

BLAGODARNAYA O.V. Accelerated test bed qualities sewing needle

Head methodology accelerated they are trying to qualities sewing needle below criterions resistance against wear and criteria resistance against wear and tension bend but also device pro accelerated test bed. Test bed 10 sewing needle in the same conditions below and criterion wear against wear at a furnished take up no more 15 spent but below and criterion tension bend only 2–3 minute. Accelerated methodologists test bed sewing needle and test bed device eats recommendation ventures-producers sewing needle and sewing factory pro reviews and comparisons qualities sewing needle different producers.

УДК 621.891.67

Голуб М.В., Голуб В.М.**РЕАЛИЗАЦИЯ ЭФФЕКТА БЕЗЫЗНОСТИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ МАШИН**

Введение. В отраслях промышленности большую группу составляют транспортные, строительные, технологические машины, оборудование и механизмы у которых узлы трения работают в тяжелых условиях эксплуатации, когда смазкой трущихся деталей являются рабочие среды, многие из которых содержат механические примеси или являются химически активными. Выполнение таких узлов трения с герметичной масляной ванной практически невозможно или является сложным и дорогостоящим инженерным решением. Основной причиной отказов таких механизмов является преждевременный износ узлов трения. К ним, например, относятся осевые и радиальные опоры трансмиссий, секционных центробежных насосов, пары трения торцовых уплотнений валов различных типов гидромашин, узлы трения строительных, дорожных и транспортных машин и др.

Для повышения износостойкости таких узлов трения термической или других технологических методов обработки материалов пар трения недостаточно. Необходимы новые материалы, которые способны обеспечить высокую износостойкость, долговечность и надежность узла трения, находящегося в рабочей среде.

Наибольший интерес представляют композиционные материалы, что объясняется возможностью широкого регулирования их свойств, путем создания композиций, в которых собраны в одно целое лучшие качества составляющих их компонентов. Пара трения из таких материалов сочетает в себе одновременно антифрикционные свойства, высокую прочность и износостойкость.

Антифрикционность пары трения согласно молекулярно-механической теории трения [1] обеспечивается положительным градиентом механических свойств по глубине разделительной пленки смазки в сочетании с упругим деформированием материала, приводящим к минимальной работе трения.

Если смазочным материалом служит рабочая среда, не обладающая хорошей смазывающей способностью, то необходимо обеспечить положительный градиент механических свойств в самом материале пары трения. Последнее возможно при таком составе материала, который в процессе трения обеспечивает на контактной поверхности образование защитной пленки из структурных составляющих материала, в сочетании со смазывающей рабочей средой. Наилучшие результаты в этом отношении показывают антифрикционные материалы, структура которых имеет каркас из твердых зерен, распределенных в пластичной основе. При этом последняя должна обладать избирательной растворимостью (эффект безызности) при воздействии смазочного материала (рабочей среды) и температуры в контакте, а твердые структурные составляющие – твердостью, превосходящей твердость абразивных частиц, которые попадают на контакт пары трения. Избирательному растворению в активных средах подвержены медьсодержащие материалы, в результате чего контактные поверхности обогащаются медью [2].

1. Технологический процесс получения композиционных материалов и покрытий. Технологический процесс изготовления композиционных материалов на основе карбида вольфрама, меди и никеля предусматривает приготовление шихты, ее прессование, спекание и пропитку сплавом, который цементирует твердые части-

цы карбида вольфрама и прочно соединяет получаемый композиционный материал с материалом стальной заготовки детали.

Для изготовления шихты применяют твердосплавные тонкодисперсные порошковые (до 10 мкм) смеси карбида вольфрама с кобальтом (ВК-6 или ВК-8) и литой зерновой карбид вольфрама – релит зернистостью 0,15...0,25 мм. Исходные компоненты смешивают. Смешивание может быть сухое и мокрое. В последнем случае в смесь добавляют спирт, бензин, глицерин и т.п. Для улучшения формоустойчивости шихты при прессовании производят грануляцию – образование временно устойчивых комочков. При грануляции в шихту вводят специальные склеивающие или пластифицирующие присадки, которые смазывают поверхность отдельных зерен, облегчая их взаимное скольжение при прессовании, и сохраняют форму прессовки.

Выбор состава пропиточного сплава представляет собой наибольшую трудность при создании композиционных материалов, отвечающих заданным свойствам. Сплав должен смачивать поверхность пористого каркаса спрессованного брикета и материал заготовки, свободно втекать в капиллярные зазоры при нагреве, иметь температуру плавления ниже температуры плавления карбида вольфрама и материала заготовки детали (не более 1250 °С), иметь достаточную устойчивость к химически активным средам и обладать склонностью к избирательному переносу при трении и прочном адсорбировании смазки.

Пропиточный материал готовят путем сплавления исходных компонентов, обладающих одним или несколькими указанными свойствами: это медь, никель, марганец, фосфор, бор, кремний и др. Всю совокупность возможных пропиточных сплавов можно разбить на группы в зависимости от числа компонентов на одно-, двух-, трех-, четырех- и пяти компонентные [3].

Однокомпонентным пропиточным сплавом является медь.

Двухкомпонентные сплавы: это системы $Pu-Ni$, $Pu-Mn$ и др. Более приемлемой является система $Pu-Ni$ с возможным центром 90% $Pu - 10\% Ni$.

Трехкомпонентные сплавы: это системы $Pu-Ni-Mn$, $Pu-Ni-B$, $Pu-Ni-Pg$ и др.

Четырехкомпонентные сплавы: это $Cu-Ni-B-Si$, $Pu-Ni-Mn-Si$, $Pu-Mn-B-Si$ и др.

Для работы композиционного материала в слабоагрессивной среде, такой как нефть, наиболее предпочтительными являются пропиточные сплавы системы $Pu-Ni$, как более простой, обладающей хорошими антифрикционными и теплопроводными свойствами, с температурой плавления 1050 – 1250 °С.

Рациональный выбор пропиточного сплава, как по составу, так и по количеству содержащихся в нем компонентов позволяет получить металлокерамический материал с необходимыми свойствами.

Технологические приемы металлокерамического производства позволяют изготавливать материалы из металлических компонентов, которые не сплавляются, а также совмещать в одном материале металлы с компонентами неметаллической природы. При этом основными факторами, определяющими условия приготовления и свойства металлокерамического материала, являются состав исход-

Голуб Михаил Владимирович, д.т.н., профессор кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Голуб Владимир Михайлович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267.

ных компонентов при их сочетании в высокодисперсных гетерогенных системах, природа и степень взаимодействия компонентов, поверхностная энергия на межфазных границах раздела, адсорбция и другие капиллярные эффекты. При изготовлении металлокерамического материала должны быть созданы условия, обеспечивающие образование прочной связки на межфазных границах. Для того, чтобы возникло сцепление, необходимо создать тесный контакт на границах фаз, который при широко используемых технологических операциях металлокерамического производства, таких как спекание в присутствии жидкой фазы и пропитка пористых тел жидкими металлическими сплавами, обеспечивается смачиванием. Проблема, которая решается при разработке и исследовании физико-химических основ формирования металлокерамического тела, обеспечивающего избирательный перенос при трении, состоит в нахождении закономерностей и создании теории поверхностных, капиллярных и контактных явлений в паре трения.

Поверхностные явления играют важную роль на всех стадиях металлокерамического производства – при приготовлении порошков, формировании заготовок, спекании и формировании структуры и свойств металлокерамических материалов. Существенна роль поверхностных явлений, проявляющихся в процессах жидкофазного спекания и пропитки пористых тел жидкими металлами и сплавами, что имеет место при изготовлении износостойкого контактного пояса пары трения торцового уплотнения.

Формирование металлокерамического материала при спекании происходит за счет пропитки (течения) жидкого расплава по капиллярам, размеры и объемы которых определяются пористостью спрессованного брикета и формой твердых зерен.

Зная пористость спрессованного слоя (брикета), можно определить объем пропиточного сплава, необходимый для пропитки и спекания композиционного материала. При этом следует учесть, что прессование шихты из карбидов вольфрама осуществляется в присутствии пластификатора, объем которого в шихте составляет 5 – 10%. Таким образом, минимальный объем пропиточного сплава можно определить по пористости спрессованного брикета.

Объем пропиточного сплава играет важную роль в процессе спекания композиционного материала и влияет на качество его изготовления. С изменением содержания жидкой фазы сплава изменяется и структура композиционного материала. При большом содержании жидкой фазы, когда в пропиточном расплаве растворяются твердые зерна, тогда зерна разобщены и вкраплены в металлическую матрицу. При меньшем содержании жидкой фазы наблюдается срастание отдельных зерен карбидов и их упрочнение.

Давление при прессовании способствует тесному контакту частиц материала, что играет положительную роль при спекании. Однако повышенное давление прессования может привести к образованию в материале замкнутых пор, затрудняя этим процесс пропитки. Исследования по определению зависимости пористости образцов композиционного материала от нагрузки прессования шихты показывают, что на пористость образцов практически не влияет нагрузка прессования более 300 МПа (рис. 1).

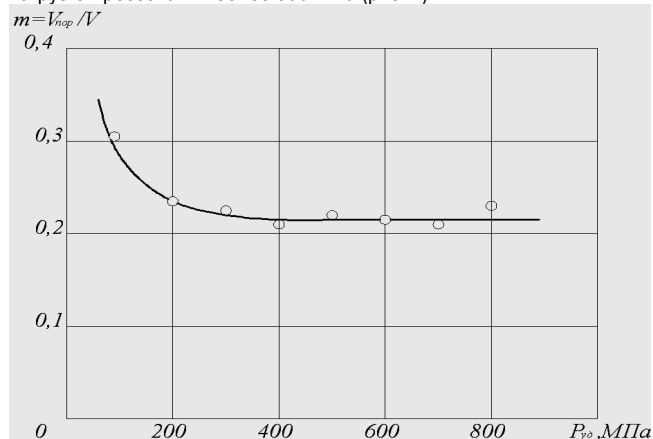


Рис. 1. Зависимость пористости от удельного давления прессования

Известно, что на качество спекания материала влияет среда. Она должна служить защитой спекаемого изделия от действия кислорода и водяных паров. Очищенный инертный газ снижает парциальное давление кислорода и водяных паров, предохраняя от окисления материал, но не разрушает окисных пленок, которые могут быть на частицах до начала спекания. Водород восстанавливает окисные пленки, благодаря чему ускоряется и улучшается спекание, так как поверхность частиц освобождается от окисных пленок и становится шероховатой. Вакуум является, с одной стороны, пассивной защитой, поскольку не восстанавливает окисных пленок, с другой – активной защитой, так как содействует испарению вещества пленок и удалению адсорбированных газов [4].

Температуру спекания и пропитки принимают выше температуры плавления пропиточного материала на 50–100 °С. Время пропитки после плавления пропиточного сплава в среде водорода составляет 20–30 минут.

2. Выбор материала заготовок деталей узлов трения. При выборе материала основы для изготовления деталей узлов трения с износостойкой контактной поверхностью необходимо учитывать требования процесса спекания и пропитки композиционного материала. При изготовлении таких деталей соединяются совершенно разнородные материалы, как по химическому составу, так и по физико-механическим свойствам.

Стали, применяемые при изготовлении деталей узлов трения с контактной поверхностью из композиционного материала, должны хорошо смачиваться пропиточным материалом, не вызывать в наплавленном композиционном материале остаточных напряжений, отвечать условиям эксплуатации оборудования. Хорошей смачиваемостью медью и медно-никелевыми сплавами обладают конструкционные стали 20, 30, 40, 45, хромистые и хромоникелевые стали 20Х, 40Х, 40ХН, нержавеющей стали аустенитного класса 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т и др. Хуже смачиваются стали с повышенным содержанием хрома (более 2%) – стали типа 12Х13, 20Х13, 30Х13, 15Х28 и 20Х17Н2.

Остаточные напряжения в композиционном материале являются скрытым дефектом и не всегда проявляются в процессе пропитки и спекания. Иногда остаточные напряжения вызывают появление трещин во время хранения. Остаточные напряжения в материале после его спекания вызываются различием коэффициентов линейного расширения стали и композиционного материала и структурных превращений стали после нагревания и охлаждения. Значительная разница коэффициентов линейного расширения приводит к появлению трещин в композиционном материале.

При спекании и пропитке заготовка нагревается до 1250 °С. С охлаждением ее при температуре 700–900 °С в сталях происходят структурные превращения аустенита в перлит, феррит, мартенсит. Последний по сравнению с другими структурными составляющими стали и, особенно, с аустенитом, имеет небольшой удельный объем. Изменение объема структурных составляющих стали приводит также к появлению остаточных напряжений в композиционном материале, поскольку он жестко соединен со сталью. Наибольшие структурные напряжения возникают у сталей мартенситного класса и наименьшие – у сталей аустенитного класса.

Основные размеры заготовки определяются размерами готовой детали с учетом припуска на механическую обработку. Канавка в заготовке под напрессовку шихты выполняется по размерам контактного пояса и глубиной с учетом толщины рабочего слоя композиционного материала.

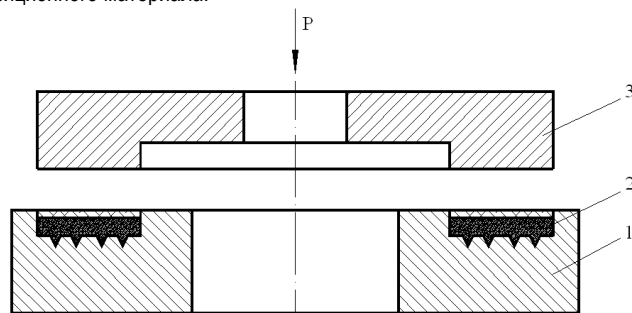


Рис. 2. Схема прессовки шихты в кольцевом пазу заготовки: 1 – заготовка; 2 – шихта; 3 – пуансон

Для запрессовки шихты в канавку изготавливают пуансон (рис. 2). Сопряжение поверхности заготовки и пуансона выполняют по посадкам *H8/f9*. Для предотвращения внедрения зерен карбида вольфрама в торцовую поверхность пуансона при напрессовке пуансон должен иметь твердость не ниже HRP 45. Боковые стенки кольцевой канавки для предотвращения разрыва под действием больших давлений, развиваемых при прессовании, должны иметь достаточную толщину.

3. Рекомендации по механической обработке контактных колец с износостойким рабочим слоем. Процесс механической обработки контактных поверхностей колец пар трения состоит из токарной обработки, шлифования и доводки. Металлокерамический композиционный материал, имеющий после спекания и пропитки высокую твердость (70 – 80 HRA), можно обработать шлифованием кругами из карбида кремния и алмазными кругами. Круги из карбида кремния могут быть зелеными КЗ или черными КЧ. Зеленый карбид кремния имеет меньше вредных примесей, чем черный, что увеличивает его абразивную способность. При шлифовании твердосплавной поверхности кругами из КЧ получается больше прижогов и трещин, чем при обработке кругами КЗ. Поэтому рекомендуется для обработки контактной поверхности применять круги из КЗ. Для алмазного шлифования следует применять круги зернистостью 80/63; 160/80; 125/100; 160/125 по ГОСТ 3467-80 на бакелитовой или керамической основе, твердостью М (М1 – М3) или СМ (СМ1 – СМ2) по ГОСТ 18118-79 и ГОСТ 19202-80.

Шлифование контактных поверхностей можно производить на плоско- и круглошлифовальных станках. Использование для обработки контактных поверхностей алмазных кругов можно добиться значительно лучшего качества обработки и снизить трудоемкость производства.

Для получения чистоты Ra 0,25...0,5 мкм при шлифовании контактной поверхности колец пар трения рекомендуется применять алмазные круги зернистостью 80/63 с концентрацией алмазов 50–100% на органической связке. Значительное сокращение времени и повышение качества обработки достигается применением алмазных чашечных кругов типа 12А2 по ГОСТ 16175-81 на внутришлифовальных станках.

Доводка контактных поверхностей колец необходима для создания нормальной приработки и обеспечения контакта герметичности пары трения. Доводкой получают чистоту поверхности Ra 0,16...0,08 мкм и незначительное отклонение от плоскостности не более 0,09...0,06 мкм.

Доводка контактных поверхностей колец пар трения осуществляется механическим способом или вручную. При ручной доводке кольцо контактной поверхностью прижимают к плите и круговыми движениями перемещают кольцо так, чтобы обеспечить ее равномерный износ.

Периодически производят тщательное удаление отработанной и нанесение свежей абразивной смеси. Время доводки определяется достижением требуемой точности и чистоты контактной поверхности кольца. Для механической доводки применяют плоскопритирочный станок типа С1-00-00ТТ или С15М, плоскодоводочный СППД-2 или модели 3816, 3864, 386Л и т.д. В качестве абразивной смеси при доводке контактных поверхностей из металлокерамического материала применяют в основном алмазные пасты. Однако в отсутствии последних доводку можно производить с применением тонкодисперсных порошков карбида кремния, эльбора и других твердых материалов.

4. Экспериментальные исследования композиционных материалов и покрытий. Открытие явления избирательного переноса [1] в настоящее время определило одно из основных направлений в исследованиях, посвященных изучению проблем повышения износостойкости деталей машин. Многократно подтвержденное экспериментально явление избирательного переноса привлекает внимание все большего числа специалистов.

Проведенными исследованиями [3] установлено, что режим избирательного переноса при трении проявляется не только в среде глицерина. Его проявление возможно в любых смазываемых и рабочих средах при определенном сочетании материалов пар трения. Исследовано влияние нефти и нефтепродуктов на режим избирательного переноса пары трения колец торцовых уплотнений. Выпол-

нены испытания пар трения: композиционный материал ТМ-1 по композиционному материалу ТМ1 и по бронзе ОЦС-5-5-5.

Перед началом испытаний с рабочих поверхностей колец трения были получены дифрактограммы на УРС-50ИМ и ДРОН-0,5. Эти дифрактограммы в дальнейшем использовались в качестве реперных при проведении сравнительных рентгенографических исследований.

Испытаниями установлено, что при работе пар трения ТМ-1 по ТМ-1 и ТМ-1 по бронзе ОЦС-5-5-5 в дизельном топливе и нефти имеет место режим избирательного переноса, характеризующийся сравнительно низким коэффициентом трения в довольно широком диапазоне изменения удельного нагружения контактных пар. Режим избирательного переноса фиксировался по высокой нагрузочной способности пары трения и отсутствию износа, а также по визуально наблюдаемой на рабочей поверхности колец пар трения пленки восстановленной меди.

После окончания испытаний из колец вырезались образцы и их рабочие поверхности подвергались рентгенографическому анализу на тех же установках, что и образцы в исходном состоянии. Дифрактограммы получались в идентичных условиях с реперными.

При сравнительных рентгеновских исследованиях интерференционной картины основными измеряемыми величинами были параметр кристаллической решетки, ширина интерференционной линии (311) и расстояние между максимумами пиков (111) – (200) и (220) – (311).

Результаты этих измерений приведены в таблице 1, где представлены усредненные по пяти дифрактограммам данные.

Таблица 1

Среда	Параметр кристаллической решетки, А°	Полуширина (311) в 10 ⁻³ рад	Расстояние между максимумами пиков (220)-(311), (2θ°)
Исходное состояние	3,653	23,7	15,26
Бензин	3,647	22,8	15,36
Дизтопливо "Л"	3,639	19,3	15,50
Нефть	3,640	17,7	15,60

Таким образом, в тонких поверхностных контактных слоях колец после испытаний, за счет избирательного (коррозионного) растворения менее коррозионноустойчивых, чем медь элементов (в данном случае олово, свинец, и цинк), параметр кристаллической решетки уменьшился, т.е. произошло обеднение матрицы легирующими элементами.

Снижение параметра кристаллической решетки наиболее значительно в случае работы пар трения в нефти и дизельном топливе. Уменьшение полуширины интерференционной линии (311) для меди, связанное с увеличением размеров блоков когерентного рассеяния рентгеновских лучей, имеет место и для бронзы, однако, как показал анализ дифрактограмм, на интерференционную картинку влияют еще дефекты упаковки.

Поскольку влияние увеличения размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) и дефектов упаковки на изменение ширины интерференционной линии противоположно, истинное увеличение размеров ОКР больше чем это вытекает из представленных в таблице 1 данных. Наблюдаемое закономерное смещение пиков интерференционных линий за счет влияния дефектов упаковки может быть рассмотрено как еще одно доказательство обеднения твердого раствора легирующими элементами, поскольку энергия образования дефектов упаковки в медных сплавах с увеличением концентрации легирующих элементов снижается. Видно, что в ряду "исходное состояние – работа в бензине – в дизельном топливе – в нефти" увеличивается расстояние между максимумами пиков. Это увеличение связано с уменьшением концентрации дефектов упаковки, а следовательно, с уменьшением концентрации легирующих элементов в твердом растворе, то есть имеется корреляция между степенью обеднения твердого раствора легирующими элементами и наступлением наиболее благоприятных условий для установки режима избирательного переноса.

Таким образом, представленные экспериментальные данные могут быть рассмотрены как доказательство установления процесса избира-

тельного переноса при работе пар трения твердый многокомпонентный сплав ТМ-1 по бронзе ОЦС-5-5-5 в дизельном топливе и нефти.

Определены сравнительные триботехнические характеристики материалов пар трения. Исследования показали, что при работе в нефти критические величины удельного нагружения на контакт пар трения: композиционный материал ТМ-1 по композиционному материалу ТМ-1, сталь 16ХГГА по бронзе ОЦС-5-5-5 и композиционный материал ТМ-1 по композиционному материалу ТМ-1 значительно выше, чем при работе пар трения в воде и нефтепродуктах. Коэффициенты трения имеют сравнительно большие значения при работе в нефти (рис. 3). Это можно объяснить большим сдвиговым сопротивлением и маслянистостью нефти, более высокой ее вязкостью (0,1–0,5 стокс) по сравнению с указанными выше средами.

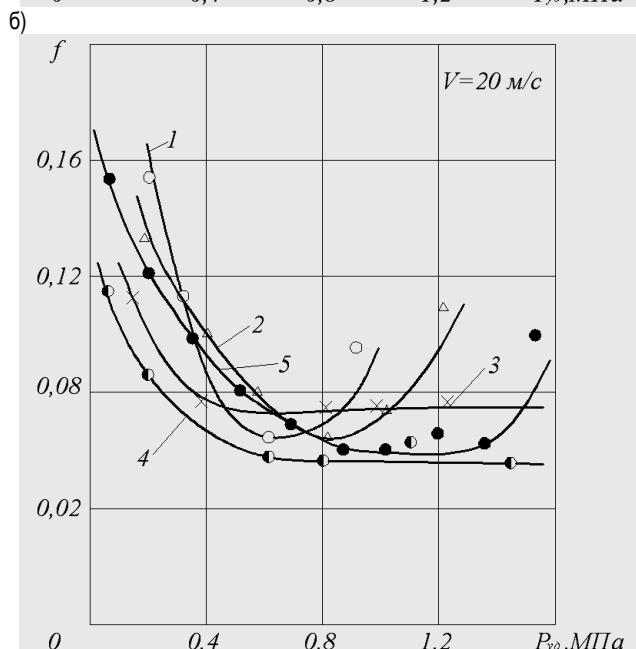
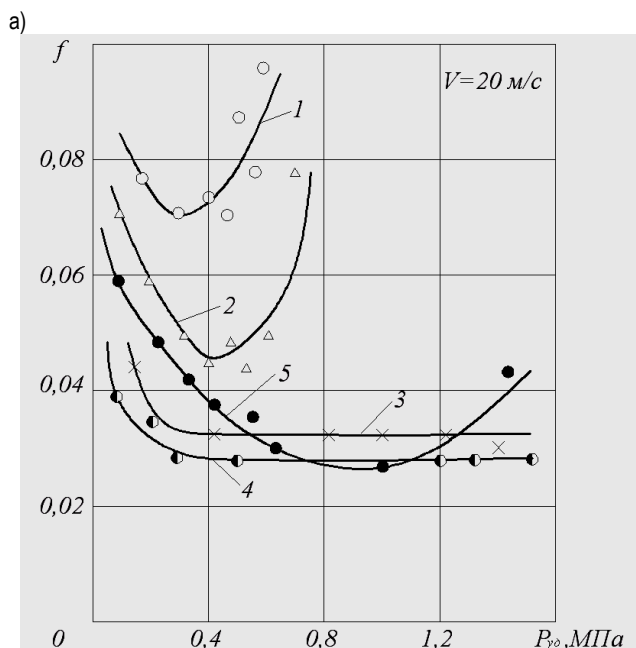


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от удельного нагружения контакта в воде (а) и нефти (б) для пар трения: 1 – сталь 16ХГГА с цементированной контактной поверхностью по бронзе ОЦС-5-5-5; 2 – композиционный материал ТМ-1 по бронзе ОЦС-5-5-5; 3 – композиционный материал ТМ-1 по графиту АГ-1500-Б83; 4 – сталь 16ХГГА с цементированной контактной поверхностью по графиту АГ-1500-Б83; 5 – композиционный материал ТМ-1 по композиционному материалу ТМ-1

При работе пары трения композиционный материал ТМ-1 по бронзе ОЦС-5-5-5 отмечается явление избирательного переноса меди на контактных поверхностях. Нагрузочная способность этой пары в два раза выше, чем нагрузочная способность пары сталь по бронзе ОЦС-5-5-5 (рис. 3). Однако для работы в промышленных условиях такую пару не следует применять по причине наличия в перекачиваемых нефтях механических примесей, которые, внедряясь в более мягкий материал, приводят к абразивному износу и выходу из строя пары трения. По этой причине не следует применять пары трения в сочетании с графитом.

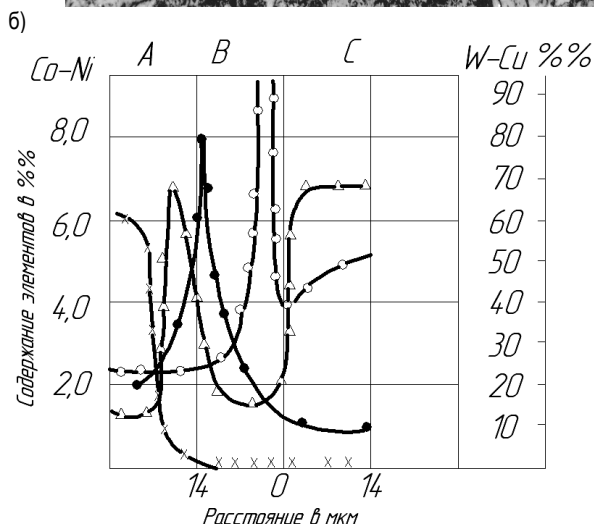
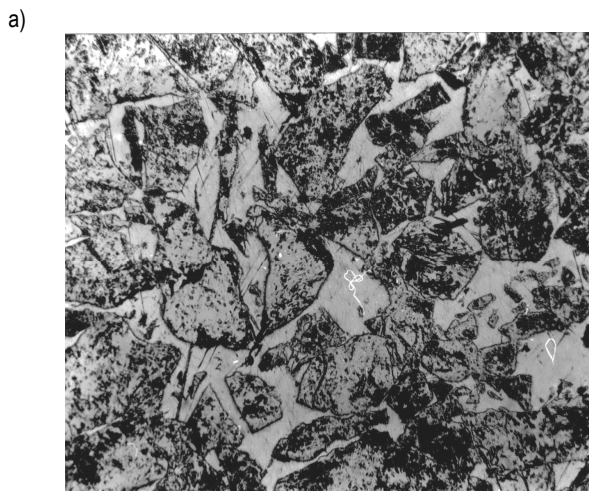


Рис. 4. Структура композиционного материала $\times 70$ (а) и распределение элементов в диффузионных слоях композита $\times - W$; $\Delta - Cu$; $\circ - Co$; $\bullet - Ni$ (б)

Наиболее приемлемой в этих случаях является пара композиционный материал ТМ-1 по композиционному материалу ТМ-1. Нагрузочная способность этой пары при скорости скольжения 20 м/с достигает 1,2 МПа при коэффициенте трения 0,06 (рис. 3).

Такая высокая нагрузочная способность пары и износостойкость объясняется высокой твердостью структурной составляющей композиционного материала и пластичностью основы, цементирующей твердые зерна.

Антифрикционные свойства нанесенного на стальное кольцо композиционного слоя, кроме прочих факторов, зависят от наличия химических связей между входящими в композит компонентами. Установлено, что композиционный материал имеет сложную многофазную структуру (рис. 4). Зерна карбида вольфрама обрамлены прослойками и прожилками матричного раствора.

Размер и объем этих прослоек зависит от зернистости принятых порошков карбида вольфрама и пористости спрессованного в стальной заготовке брикета. Микрорентгеноспектральный анализ показал,

что в композиционном слое имеются диффузионные зоны довольно сложного строения. В сталь на глубину 5...20 мкм диффундирует кобальт и никель. Медь и вольфрам в сталь не диффундирует. На рис. 4 б показано распределение элементов в диффузионных слоях композита. Выделяются три характерные зоны: **зона А** контакта зерен карбида вольфрама и матричной прослойки, **зона В**, представляющая матричную медно-никеле-кобальтовую прослойку и **зона С** контакта композита со сталью.

В этих зонах отмечаются образования сложных карбидов типа θ – $\text{Co}_2\text{W}_4\text{P}_3$ и η – $\text{Co}_3\text{W}_3\text{P}$.

Отмечается равномерное рассеивание по всему объему композита тонкодисперсной меди, что придает композиту высокие антифрикционные характеристики.

Наличие особых атомарных связей меди с карбидом вольфрама, а также изменение энергетической структуры входящих в композит элементов, способствует проявлению избирательного переноса при работе такой пары трения в узлах трения гидромашин.

Сравнительные испытания колец пар трения в масле МС–20 показали высокие антифрикционные и износостойкие свойства композиционного материала. Одноименная пара трения из композиционного материала работает практически в безыносном режиме с низким коэффициентом трения. Применение таких пар трения в торцовых уплотнениях валов и осевых опор водяных и нефтяных насосов показали их высокую надежность и долговечность.

Коэффициент трения зависит от скорости скольжения. С увеличением скорости скольжения при жидкостном и граничном режиме трения коэффициент трения уменьшается и при сухом режиме резко возрастает. При уменьшении скорости скольжения на контакте диапазон удельного нагружения, обеспечивающий режим трения пары близкий к граничному, расширяется. Зависимость скорости изнашивания колец пар трения приведена на рис. 5.

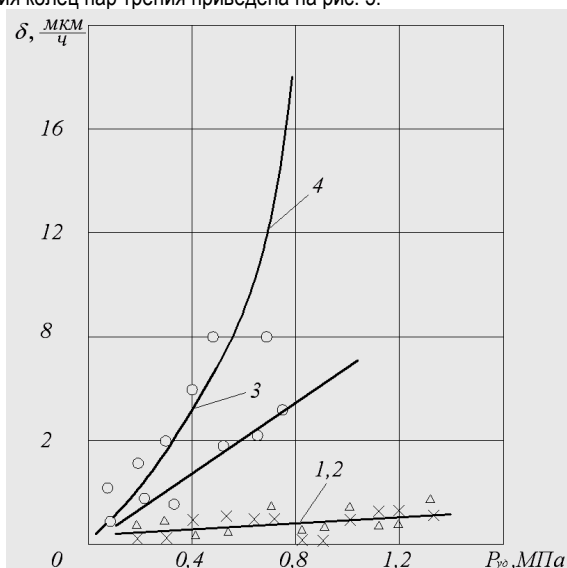


Рис. 5. Зависимость скорости изнашивания в нефти колец пар трения: композиционный материал ТМ-1 (1) по композиционному материалу ТМ-1 (2) и сталь 16ХГТА с цементированной контактной поверхностью (3) по бронзе ОЦС-5-5-5 (4) от удельного нагружения

Конечной целью исследования является повышение износостойкости композиционных материалов в условиях абразивного трения. Для этого необходимо, прежде всего, исследовать возможность влияния на износостойкость факторов технологического характера. Были изучены влияния гранулометрического и фракционного состава шихты на основе релита (карбида вольфрама), удельного нагружения при прессовании и среды спекания на относительную износостойкость композиционных материалов.

При исследовании влияния гранулометрического состава шихты карбида вольфрама на износостойкость была получена зависимость относительной износостойкости композиционного материала от

зернистости частиц карбида вольфрама. На рисунке 6 видно, что с увеличением среднего диаметра зерен карбида вольфрама, износостойкость возрастает. Наибольшей износостойкостью обладают композиции с зернистостью карбида вольфрама более 0,15...0,25 мм. Дальнейшее увеличение зернистости карбида вольфрама не приводит к увеличению износостойкости, а в абразивных средах она снижается. Износ при режущем действии абразивных частиц происходит в основном по матрице (медно-никелевый сплав 90% Cu, 10% Ni) и в этом случае мелкие частицы карбида вольфрама (0,004...0,01 мм) часто не разрушаясь, срезаются вместе с мягкой матрицей.

Также изучалось влияние защитной среды при спекании композиционного материала на износостойкость при трении по абразивной поверхности. Были испытаны образцы композиционных материалов с зернистостью частиц карбида вольфрама 0,15...0,25 мм, пропитанные медно-никелевым сплавом (90% Cu, 10% Ni) в среде водорода, в среде аргона и в вакууме.

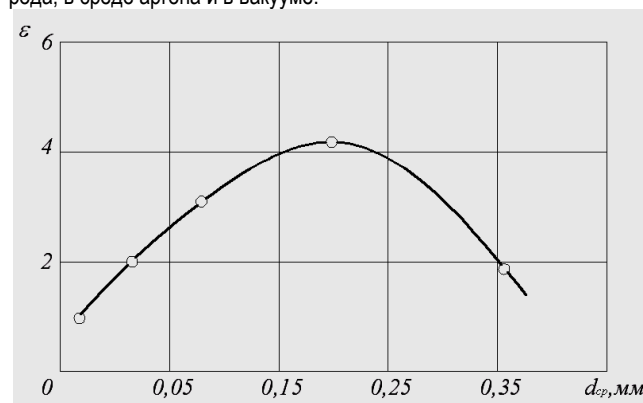


Рис. 6. Зависимость относительной износостойкости композиционного материала от зернистости частиц карбида вольфрама

Как показали испытания, защитная среда также оказывает влияние на износостойкость образцов. На рисунке 7 показана зависимость относительной износостойкости от среды спекания. Образец, спеченный в среде водорода, имеет большую износостойкость, нежели при спекании в аргоне или вакууме, что объясняется восстановительными свойствами водородной среды.

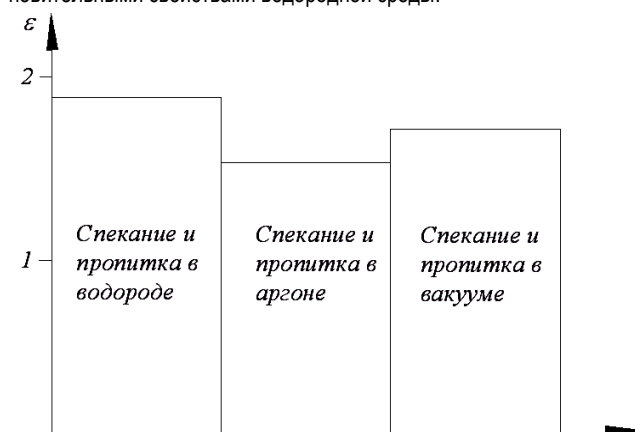


Рис. 7. Зависимость относительной износостойкости от среды спекания образцов

Образец, спеченный в вакууме, также имеет несколько большую износостойкость по сравнению с образцом, спеченным в аргоне. Следует иметь в виду, что вакуум приводит к интенсивному испарению расплава пропитки (меди) и осаждению его на детали нагревателей. Таким образом, следует сделать вывод, что несмотря на большие неудобства работы с водородом, связанные с его пожаро-взрывоопасностью, тем не менее его влияние на износостойкость весьма существенно и необходимо отдавать предпочтение спеканию композиционного материала в водородной среде.

При работе композиционного материала на основе карбида вольфрама в условиях абразивной среды износостойкость материала, как было показано выше, существенно снижается из-за выскабливания абразивной массой пропиточного сплава, располагающегося между зернами карбида вольфрама. Поэтому естественно напрашивается вывод, что для повышения износостойкости материала необходимо повысить стойкость пропиточного сплава к износу абразивными частицами. Это достигается легированием основы пропиточного сплава такими элементами как бор, кремний, марганец, хром и другие.

Исследованы на относительную износостойкость композиционные материалы с пропиточными сплавами следующих легирующих систем: медь–никель; медь–никель–бор–кремний; медь–никель–марганец; медь–никель–бор. Установлено, что при пропитке сплавами систем медь–никель–бор–кремний наблюдается повышение относительной износостойкости композиционных материалов в абразивосодержащих рабочих средах. Применение в качестве пропиточных материалов сплавов медь–никель–марганец существенного увеличения относительной износостойкости композиционного материала не отмечено.

Сопоставление композиционных материалов с пропиточными сплавами различных легирующих систем по их относительной износостойкости (рисунок 8) указывает на предпочтительность применения в качестве пропиточных материалов сплавов легирующих систем медь–никель–марганец–бор, износостойкость которых в 1,5 – 2,0 раза выше износостойкости сплавов системы медь–никель.

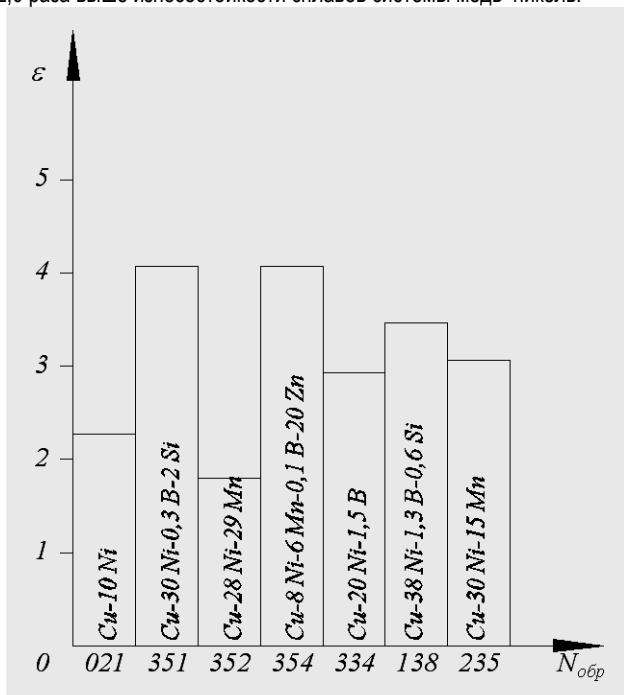


Рис. 8. Диаграмма относительной износостойкости композиционных материалов в зависимости от легирующих систем сплавов-связок

5. Применение композиционных материалов в узлах трения машин. Применение композиционного материала ТМ-1 в узлах трения насосов и нефтепромыслового оборудования позволило многократно увеличить срок их службы до ремонта.

Одним из наиболее ответственных элементов нефтепроводного транспорта является насос. От его работоспособности зависит в первую очередь непрерывная и своевременная подача нефти потребителю. На магистральных нефтепроводах насосные агрегаты имеют единичную подачу от 1,5 до 12,5 тыс. м³/ч. Современные нефтеперекачивающие станции – сложное энергетическое сооружение с установленной мощностью до 32 тыс. кВт. В связи с этим предъявляются жесткие требования к герметичности насоса, их взрыво- и пожаробезопасности.

Работа торцового уплотнения (рис. 9) вала насоса характеризуется режимом пары трения, смазка которой осуществляется перекачиваемой жидкостью. Перекачиваемые по трубопроводам нефть и нефтепродукты не отвечают в полной мере требованиям, предъявляемым к смазочным материалам для узлов трения. Нефть, хотя и обладающая хорошей смазывающей способностью, содержит механические примеси в виде песка, мелких металлических частиц и различных твердых химических соединений. В нефти может быть пластовая вода, серо- и хлорорганические соединения в растворе, а также сопутствующие газы (сероводород, углекислый газ и др.). Товарная нефть содержит механические примеси (до 0,005%) и примеси солей (до 40 мг/л). При промывке резервуаров и очистке трубопроводов содержание механических примесей в нефти доходит до 0,05% и выше.

Попадание механических частиц в контакт пары трения вызывает царапание рабочих поверхностей и нарушение герметичности уплотнения. При абразивном изнашивании пары трения, контактные кольца из твердых материалов (сталь) изнашиваются в такой же мере, как и кольца из мягких материалов (бронза, углеграфит, пластмасса). Часто наблюдается внедрение кольца из мягкого материала в кольцо из твердого материала. Это объясняется вдавливанием абразива в мягкое кольцо, которое затем работает как режущий инструмент.

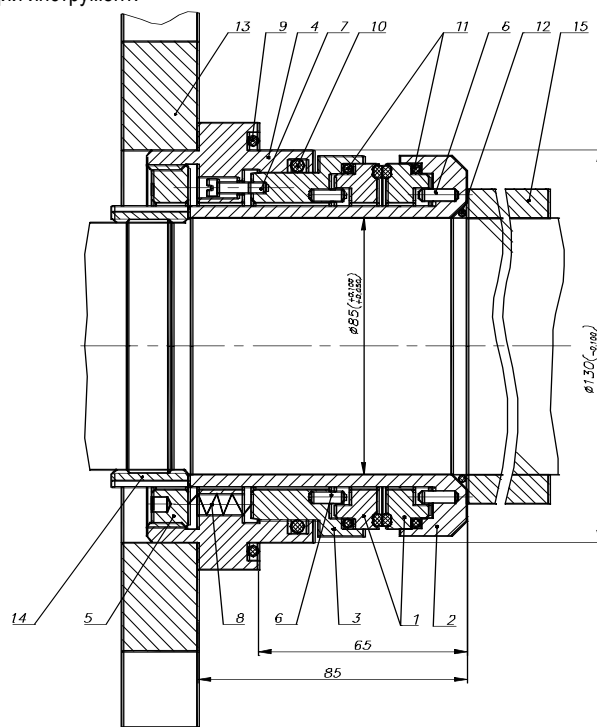


Рис. 9. Торцовое уплотнение вала насоса: 1 – контактные кольца пары трения; 2 – гильза вала; 3 – аксиально-подвижная втулка; 4 – корпус уплотнения; 5 – гайка регулировочная; 6 – штифты; 7 – винт фиксатор; 8 – пружины; 9, 10, 11, 12 – резиновые уплотнительные кольца; 13 – прижимная обойма; 14 – гайка ротора; 15 – дистанционное кольцо

Пластовая вода, находящаяся в нефти, вызывает коррозию контактных поверхностей пар трения, которая зависит от концентрации водородных ионов и возрастает с увеличением растворимых в жидкости газов (кислорода, сероводорода, углекислого газа и минеральных солей). Повышение температуры на контакте способствует кристаллизации и отложению солей в зоне контакта и повреждению рабочих поверхностей.

Для создания надежной и долговечной конструкции торцового уплотнения вала магистрального насоса необходимы материалы колец пары трения, способные обеспечить их высокую износостойкость.

Композиционный материал ТМ-1 на основе карбида вольфрама, меди и никеля отвечает этим требованиям. Разработаны конструк-

ции торцовых уплотнений вала в центробежных насосах на рабочее давление до 5,0 МПа со сроком службы без ремонта до 10 тыс. ч.

Налажен серийный выпуск таких уплотнений, ими оснащена большая часть насосов, находящихся в эксплуатации в системе магистральных нефтепроводов и системе сбора и подготовки нефти.

Рациональная разработка нефтяных месторождений немислима без применения методов воздействия на пласты, особенно путем нагнетания воды в законтурную или внутриконтурную часть продуктивного пласта. Для заводнения нефтяных пластов используют пресную воду из открытых водоисточников, а также пластовую и сточную воды. На 1 тонну добытой нефти приходится закачивать 2...5 м³ воды. Весь этот громадный объем работы по закачке воды выполняется на промыслах с помощью многоступенчатых секционных насосов типа ЦНС.

Количество взвесей в закачиваемой пресной воде колеблется в весьма широких пределах от 7 до 300 мг/л, а пластовая и сточная воды сильно минерализованы, что существенно влияет на износ деталей насоса. Особенно интенсивному изнашиванию подвержены узлы гидравлической разгрузки (осевая опора) и щелевые уплотнения рабочих колес и вала.

Наблюдения показывают, что за период эксплуатации, до вывода насоса на капитальный ремонт (в среднем 3500 часов) изнашивается и заменяется от двух до шести комплектов узлов гидравлической разгрузки, диск и подушка которых изготовлены из стали 20Х13. Узлы разгрузки имеют суммарный линейный износ рабочих поверхностей 3...4 мм.

Износ щелевых уплотнений снижает энергетические характеристики насоса и уменьшает его к.п.д до 20%. Щелевые уплотнения подвержены износу гидроабразивной жидкостью, протекающей с высокой скоростью. Интенсивность изнашивания увеличивается с повышением вибрации ротора. Максимальный износ щелевых уплотнений приходится на средние ступени, и абсолютная величина его доходит до 1,0...1,5 мм на сторону.

Уплотнение вала секционных насосов осуществляется, в основном, сальниковой набивкой, средний срок службы которой составляет 375 часов.

Нанесение износостойкого композиционного материала на рабочую поверхность диска и подушки узлов гидроразгрузки (рис. 10, а) и применение радиальной опоры (рис. 10, б) позволило повысить срок службы насосов до ремонта в 4...5 раз. Приведенные узлы гидроразгрузки насосов имеют наработку более 5 тысяч часов.

Анализируя данные по наработке узлов гидроразгрузки со сменными кольцами, на рабочие поверхности которых нанесен композиционный материал ТМ-1, (рис. 10, а), следует отметить, что износ контактных поверхностей практически отсутствует, не отмечено на них следов рисок и задиров. Коррозионному воздействию подверглась лишь стальная основа диска и подушки, поскольку для ее изготовления была принята сталь 40ХН, не стойкая к агрессивной минерализованной среде перекачки.

Для увеличения долговечности щелевых уплотнений рабочих колес секционных насосов изготовлены радиальные опоры (рис. 10, б) с износостойкими контактными поверхностями, которые устанавливаются в зоне средней ступени насоса ЦНС. Испытания показали, что промежуточная опора предотвращает износ щелевых уплотнений рабочих колес. Это значительно повысило общий к.п.д. насосов. Торцовые уплотнения с парами трения из материала ТМ-1 при установке их на многоступенчатых секционных насосах отработали при испытаниях более 5 тысяч часов.

Обнадеживающие результаты показали промышленные испытания турбобуров с резино-композиционной осевой опорой, у которой подпятник изготовлен из резины, а стальной диск с рабочими поверхностями из композиционного материала ТМ-1. При бурении скважин такими турбобурами с применением в качестве промывочной жидкости воды и глинистого раствора стойкость опытных дисков составила 300...550 часов, а резиновых подпятников – 95...120 часов, при стойкости серийной опоры 55...60 часов. При ремонте турбобуров отмечено, что износ рабочих поверхностей опытных дисков отсутствует, наблюдается только разрушение стальной основы и износ резины, однако он в 1,5...2 раза ниже, чем у резиновых подпятников, работающих в паре со стальными серийными дисками. Отмечено значительное увеличение и энергетических параметров турбобуров с опытными осевыми опорами.

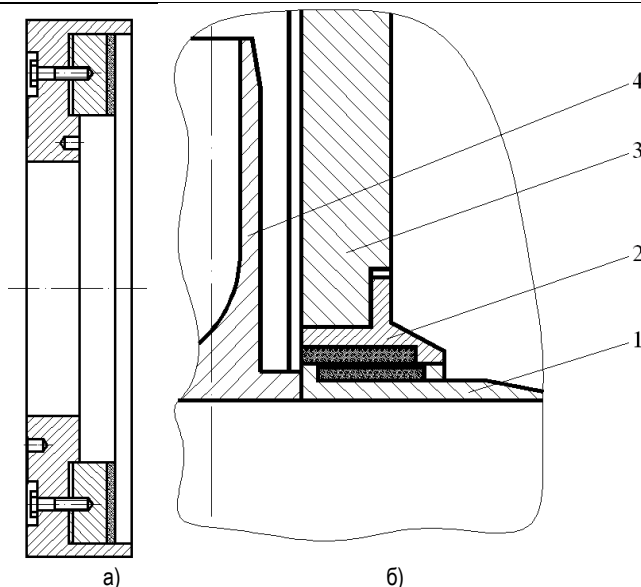


Рис. 10. Подушка гидропятя сборной конструкции (а) и промежуточная опора центробежного насоса (б): 1 – ступица рабочего колеса, наплавленный материал ТМ-1; 2 – уплотнительное кольцо, наплавленный материал ТМ-1; 3 – направляющий аппарат; 4 – рабочее колесо

Высокую износостойкость показали опытные образцы торцовых уплотнений с парами трения из композиционного материала на винтовых насосах внутрипромысловой перекачки газонефтяных смесей и эмульсий. Такое торцовое уплотнение отработало более 6 тысяч часов. Ранее применяемые торцовые уплотнения имели срок службы в аналогичных условиях 300...500 часов.

Высокие технико-экономические показатели получены при использовании пар трения из композиционного материала ТМ-1 на насосах по перекачке горячего мазута. Применение композиционного материала в парах трения торцовых уплотнений насосов, перекачивающих гидроабразивные смеси на предприятиях горнорудной промышленности, позволяет обеспечить ресурс работы уплотнений, равный ресурсу насоса.

Применение контактных колец с износостойкой рабочей поверхностью из композиционного материала на основе карбида вольфрама, меди и никеля в торцовых уплотнениях маслонаполненной редукторной вставки турбобура повысило ресурс его работы до 250...500 часов и эффективно вести турбинную проходку сверхглубоких скважин.

Заключение

1. Узлы трения машин являются сложными трибологическими системами, функционирующими в жестких экстремальных условиях. Важной проблемой повышения их надежности является дальнейшее развитие эффективных средств упрочнения поверхностных слоев трущихся деталей.
2. Перспективным направлением повышения износостойкости деталей узлов трения гидромашин является применение спеченных композиционных материалов на основе порошков карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки, способных работать в режиме безыносного трения в рабочих средах.
3. Разработана технология нанесения износостойких слоев на основе порошков карбида вольфрама и медьсодержащей матричной связки на контактные поверхности стальных колец узлов трения гидромашин.
4. Исследованы структурные свойства и триботехнические характеристики композиционного покрытия контактных колец торцовых уплотнений и осевых опор скольжения.
5. Показано широкое применение материалов и технологий, основанных на реализации эффекта безыносности.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. – М.: МСХА, 2001. – 614 с.
2. Голуб, М.В. Износостойкие композиционные материалы на основе карбида вольфрама, меди и никеля // Эффект безызносности и триботехнологии, 1994. – № 1. – С. 24–39.
3. Голуб, М.В. Основы комплексного решения проблемы повышения износостойкости, надежности и долговечности уплотнений насосов магистральных нефтепроводов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Гомель, 1992. – 54 с.
4. Голуб, В.М. Износостойкие покрытия рабочих поверхностей колец пар трения торцовых уплотнений на основе разнозернистых порошков карбида вольфрама / В.М. Голуб, Ю.М. Плещачевский // Материалы, технологии и инструменты. ИММС НАНБ. – Гомель, 2001. – Т. 6. – № 4 – С. 29–32.

Материал поступил в редакцию 20.10.10

GOLUB M.V., GOLUB V.M. Realization of effect nowear in units of friction of machines

The results of realization of effect nowear in units of friction of machines are submitted by application of new technologies of development of composite materials and coverings on copper-bearing matrix binding. The structure of materials and tribological of the characteristic of compositions is investigated and on their basis are developed wear-resistant units of friction of machines, the wide application of technologies, materials and designs of units of friction based on effect nowear is shown.

УДК 621.822.71.002:621.923.74

Щетникович К.Г.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ СКОЛЬЖЕНИЯ ШАРИКОВ В ЗОНЕ ОБРАБОТКИ ПРИ ДОВОДКЕ МЕЖДУ ДВУМЯ СООСНЫМИ КОЛЬЦАМИ И ДИСКОМ

Введение. Окончательное формирование требуемых точностных параметров шариков осуществляется на операции доводки. При традиционном способе доводки стальных шариков между двумя чугунами дисками в кольцевых концентрических канавках обработка происходит в условиях трения качения при дифференциальном проскальзывании шариков относительно рабочих поверхностей инструмента [1, 2]. Изменение частоты вращения приводного диска и давления на прижимной диск не оказывает существенного влияния на кинематику шариков в зоне обработки. Использование для доводки шариков соосного кольцевого инструмента [3, 4] расширяет технологические возможности управления кинематикой шариков в рабочей зоне. В процессе доводки шарик находится в контакте с тремя поверхностями инструмента, имеющими разные линейные скорости. Обработка шариков осуществляется в условиях трения качения и верчения, поэтому скорость проскальзывания несколько возрастает, но тем не менее составляет незначительную часть от линейной скорости инструмента.

В работах [5, 6] рассмотрена конструкция инструмента и кинематика шариков при обработке между соосно установленными нижним приводным диском и двумя кольцами: внутренним приводным и наружным неподвижным. Неподвижное кольцо базируется непосредственно на обрабатываемых изделиях с помощью кольцевой проточки прямоугольного профиля. Конструкция обеспечивает четырехточечный контакт заготовок с диском и кольцами, и перемещение шариков по кольцевой дорожке сопровождается их скольжением в рабочей зоне и повышением интенсивности обработки. Кинематика шариков рассматривалась для случая, когда основная нагрузка на изделия прикладывается к внутреннему приводному кольцу с конической фаской, а влияние малой нагрузки на неподвижное кольцо не учитывалось при анализе движения шариков. При сопоставимых нагрузках на кольца значительно увеличивается влияние давления неподвижного кольца на условия доводки шариков. Данная работа посвящена теоретическому исследованию сил сцепления и трения, действующих на шарики в процессе доводки кольцевым инструментом с базированием неподвижного кольца на заготовках, и влиянию этих сил на условия скольжения шариков по рабочим поверхностям инструмента.

Конструкция инструмента и кинематика шариков при доминирующей осевой нагрузке. В состав инструмента (рис. 1) для обработки шариков 9 входят следующие основные детали: нижний приводной диск 10, внутреннее приводное кольцо 3 с конической

фаской 12, наружное неподвижное кольцо 1, базирующееся на обрабатываемых шариках с помощью кольцевой проточки 2 угловой формы и сепаратор 6, установленный на оси 5.

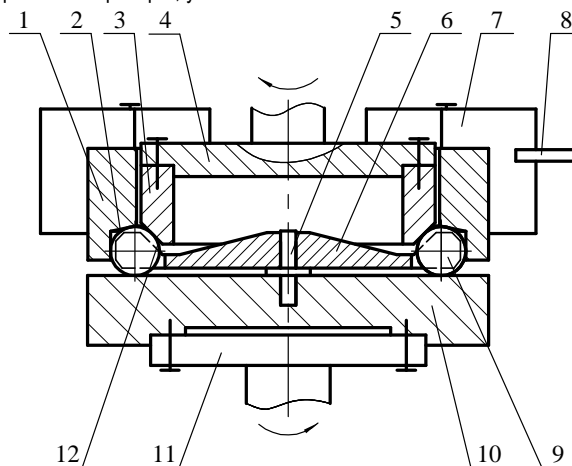


Рис. 1. Конструкция инструмента для доводки шариков

Приводное кольцо закреплено на оправке 4 верхнего шпинделя, а нижний диск установлен на оправке 11 нижнего шпинделя. Контакт неподвижного кольца с обрабатываемыми шариками по двум поверхностям обеспечивает его самоустановку в осевом и радиальном направлениях относительно оси вращения инструмента. Общая нагрузка на шарики складывается из осевой нагрузки, прикладываемой к приводному кольцу, и нагрузки, создаваемой неподвижным кольцом. Последняя определяется весом неподвижного кольца и весом закрепляемых на нем дополнительных грузов 7. Стопор 8 фиксирует неподвижное кольцо от вращения в процессе обработки.

Когда осевая нагрузка на приводное кольцо превышает нагрузку на неподвижное кольцо, кинематика шариков (рис. 2) может быть рассмотрена из условия отсутствия проскальзывания в наиболее нагруженных точках контакта с инструментом *A*, *B* и *K* [6]. Мгновенная ось вращения шарика проходит через точку *K* на неподвижном кольце и точку *P*, являющуюся полюсом скоростей V_A и V_B точек *A* и *B* контакта шарика с нижним диском и приводным кольцом. Точка *P* делит расстояние *AB* на части, пропорциональные скоростям V_A и V_B .

Щетникович Казимир Генрихович, докторант кафедры конструирования и производства приборов Белорусского национального технического университета.

Беларусь, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.