РАБОЧИЕ СТУПЕНИ НАСОСОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ КЕРАМИКОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОСЛОЖНЕННОГО ФОНДА СКВАЖИН

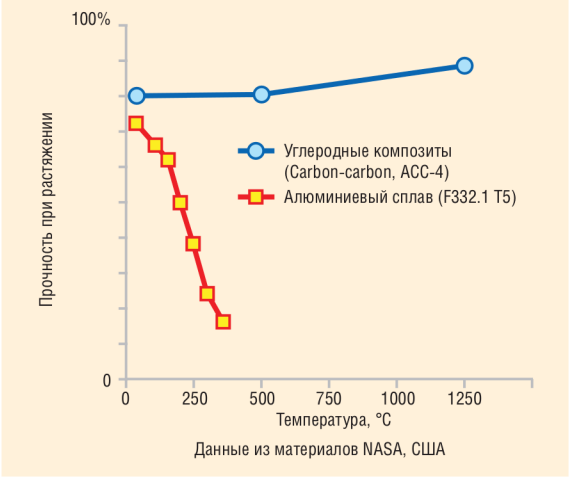
ПЯТОВ Иван Соломонович
Председатель Совета директоров ООО «РЕАМ-РТИ»

Преимущества рабочих органов ЭЦН из жидкокристаллических полимеров, к сожалению, не удается реализовать в широком наборе скважинных условий. Причиной этому прежде всего служит низкая теплостойкость таких изделий. В то же время известные неметаллические альтернативы слишком дороги для массового применения.

Специалисты ООО «РЕАМ-РТИ» предприняли попытку решения этой проблемы, разработав технологию производства деталей нефтепромыслового оборудования (НПО) с керамикоподобными свойствами, в основе которой лежит применение углеродсодержащих полимеров. Технология получила название ТвР и на сегодняшний день представлена такими материалами, как «Карбул С-С» (композиции на основе углеродных фаз) и «Карбул Si-C» (на основе углерод-карбидных фаз). Как показывают предварительные испытания, изделия, изготовленные по технологии ТвР, обладают рядом преимуществ не только по сравнению рабочими органами из металлов, но и с изделиями, изготовленными по ПИМ-технологии.

Практически все способы защиты НПО от солеотложений, будь то нанесение на рабочие органы металлопорошка, изготовление рабочих ступеней из современных нирезистов, или проведение обработок специфическими кислотами, обладают как преимуществами, так и недостатками. Так, все металлы характеризуют высокий коэффициент трения и неспособность к сухому трению, а порошковые композиции проявляют недостаточную стойкость к кавитации. Кроме того, рабочие органы ЭЦН, изготовленные из металлов, также характеризуются большой массой в силу высокой плотности материала.

Рис. 1. Зависимость прочностных свойств углеродных композитов и алюминиевых сплавов от температуры



Данные из материалов NASA, США

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Мы, как и компания «Ижнефтепласт», изначально пошли по пути исключения металлов из конструкций и изготавливаем рабочие ступени из различных инженерных полимеров. В частности, из полифениленсульфидов (ПФС) и полимеров на основе полиэфирэфиркетона. Однако, хотя эти инженерные полимеры и решают проблему коррозии и довольно хорошо работают с солями, их применение ограничено низкими показателями теплостойкости и ползучестью материалов при повышенных температурах. Кроме того, на рынке сейчас присутствует большой номенклатурный ряд такого рода изделий.

По этим причинам мы приступили к разработке новых технологий, реализующих потенциал таких прогрессивных материалов, как керамика и углеродные композиты, которые способны обеспечить эффективную добычу нефти в осложненных условиях эксплуатации НПО.

В настоящее время в данной области можно выделить два инновационных направления — использование углеродных композитов (углеродная керамика) и «МИМ-технологии» (также «ПИМ-технологии»).

МИМ-ТЕХНОЛОГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Углеродные композиты отличаются уникальной коррозионной и химической стойкостью (1–14 pH), низкой удельной плотностью (менее 2 г/см^3), могут обладать высокой рабочей теплостойкостью (выше 250 °C) и сохранять прочностные свойства при высоких температурах (рис. 1). Последнее принципиально отличает их от обычных полимерных соединений.

В США есть опыт изготовления насосной техники из углеродных материалов (рис. 2). Однако высокая стоимость такого оборудования ограничивает их применение, и, в основном, они используются для специальных задач, в частности, для целей, связанных с военными нуждами, и в химической и атомной промышленностях, где их термическая и химическая стойкость максимально востребованы.

МИМ-технологии основаны на инжекционном формовании в термопластавтоматах деталей из различных металлических и керамических порошков. В России есть опыт изготовления и внедрения НПО с рабочими органами и из металлопорошка, и из керамических порошков. Однако их выходу на массовый рынок также препятствуют высокая стоимость и нестойкость некоторых видов оксидной керамики в среде, содержащих воду.

ТЕХНОЛОГИЯ ТВР

В 2003 году мы приступили к разработке технологии производства деталей с керамикоподобными свой-

Рис. 2. Примеры исполнения рабочих органов насосов из углеродных материалов и керамики (МИМ-технология)

Использование углеродных материалов (США)

Рабочее колесо из керамики, изготовленное по МИМ-технологии (РФ)

ствами основного материала на основе углеродсодержащих полимеров и назвали ее «Технология ТвР».

При этом основными целями было придание изделию следующих характеристик: теплостойкости в пределах 250–300 °С, химической стойкости, гидрофобности поверхности (низкая способность к отложению солей, угол краевого смачивания водой и растворами солей превышает 90°), абразивостойкости и возможности длительной эксплуатации в условиях сухого трения. Кроме того, необходимо было сохранить приемлемую стоимость изделия.

Что касается технологии производства, то здесь мы поставили перед собой цель освоить изготовление изделий с габаритными размерами от 0,5 до 500 мм и толщиной стенок от 0,2 до 20 мм. Кроме того, мы должны были научиться выпускать изделия со сложной пространственной формой (например, рабочее колесо) и свести к минимуму, а лучше вообще исключить, финишную размерную обработку.

За прошедшее время мы провели многочисленные научно-исследовательские работы, был изготовлен ряд опытных образцов изделий на основе композиций с содержанием углеродных фаз («Карбул С-С») и углерод-карбидных фаз («Карбул Si-C»), лабораторные испытания которых дали положительные результаты. Были установлены базовые критерии технологических переделов, позволяющие изготавливать и поставлять изделия типа «рабочее колесо» ступени центробежного насоса в ценовом диапазоне изделий из «нирезиста».

Накопленный опыт позволяет приступить к изготовлению пилотных партий деталей для насосной техники и их апробированию в условиях ОПИ. На рис. 3 представлены наши опытные образцы: рабочее колесо центробежного насоса и поршень для двигателя внутреннего сгорания.

Как видно из табл. 1, изделия, выполненные по технологии ТвР, обладают рядом преимуществ не только по сравнению традиционными металлическими деталями, но и с изделиями, изготовленными по ПИМ-технологии, а именно: способны выдерживать сухое трение, имеют меньшие ограничения по габаритам, меньшую размерную усадку, и, кроме того, они доступнее по цене.

Рис. 3. Опытные изделия по технологии ТвР

Рабочее колесо центробежного насоса

Поршень ДВС

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В ЗАО «НОВОМЕТ-Пермь» были проведены сравнительные испытания абразивной стойкости рабочих колес, выполненных из материала «Карбул С-С» и порошка ЖГр1Д15 (рис. 4, а). Видно, что у РК из «Карбул С-С» наблюдается гидроабразивный износ входных кромок рабочих колес, вызванный вихрем на повороте потока, и частичное повреждение вихревого венца и верхнего диска, в то время как у рабочих колес из ЖГр1Д15 подобных разрушений нет.

Совместно с ООО «НПК «ЛЕПСЕ-Нефтемаш» мы разрабатываем новый героторный насос (ГН) и уже изготовили опытные детали из материала «Карбул Si-C», в котором содержится 30% карбида кремния. В лаборатории «ЛЕПСЕ-Нефтемаша» провели испытание на абразивную стойкость неподвижных крышек, изготовленных из «Карбул Si-C», и традиционных внутренних роторов (рис. 4, б). Видно, что износа, эквивалентного металлу, у наших крышек не наблюдается.

ТЕКУЩИЕ ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ НА 2013 ГОД

Основным проблемным вопросом был и остается выбор номенклатуры востребованных на рынке ВСО изделий для эффективного применения технологии ТвР. Любое сервисное предприятие, любой производитель оборудования пытается сократить номенклатуру изделий, так как рост номенклатуры всегда сопровождается рядом проблем, связанных с логистикой, тендерными закупками и т.д. В этой связи необходимо четко знать, для каких целей, применительно к каким деталям данная технология была бы эффективна.

Сегодня у нас нет стратегического партнера-заказчика, и мы формируем программу работ и финансируем все работы из своих ресурсов. Мы рады сотрудничеству с компанией «НОВОМЕТ-Пермь», которая обеспечила нам проведение абразивных испытаний наших образцов. К сожалению, испытания рабочих колес ЭЦН на текущий момент не завершены.

Таблица 1

Характеристики основных материалов для изготовления рабочих органов НПО

Характеристики	Сталь				Керамика	С-С ТвР (эластичная композиция)	Al/сплавы
	Механообработка	Порошковая металлургия	Литье	МИМ-технология (гранулированный порошок)			
Вес, г	1–10000	5–2500	1–...	0,01-200		0,001–..	0,2–...
Min допуск, %	<0,1	0.1	0,5–1,0	0,3–0,5	0,3-0,5	0,1	-
Плотность, %	100	92	99	96–100	**	**	100–92*
Пористость, %	0	8	1	4-0	4-1	3–0	0-8*
Удельная плотность, г/см^3	7,8–7,9				2,5-3,6	1,3–1,8	2,7–2,8
Прочность, %	100	70	> 95	>96	=	CC = Al	Al = CC
Толщина стенки, мм	1–100	2–20	2–20	0,5–10	0,5-10	0,2-10	-
Шероховатость поверхности Ra, мкм	0,2–4	2–5	5	1–2	1–2	0,2–2	
Твердость по Brinell	250–300	250–300	250–300	250–300	420–тв. стекла	420-тв. керамики	100–150
Стоимость изделия, %	100	130	70	200–60	800–2000	100–300	300
Стойкость в агрессивной среде	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	Высокая	Низкая
Масса изделия,%	100	92	99	96-100	30-45	12–14	20–22
Усадка, %				До 26	До 26	До 4,5	
Способность к сухому трению	Нет					Есть	Нет

* — все виды технологий получения изделий.
** — плотность изделия не приведена, так как она зависит от дополнительных металлургических приемов.

Также проблемной для нас стала ситуация с размытостью технических требований к физико-механическим свойствам изделий при эксплуатации, обеспечивающих реализацию принципа «необходимо/достаточно». То есть мы понимаем, как такие детали делать, но спектр свойств, на который нам нужно ориентироваться, точно не регламентирован.

На основании изложенных проблем в 2013 году мы планируем, во-первых, приступить к ОПИ ступеней центробежных насосов из органических керамикоподобных материалов (по выбранной технологии ТвР) в скважинах осложненного фонда с целью уточнения технических критериев, необходимых для реализации принципа «необходимо/достаточно».

Во-вторых, продолжить подготовку и освоение опытно-промышленного производства с целью определения критериев подбора оборудования для массового производства.

И, в-третьих, уточнить приоритетную номенклатуру и объемы деталей для применения технологии ТвР в производстве деталей погружного оборудования.

Мы готовы рассмотреть любые предложения по использованию технологии ТвР в различных деталях, чтобы в дальнейшем совместно сформировать и реализовать программы НИОКР и подготовки и освоения производства изделий.

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

Вопрос: *Иван Соломонович, на рис. 4 Вы сравниваете абразивный износ рабочего колеса из ЖГр1Д15 и вашего нового состава, и отнюдь не в вашу пользу. А ведь ЖГр1Д15 — простейший материал и применяется в нормальных, не сильно осложненных условиях эксплуатации. В чем же дело?*

Иван Пятов: Дело в том, что в первых материалах, которые мы испытывали, мы не учли внутреннюю пористость. Поэтому используемый в испытаниях песок как бы продавил нашу структуру. Мы учли эту ошибку и подготовили новые образцы, которые только что успешно прошли испытания но, к сожалению, в данном обзоре не представлены.

Вопрос: *А как у ваших составов обстоят дела с адгезией?*

И.П.: Вопрос очень интересный. Материал, который мы сегодня предлагаем для изготовления НПО должен обладать высокой гидрофобностью, что обеспечит защиту от отложения солей.

Рис. 4. Пример испытаний деталей на абразивную стойкость: а — РК (ЗАО «НОВОМЕТ-Пермь»), б — ГН (ООО «НПК «ЛЕПСЕ-Нефтемаш»)

Рабочее колесо, Карбул С-С

А

Рабочее колесо из ЖГр1Д15

Б

Крышки, Карбул Si-C , отсутствие рисок от твердых частиц

Роторы, сталь ХВГ, твердость 55-56 HRc, кольцевые риски по торцам

Риски