

О возможности применения полимерных композиционных материалов в сельскохозяйственном машиностроении

А. Фатхуллин,
генеральный директор ООО «Цакир»

В современном машиностроении уже давным-давно стало недостаточно производить просто надежное оборудование для различных, все усложняющихся условий эксплуатации. Сегодня выигрывает тот, кто уделяет должное внимание инновациям, чье оборудование, используемое, например, в добыче, транспортировке и переработке нефти и нефтепродуктов, энергетике, жилищно-коммунальном и водном хозяйстве, химической, угольной, горнодобывающей и металлургической промышленности, отвечает современным требованиям надежности, энергоэффективности, экологической и промышленной безопасности.

Совершенствование процессов и технологий, постоянное повышенное внимание к инновациям в целях улучшения качества производимого оборудования должны являться одними из важнейших ценностей любого высокотехнологичного машиностроительного предприятия.

В современном сельскохозяйственном машиностроении полимерные композиционные материалы с каждым годом получают все большее и большее применение. В основном это связано с тем, что детали подвижных сочленений из металлов (как черных, так и цветных), а также их сплавов не удов-

летворяют тем требованиям, которые предъявляются к сельскохозяйственным машинам, в частности к зерноуборочным комбайнам. Эксплуатация последних осуществляется в напряженных режимах: наличие абразива, влаги, температурных колебаний, значительных динамических и знакопеременных нагрузок — это привело к тому, что традиционные материалы в подвижных сочленениях постепенно стали вытесняться более прогрессивными полимерными композиционными материалами.

Для создания наиболее конкурентоспособной продукции, достижения и удержания лидерства на стратегически приоритетных рынках сегодня могут применяться антифрикционные полимерные композиционные материалы КАРБОНИТ и ОКСАФЕН, изделия из которых используются в узлах трения механизмов и агрегатов, эксплуатируемых в средах с высоким содержанием различных абразивов, минеральных масел, нефтепродуктов.

По своим антифрикционным характеристикам данные материалы значительно превосходят по ресурсу и эксплуатационным нагрузкам изделия из баббита, бронзы, текстолита, фторопласта, различных полиамидов (от 2 до 10 раз).



Свойства полимерных материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ

Физико-механические свойства	Значение
Плотность, г/см ³	1,32–1,4
Разрушающее напряжение, МПа – при изгибе	120–210
– при растяжении	45–70
– при сжатии перпендикулярно направлению прессования	115–180
– при сжатии параллельно направлению прессования	140–220
Ударная вязкость по Шарпи, КДж/м ²	35–60
Твердость по Роквеллу (для пластмасс), ед. шкалы	70–90
Равновесное влагосодержание, %	2,7–3,5
Водопоглощение в холодной воде (24 ч), %	1,4
Маслостойкость (24 ч), %	0,037
Бензостойкость (24 ч), %	0,05
Электрофизические свойства*	
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом	$9,7 \cdot 10^{12}$
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·м	$6,5 \cdot 10^{10}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 106 Гц	0,041
Диэлектрическая проницаемость при частоте 106 Гц	5,2
Электрическая прочность при частоте 50 Гц, кВ/мм	16,4
Трибологические и теплофизические свойства	
Интенсивность линейного износа, мм/км	$1 \cdot 10^{-7}$
Износ контр-тела	Снижается в 2–3 раза по сравнению с традиционными износостойкими материалами
Фрикционная теплостойкость, °С	от –80 до +300
Теплоемкость, Дж/кг·К	1,5–3,2
Теплопроводность, Вт/м·К	0,15–0,18
Температурный коэффициент линейного расширения, 10^{-6}	2,6–4,3
Коэффициент сухого трения	0,08–0,23
Коэффициент водного трения	0,07–0,10
Коэффициент масляного трения	0,04–0,06

* Для диэлектрических типов материала ОКСАФЕН.

КАРБОНИТ — антифрикционный слоистый полимерный конструкционный материал сухого трения, обладающий уникальными трибологическими свойствами для использования в экстремальных условиях сухого трения (низкие и высокие температуры), в различных средах (вода, нефтепродукты и др.) с устойчивостью к истиранию, в 5 раз более высокой, чем используемый в настоящее время на многих производствах текстолит.

Материал включает армирующие полимерные волокна пятого поколения, термостойкое полимерное связующее и функциональные добавки элементоорганического строения, а также производные переходных металлов.

ОКСАФЕН — антифрикционный изотропный полимерный конструкционный материал сухого трения. Является следующей ступенью технологического развития материала КАРБОНИТ, обладает всеми его трибологическими и физико-механическими свойствами. Технология получения материала ОКСАФЕН позволяет получать сложные изделия необходимой формы на стандартном оборудовании, например: тяжело нагруженные втулки транспортных средств, подшипники транспортеров, подшипники скольжения нефтедобывающей техники и многие другие детали.

Полимерные композиционные материалы ОКСАФЕН и КАРБОНИТ производится на основе смеси полимерных смол, синтетических волокон полиоксадиазол- и целлюлозных волокон. Рецептура материалов запатентована, их свойства детально изучены, отработан технологический процесс получения, научно обоснован и практически отработан режим прессования готовых изделий.

ОКСАФЕН и КАРБОНИТ являются механически прочными, ударопрочными, термостабильными и износостойкими материалами. Комплекс трибологических свойств данных материалов превосходит аналогичный комплекс свойств черных, цветных металлов,

металлокомпозитов, а также большинства используемых в настоящее время полимерных композиционных материалов (различные типы углепластиков, текстолита и др.).

ОКСАФЕН и КАРБОНИТ хорошо поддаются обработке резанием, которое выполняется на обычном металлорежущем оборудовании. Однако скорость резания и скорость подачи, а также инструмент для их обработки должны быть несколько видоизменены ввиду отличия свойств обрабатываемых материалов от свойств металлов. Следует учитывать и температурный режим в зоне резания, так как помимо пыли в случае критических перегревов возможны деструкция материала и выделение вредных газообразующих продуктов.

Технология механической обработки материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ

Токарная обработка

Токарная обработка деталей из ОКСАФЕНа и КАРБОНИТа обычно ведется на универсальных металлорежущих станках и токарных автоматах при высоких скоростях резания, но со снятием тонкой стружки. В большинстве случаев охлаждающую жидкость не применяют, однако при обработке ОКСАФЕНа и КАРБОНИТа допустимая температура в зоне резания не должна превышать 250–300 °С. Следует учитывать, что температура в зоне резания определяется не только скоростью резания, подачи, глубиной резания, свойствами обрабатываемого материала, но и правильностью и качеством заточки режущего инструмента и свойствами материала режущего клина. Токарные резцы для обработки материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ отличаются от аналогичных для обработки металлов углами заточки.

Фрезерование

Чаще всего фрезерованием обрабатываются кромки отдельных пластин, листов, деталей из КАРБОНИТа. Реже —

фрезерование для дополнительной обработки сложных контуров на уже сформированных деталях из ОКСАФЕНА. Фрезерование осуществляется на обычных горизонтально- или вертикально-фрезерных станках, оснащенных специальными устройствами для улавливания и отсоса стружки и пыли, а также различными зажимными приспособлениями и устройствами.

Обработка ведется цилиндрическими или коническими фрезами со специальным спиральным зубом и углом наклона главных режущих кромок к оси фрезы $\omega = 20-25^\circ$, торцевыми и фасонными фрезами. Фрезы изготавливаются из быстрорежущей стали или из твердых сплавов.

Фрезы для обработки полимерных материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ, в отличие от фрез для обработки металла, должны иметь по возможности:

- меньшее число зубьев (при этом увеличивается объем стружечных канавок);
- большие задние углы;
- простую форму передней поверхности.

Большой угол наклона главных режущих кромок к оси фрезы выполняется с целью обеспечения плавности работы и снижения ударной нагрузки на режущие кромки зубьев.

Сверление

Сверление может быть как окончательной операцией, так и предварительной операцией перед зенкерованием, развертыванием и нарезанием резьб. В качестве режущих инструментов используют перовые и спиральные сверла из быстрорежущей стали, сверла с твердосплавными пластинами, алмазные сверла, вырезные резцы.

Отверстия большого диаметра в листовом материале КАРБОНИТ могут вырезаться специальным циркульным резцом (рис. 1). Сначала сверлится малое отверстие для фиксирования хвостовика инструмента, а затем про-

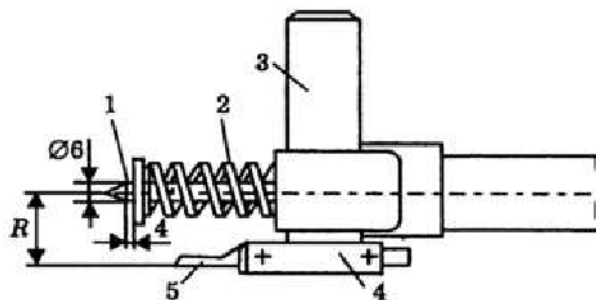


Рис. 1. Циркулярный резец: 1 — хвостовик; 2 — пружина; 3 — траверса; 4 — резцедержатель; 5 — резец

изводят вырезание отверстия необходимого диаметра.

При сверлении в пластмассах необходимо учитывать сужение отверстий после обработки на 1–2 % вследствие высоких упругих свойств материалов. Соответственно необходимо выбирать сверло большего диаметра. Кроме того, для уменьшения трения ширину направляющей ленточки сверла необходимо делать не более 0,5 мм.

Во избежание выламывания или выкрашивания материала на выходе сквозное сверление нужно производить на гладких прокладках из более мягкого материала, например из древесины. При глубине сверления более 2,5 диаметра отверстия необходимо периодически извлекать сверло из отверстия для удаления стружки и охлаждения. Желательно охлаждение детали производить сжатым воздухом. Для лучшего удаления стружки сверло должно иметь большой угол и широкую стружечную канавку с полированной поверхностью.

Развертывание

При необходимости получения отверстий с более точными размерами после сверления производится развертывание посредством разверток при скоростях резания 40–90 м/мин с подачей 0,1–0,6 мм/об, при этом рекомендуется под развертку оставлять припуск 0,1–0,2 мм. В таком случае достигается 6–7-й качества точности обрабатываемой поверхности.

Для развертывания используются цилиндрические и конические раз-

вертки с прямыми или спиральными зубьями из быстрорежущих сталей с углами заточки $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8^\circ$.

Нарезание резьбы

Получение резьбы в деталях из материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ возможно двумя путями: без снятия и со снятием стружки.

В первом случае резьба воспроизводится непосредственно при изготовлении детали в форме (однако вследствие усадки пластмасс при отверждении точность такой резьбы невысока). Этот способ применяется для деталей с малонагруженными или неответственными резьбовыми соединениями.

Резьба со снятием стружки оформляется в деталях на металлорежущих станках. Наружную резьбу выполняют резьбонарезными головками, плашками, резцами, резьбовыми гребенками, абразивными кругами, а внутреннюю — метчиками и резцами. Режущий инструмент изготавливается из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Твердосплавные метчики применяются с двумя-тремя полированными канавками, несколько более широкими, с передним углом от -10 до $+10^\circ$. Наружный и средний диаметры метчиков увеличивают на $0,05-0,13$ мм.

Распиливание

Распиливание материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ производится с помощью дисковых, ленточных и циркулярных пил. Выбор конструкции режущего инструмента и режимов резания нужно производить с учетом особенностей заготовки материала.

При заточке зубьев фрез на задних и боковых поверхностях цилиндриче-

ские фаски не допускаются. Для обработки ОКСАФЕНА и КАРБОНИТА нельзя использовать фрезы с большим шагом и малым числом зубьев. В контакте с материалом должны находиться одновременно минимум два зуба, что повышает качество реза и предотвращает сколы материала.

Распиловку тонкого листового материала рекомендуется производить пилами с соответствующей формой пластин из твердого сплава (рис. 2) или из быстрорежущей стали с симметричным зубом и разводом $0,3-0,5$ мм на сторону.

Для распиловки материалов зубья пил должны быть разведены симметрично в обе стороны.

Материал толщиной до 45 мм разрезают дисковыми фрезами из быстрорежущей стали или фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами. При распиловке инструментом из быстрорежущей стали рекомендуется выбирать скорости резания $150-400$ м/мин и подачи $0,2-0,5$ мм/зуб, а твердосплавным инструментом — соответственно $600-1000$ м/мин и $0,07-0,3$ мм/зуб.

Разрезку ОКСАФЕНА и КАРБОНИТА производят также корундовыми и алмазными абразивными кругами. Обработку корундовыми кругами толщиной $3-6$ мм и диаметром 350 мм следует производить со скоростью резания до $50-60$ м/с и подачи $0,01-0,6$ м/мин — в зависимости от

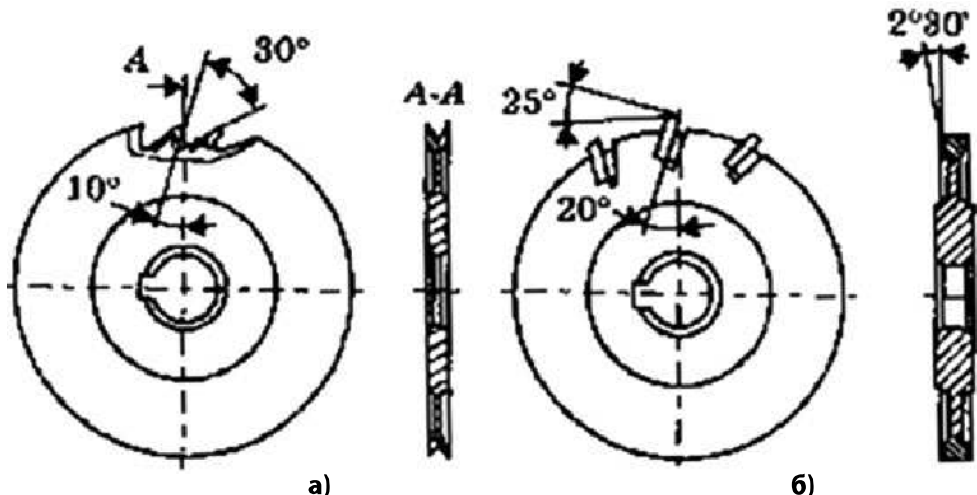


Рис. 2. Дисковые пилы: а) с разводом зубьев; б) со вставными зубьями

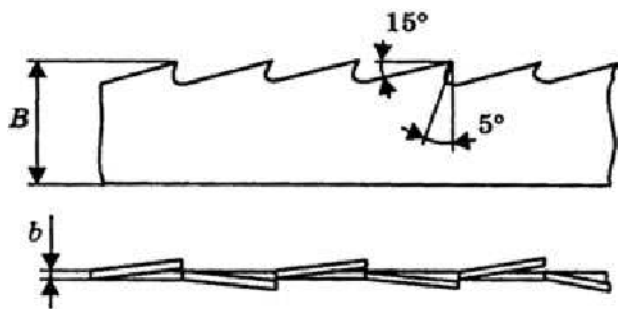


Рис. 3. Ленточное полотно для обработки пластмасс

толщины и направления распиловки относительно армирующих волокон.

Для получения деталей фасонного профиля, резки труб, стержней и других профилей применяют разрезку на ленточных станках. Используют стандартные ленточные пилы (рис. 3) шириной 10–25 мм, толщиной 1,0–1,5 мм с 1,5–5,0 зубьями на 10 мм длины пилы.

Шлифование и полирование

Шлифование можно производить на станках, оснащенных специальными дисками, или ручным способом с помощью наждачной шкурки. Используют этот процесс в основном для снятия заусенцев с деталей, полученных прессованием, для подготовки деталей к склеиванию, а также для обработки поверхностей, подвергающихся механической обработке, если это требуется по условиям эксплуатации.

Полирование деталей производят с целью устранения с их поверхностей следов предшествующих технологических операций и поверхностных дефектов, полученных в процессе изготовления (например, матовости поверхностей), а также придания им блеска. Полировальные круги изготавливают наборными из тканей (хлопчатобумажной, байковой, суконной). Твердые полировальные круги набираются в шайбы (диаметром 200–400 мм) и толщиной 60–100 мм, зажатые с двух сторон металлическими прокладками. Применяют их для выведения рисок, царапин и других глубоких дефектов.

Окончательное полирование производят мягкими и самоох-

лаждающимися дисками. Самоохлаждающиеся диски изготавливают путем набора и уплотнения пакета из хлопчатобумажных дисков диаметром 150–300 и 40–75 мм, чередуя каждый диск большого диаметра двумя меньшими. Толщина пакета обычно составляет 100–120 мм.

Для материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ применяют сухое полирование. В качестве полировальных паст для сухого полирования используют абразивные компоненты (карборунд, корунд, оксид хрома и др.) в различных соотношениях с воскоабразивными веществами или маслами (парафином, церезином, пчелиным воском, машинным, веретенным и другими маслами).

Результаты испытаний и практики применения

Проведенные в 2006 г. испытания деталей подвижных соединений зерноуборочных комбайнов из ОКСАФЕНА подтвердили целесообразность применения данного материала в узлах комбайнов, работающих в условиях значительных знакопеременных динамических нагрузок, ограничения или отсутствия смазки, наличия абразивов и т.д.

Зерноуборочный комбайн (рис.4) — сложная машина, которая одновременно выполняет несколько функций: скашивание хлебной массы, обмолот, очистку зерна, измельчение соломы, передвижение агрегата с заданной скоростью по полю в процессе работы.

Жатка — первый в технологическом процессе уборки сложный механизм, который «встречает» хлебную массу, и предназначен для скашивания (подбора валков) хлебостоя, транспортировки его к центру жатки и подачи сформированной массы в наклонную камеру к молотильному барабану.

Основная нагрузка в данном случае приходится на шнек жатки и глазки (рис. 5), в нем установленные. Этот



Рис. 4. Общий вид зерноуборочного комбайна

механизм должен обеспечить своевременную подачу большого количества хлебной массы в наклонную камеру.

С увеличением пропускной способности комбайна (сегодня она достигает 10–14 кг/с) условия эксплуатации подвижных соединений жатки ужесточаются.

Именно поэтому эксплуатационные характеристики полимерных композиционных материалов, предназначенных для изготовления деталей подвижных соединений зерноуборочных комбайнов, должны отвечать следующим требованиям:

- повышать надежность и долговечность машин,
- увеличивать доремонтный срок службы и продолжительность периодов эксплуатации между техническими обслуживаниями,
- снижать стоимость эксплуатации машин.

Глазки шнека жатки — одни из наиболее часто выходящих со строя

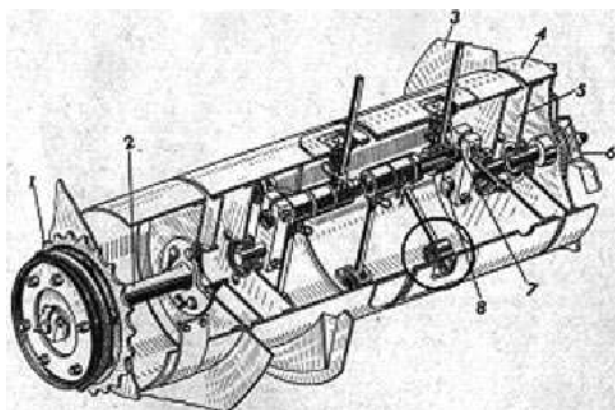


Рис. 5. Шнек жатки комбайна «Дон-1500» (глазок обведен кругом): 1 — приводная звездочка; 2 — ступица; 3 — спиральная лента; 4 — корпус; 5 — диск; 6 — рычаг регулировки пальчикового механизма; 7 — эксцентриковый механизм; 8 — вал управления пальчиковым механизмом

деталей зерноуборочных комбайнов. Серийные глазки изготавливаются из металлокерамики, углепластика, множества полимерных материалов, но в любом случае они быстро достигают предельного износа и требуют замены уже через один, реже два сезона работы комбайна.

Глазок работает при давлении 0,45 МПа и максимальной скорости скольжения пальца по его поверхности 0,4–0,45 м/с. Деталь работает в режиме сухого абразивного изнашивания в присутствии почвы, зернового и соломистого вороха, растительных остатков. Смазка отсутствует.

Экспериментальные глазки шнека жатки изготавливали из ОКСАФЕНа методом прямого компрессионного прессования. Детали были переданы на полевые испытания и установлены на зерноуборочный комбайн «Дон-1500». Нарботка комбайна, укомплектованного экспериментальными деталями на уборке ранних зерновых колосовых культур, составила 164 га при намолоте зерна 538 т.

Микрометраж глазков производился в конце уборочной кампании (рис. 6) совместно специалистами Днепропетровского государственного аграрного университета и инженерно-технической службой предприятия, в процессе которого было установлено следующее:

- на протяжении наработки комбайна 164 га глазки отличались высокой надежностью в работе;
- выхода со строя или поломок, других нежелательных явлений в процессе эксплуатации экспериментальных глазков не наблюдалось;
- глазки находятся в работоспособном состоянии, по результатам испытаний замечаний нет;
- износ глазков в среднем составляет 22–23% от предельно допустимого, и они рекомендованы к дальнейшим испытаниям.



Рис. 6. Пальчиковый механизм шнека жатки в разобранном виде при проведении микрометража

Как видно из результатов микрометража, износ глазков колеблется в пределах от 0,37 до 0,56 мм, что можно объяснить неравномерной подачей хлебной массы к центру шнека жатки, следовательно, нагрузка на каждый глазок будет разной и износ неравномерным. Однако даже при максимально зафиксированном значении износ (всего лишь у одного глазка) составляет немногим более 25 % от предельно допустимого износа, равного 2,0 мм. Исходя из этого, можно сделать заключение, что ресурс экспериментальных глазков должен быть не ниже четырех уборочных сезонов при сезонной наработке комбайна 160–170 га.

Скребки зерновых элеваторов (рис.7) предназначены для транспортировки зерна и зерносмесей в различных плоскостях и применяются как в зерноуборочных комбайнах, так и в зерносушильных комплексах. При этом нагрузка на элеваторы в зерносушильных комплексах намного больше, чем в зерноуборочных комбайнах, так

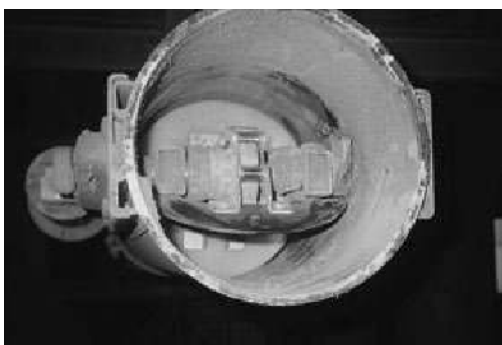


Рис. 6. Пальчиковый механизм шнека жатки в разобранном виде при проведении микрометража

как работают они практически круглый год. Производственные испытания экспериментальных скребков на зерносушильном комплексе Pektus (Германия) показали их преимущества по сравнению с серийными. Уже через 5120 ч работы у серийных скребков появились дефекты формы и заметный износ рабочих поверхностей, чего не было у экспериментальных скребков. Скрепки оставлены для дальнейших испытаний.

В дополнение к вышесказанному необходимо отметить, что в настоящий момент успешно завершены испытания антифрикционных полимерных композиционных материалов ОКСАФЕН и КАРБОНИТ рядом машиностроительных предприятий, и они уже сейчас применяются:

- 1) в погружных насосных установках типа УЭЦН;
- 2) на городском пассажирском транспорте — втулки шкворней поворотных цапф подвески троллейбусов и автобусов;
- 3) в компрессорной технике — лопатки вихревых компрессорных станций цементного производства;
- 4) в лесоперерабатывающей промышленности — ползуны направляющих пилорам.

Заключение

Многолетняя эксплуатация изделий в высоконагруженных узлах трения всевозможных агрегатов, работающих в самых различных условиях эксплуатации, доказала, что использование износостойких композиционных материалов позволяет значительно увеличить ресурс механизмов, повысить их надежность за счет низкого коэффициента трения, снизить затраты при ремонте и эксплуатации. Применение антифрикционных полимерных композиционных материалов КАРБОНИТ и ОКСАФЕН позволяет снизить количество внеплановых простоев оборудования и, как следствие, обеспечить снижение расходов на его ремонт и обслуживание.