небольшом количестве могут оказывать значительное влияние на механические, физические, химические и технологические свойства. В сплаве Cu-15Ni-8Sn основные легирующие элементы (Ni и Sn), присутствующие в химическом составе основы шайб фирмы BRUSHWELLMAN, растворяются в меди и образуют твердый раствор Cu+Ni+Sn. В большинстве случаев добавки легирующих элементов повышают твердость и прочность, снижают электропроводность и теплопроводность. При одинаковом содержании Ni, Be и Sn наиболее сильное влияние, повышающее твердость и прочность, оказывает Sn, потом Be и Ni. Таким образом, сплав, применяемый для изготовления шайб долот фирмы BRUSHWELLMAN, представляет собой медь с легирующими элементами – Ni и Sn. Данный сплав должен иметь более низкие физические свойства по сравнению со сплавом БрБ2 и быть более дешевым. Однако на практике подшипники скольжения, изготовленные из сплава Cu-15Ni-8Sn, имеют износостойкость, ничем не уступающую деталям, изготовленным из БрБ2.

2. Химический анализ покрытия упорных шайб проводился качественный в связи с отсутствием необходимого оборудования для установления материала покрытий малой толщины. Для проведения сравнительного анализа покрытий из каждой шайбы было подготовлено по два образца: образец №1 – с покрытием, образец №2 – без покрытия. Образцы были растворены в азотной кислоте и на спектрометре ICAP 6500 были сняты полные спектры проб. Результаты качественного анализа шайб представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Результаты качественного анализа упорной шайбы №3

№ образца	Cu	Ni	Sn	Fe	Pb	Co	Nb	Zn	Mn	Ag	Si	Ca	Sb	Mg
1	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+	–	+
2	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	+

Таблица 4

Результаты качественного анализа упорных шайб №1, 2

№ образца	Cu	Ni	Be	Fe	Pb	Co	Nb	Zn	Mn	Ag	Si	Ca	Sb	Mg
1	+	+	+	+	+	+	–	–	–	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–	+

Путем вычитания спектра образца с покрытием из спектра образца без покрытия был получен остаточный спектр, который является спектром покрытия (табл. 5, 6).

Таблица 5

Результаты качественного анализа покрытия упорной шайбы №3

Ag	Si	Fe	Ca	Sb	Mg
+	+	+	+	–	–

Из табл. 5 видно, что основой покрытия шайбы фирмы BRUSHWELLMAN является серебро с примесями кремния, железа, кальция.

Таблица 6

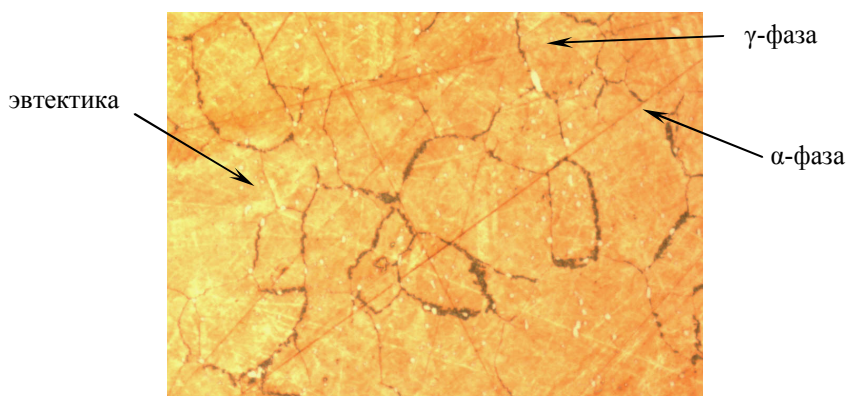
Результаты качественного анализа покрытия шайб №1 и №2

Ag	Si	Fe	Ca	Sb	Mg
+	+	+	+	+	+

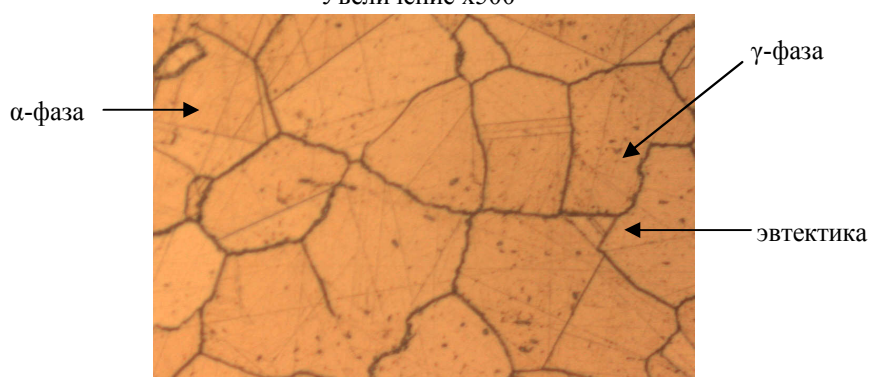
Табл. 5 показывает, что основой покрытия шайб отечественного производства также является серебро, но с большим количеством примесей: кремния, кальция, сурьмы, железа, магния. Таким образом, серебряное покрытие шайб отечественного производства отличается от покрытия шайбы фирмы BRUSHWELLMAN наличием сурьмы и магния.

3. Металлографический анализ основы упорных шайб. Для проведения металлографического исследования из упорной шайбы после испытания на износостойкость вырезаны образцы толщиной 3-5 мм в продольном сечении относительно оси шайбы.

Исследования проводились на микроскопе Olympus GX51 с увеличением 500 крат при помощи анализатора изображения после травления образцов №1 и №2 в растворе H_2O_2 и NH_4OH ; образца №3 в растворе CH_3COOH и HNO_3 . Величина зерна определялся по ГОСТ 21073.0-75 и ГОСТ 21073.1-75. Из рис. 1 видно, что микроструктура основы шайбы №1 и №2 аналогична и состоит из зерен α -фазы (Cu) и γ -фазы (CuBe); по границам зерен α -фазы (Cu) расположена эвтектика; величина зерна α -фазы соответствует 6-7 баллу. Из рис. 2 видно, что микроструктура основы шайбы №3 состоит из зерен α -фазы (твердый раствор Cu+Ni+Sn) и фазы, имеющей сходную природу с γ -фазой в сплаве Cu-Be, по границам зерен α -фазы расположена эвтектика; величина зерна α -фазы соответствует 5-7 баллу. Таким образом, микроструктура основы всех шайб соответствует микроструктуре после термообработки – закалки и старения.



Р и с . 1 . Микроструктура основы шайбы №1
Увеличение x500



Р и с . 2 . Микроструктура основы шайбы №3.
Увеличение x500

4. Металлографический анализ покрытия упорных шайб. Металлографический анализ покрытия проводился после испытаний шайб на износостойкость. На шайбе №1 обнаружены участки износа и участки отслоения серебряного покрытия, между основой и серебряным покрытием шайбы подслоя не обнаружен. На шайбе №2 обнаружен участок износа серебряного покрытия, отслоения серебряного покрытия не наблюдается, между основой и серебряным покрытием шайбы обнаружен подслой толщиной 1,0-1,5 мкм. На шайбе №3 обнаружен износ серебряного покрытия и его расслоение, отслоения серебряного покрытия не наблюдается, между основой и серебряным покрытием шайбы подслоя не обнаружен.

5. Исследование твердости основы и покрытия упорных шайб. Определение твердости основы производилось на твердомере «Роквелл ТК-2М», определение микротвердости покрытия производилось на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 гс. Результаты исследования твердости сведены в табл. 7.

Значения твердости основы и микротвердости покрытия соответствуют требованиям чертежа. Микротвердость серебряного покрытия упорной шайбы №2 значительно выше микротвердости шайб №1 и №3, что должно оказывать положительное влияние на износостойкость покрытия. Но следует отметить, что износостойкость зависит не только от микротвердости, а также и от других факторов.

Значения твердости упорных шайб различных производителей

№ шайбы	Твердость основы, HRC	Микротвердость серебряного покрытия, HV
1	43,0	60
2	41,5	105
3	43,5	61
Требования по чертежу	38,0-45,0	≥ 60

6. Результаты испытания упорных шайб на износостойкость. Испытание упорных шайб на износостойкость проводилось на специализированном стенде СЭО-1. В качестве пар трения использовались упорные шайбы и неподвижные кольца, наплавленные материалом Stellite-190.

Режимы проведения испытаний:

- рабочая осевая нагрузка, тс – 0...7,5;
- частота вращения, об/мин – 160;
- расход промывочной жидкости (тех.вода), л/сек – 2;
- вид смазки – JBL-713R и Геотерм-900.

Началу проведения испытаний предшествовала приработка пар трения при нагрузке 500 кг в течение 10 мин. В процессе испытания повышение нагрузки проводилось ступенчато с шагом 500 кг и временем работы в каждом режиме 10 мин. Переход с одной нагрузки на другую осуществлялся ступенчато в течение 5 мин с шагом 250 кг. Причиной прекращения испытаний явилось возрастание крутящего момента более 10 кгс·м. При проведении испытаний использовались обе стороны упорной шайбы. Площадь рабочей поверхности пары трения составляла 5,12 см². Было проведено 10 испытаний. Критерием нормальной работы подшипников скольжения являлись стабильные показания крутящего момента и температуры. Причиной прекращения испытаний служили резкие качки или возрастания показателей. По результатам проведенных испытаний рассчитаны значения удельных нагрузок схватывания, коэффициенты трения и температура, предшествующая моменту схватывания.

При проведении испытаний упорной шайбы №1 со смазкой «Геотерм-900» средняя удельная нагрузка схватывания составляла 748 кг/см², а коэффициент трения – 0,12. Средняя температура, предшествующая моменту схватывания, составляла 108 °С.

При проведении испытаний упорной шайбы №1 со смазкой JBL-713R средняя удельная нагрузка схватывания составляла 628 кг/см², а коэффициент трения – 0,13. Средняя температура, предшествующая моменту схватывания, составляла 87 °С.

При проведении испытаний упорной шайбы №2 со смазкой JBL-713R удельная нагрузка схватывания составляла 1367 кг/см², а коэффициент трения – 0,07. Средняя температура, предшествующая моменту схватывания, составляла 100 °С.

При проведении испытаний упорной шайбы №3 со смазкой JBL-713R средняя удельная нагрузка схватывания стороны №1 составляла 967 кг/см², а коэффициент трения – 0,12. Средняя температура, предшествующая моменту схватывания, составляла 105 °С. Испытания прекращены при удельной нагрузке схватывания 1270 кг/см², коэффициент трения – 0,05. Средняя температура, предшествующая моменту схватывания, составляла 105 °С.

На основе всех проведенных исследований можно сделать следующие общие выводы:

1. Наилучшие показатели имели упорные шайбы №2 и №3. У шайбы №1 наиболее низкие показатели работоспособности. Кроме того, при испытании упорной шайбы №1 с разными смазками было выявлено, что пары трения со смазкой «Геотерм-900» имеют на 16% выше показатели по удельной нагрузке схватывания и на 1% ниже коэффициент трения в сравнении с образцами, смазанными JBL-713R.

2. Серебряное покрытие и материал основы – бронза БрБ2 на шайбе №1 (изготовленной в ОАО «Волгабурмаш» с последующим нанесением серебряного покрытия на ФГУП «НИИ Экран») по всем параметрам соответствуют требованиям технической документации, однако между серебряным покрытием и основой обнаружено отсутствие подслоя, что, вероятнее всего, послужило причиной отслоения и повышенного износа серебряного покрытия при испытании шайбы.

3. Серебряное покрытие и материал основы – бронза БрБ2 на шайбе №2 полностью соответствуют требованиям технической документации. После проведения испытаний на износостойкость шайбы №2 (изготовленной на ОАО «Волгабурмаш» с последующим нанесением серебряного покрытия на ОАО ЗС «Экран») наблюдается износ покрытия, отслоения покрытия не обнаружено.

4. Упорная шайба №3 фирмы BRUSHWELLMAN из Германии изготовлена из марки сплава Cu-15Ni-8Sn. Антифрикционным покрытием шайбы является серебро с примесями кремния, железа и кальция. Подслоя между основой и покрытием не обнаружен, отслоения покрытия не наблюдается.

5. Из проведенных исследований можно заключить, что при сходных значениях твердости, химического состава и микроструктуры основы наибольшей износостойкостью обладают те упорные шайбы отечественного производства, на которых имеется подслоя между серебряным покрытием и основой-бронзой и более высокие значения микротвердости покрытия. Однако показатели износостойкости упорной шайбы производства Германии не уступают показателям износостойкости шайб отечественного производства при отсутствии подслоя между основой и покрытием при довольно низких показателях микротвердости. Таким образом, стоит обратить особое внимание на разницу химического состава основы и покрытия упорных шайб отечественного и импортного производства, которая, по всей вероятности, и оказывает наиболее существенное влияние на работоспособность упорных шайб.

Статья поступила в редакцию 5 июля 2011 г.

RESEARCHING OF SILVER COVERED THRUST COLLAR'S STRUCTURE AND PROPERTIES FOR DRILL BITS

V.N. Rassudova

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Making investigations of metallographic characteristics, chemistry, hardness of basic material and silver cover of drill bit's thrust collar.

Keywords: thrust collars, drill bits, covers, bronze, microstructure, wear resistance.

Valentina N. Rassudova – Postgraduate student.