

щий инструмент такой, как мелкоразмерные метчики, сверла, развертки, зенкера, протяжки и другой тонкий и длиномерный инструмент, предназначенный для механической обработки нержавеющей, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. – Л.: ЛГУ, 1977, - 143 с.
2. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов. – Л.: ЛГУ, 1984, - 192с.
3. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов./Под ред. М.Х. Шоршорова – М.: Наука, 1984, - 186 с.
4. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989, - 255 с.: ил.
5. Ф.С.Новик Математические методы планирования экспериментов в металловедении, ч. IV, М., МИСиС, 1971.

УДК 621.793

Коробейников В.В., Сокоров И.О., Володько А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОПЛАВЛЕННЫХ И НЕОПЛАВЛЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время в связи с тем, что все больше узлов и агрегатов автомобилей работает в тяжелых эксплуатационных условиях – при постоянно возрастающих скоростях и нагрузках – серьезно ужесточаются требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности свойствам рабочих поверхностей деталей. Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свойствами, которые для Республики Беларусь являются статьей импорта, малоэффективно из-за их высокой стоимости. Решить проблему можно с помощью нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности изношенных деталей.

Проблема повышения надежности машин и оборудования в условиях интенсификации производства и энерго- и ресурсосбережения ставит задачу создания новых технологических процессов и применение новых материалов.

Повышение износостойкости и антифрикционных свойств поверхностей трения актуально для многих отраслей техники. Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, на замену которых ежегодно расходуются огромные средства.

Для получения покрытий в настоящее время используют широкую гамму материалов: черные и цветные металлы, сплавы, керамика, композиционные материалы на различной основе. Выбор конкретного материала из столь широкой номенклатуры определяется как требуемыми эксплуатационными параметрами упрочняемой поверхности, так и экономическими соображениями. Как известно, при газотермическом нанесении покрытий затраты на материал обычно являются основной статьей расходов. Поэтому в настоящее время активно ведется разработка новых материалов, обладающих низкой стоимостью при высоком уровне обеспечиваемых свойств.

Особым случаем применения покрытий являются износостойкие покрытия системы Ni – Cr – В – Si, в том числе композиции из них. Такие покрытия позволяют не только увеличить ресурс работы машины и восстановить изношенные детали, но и заменить дефицитные и дорогостоящие материалы более дешевыми. Покрытия на основе Ni – Cr – В – Si обладают

высокой твердостью, износостойкостью, устойчивы к химически-активным средам, имеют достаточно высокую рабочую температуру [1].

В работе проанализированы существующие методы повышения адгезии газопламенных покрытий на деталях, работающих в условиях трения, изучена возможность получения покрытий из композиций на основе самофлюсующихся материалов.

Наиболее приемлемым для использования в различных технологических линиях является метод газопламенного и плазменного напыления. Универсальность и эффективность этих методов напыления антифрикционных и износостойких покрытий обуславливает возможность их применения во всех типах производства, в ремонтных организациях и подразделениях. Но газопламенное напыление наиболее дешевле по сравнению с плазменным напылением и легко реализуемо на предприятии и вследствие чего получило широкое распространение во всех типах производств из-за его универсальности и эффективности. Однако низкая скорость напыляемых частиц приводит к тому, что этот способ напыления позволяет получить покрытия со значительной пористостью (до 10%), которую можно удалить различными видами оплавления.

Сущность процесса газопламенного напыления заключается в расплавлении напыляемых материалов газовым пламенем и распылении их сжатым. Источником тепловой энергии является струя продуктов сгорания горючих газов (ацетилен, природный газ, пропан-бутан, водород, МАФ и др. в смеси с кислородом). Напыляемый материал подается в высокотемпературную зону пламени в виде порошка, стержней или проволоки.

Для газопламенных аппаратов типичны скорости потока газа ниже 700 м/с, частиц порошка до 50—100 м/с, производительность напыления 1...10 кг/ч, прочность сцепления до 50 МПа, температура частиц распыляемого материала близка к температуре плавления.

При газопламенном напылении сравнительно невысокая температура пламени (до 3500 К) ограничивает круг распыляемых материалов. С помощью данного метода могут наноситься покрытия из относительно легкоплавких материалов (цинк, медь, алюминий, сплавы на основе никеля и железа, полимерные материалы). Однако низкая стоимость применяемого оборудования обеспечивает этому методу широкое применение.

Основным недостатком данного метода является низкое качество покрытий из-за относительно невысоких скоростей напыляемых частиц и большого содержания окислов в покрытии. Значительно ограничивают применение данного метода низкое теплосодержание струи и малый процент использования напыляемого материала. Необходимость зажигания и регулирования пламени вызывает неудобства работы с аппаратурой и затрудняет автоматизацию процесса. Основные достоинства данного метода:

- возможность нанесения многослойных покрытий из различных металлов и сплавов, в том числе при сочетании плотных и твердых нижних слоев с мягкими верхними, последнее имеет большое значение для улучшения прирабатываемости износостойких покрытий;
- возможность нанесения покрытий на большие и малые поверхности практически любой толщины;
- покрытие может наноситься равномерно, с точным контролем толщины слоя;
- процесс плазменного напыления может быть автоматизирован и механизирован, что открывает возможности применения его в крупносерийном и массовом производствах.

Одним из упрочняющих способов термической обработки напыленных покрытий является оплавление покрытий из композиций на основе самофлюсующихся материалов. Сущность его заключается в том, что напыленный слой и прилегающий к нему материал основы должны быть нагреты до температуры, близкой к температуре плавления напыляемого материала. При этом происходит уплотнение покрытия, а прочность сцепления его с основой возрастает до 180...220 Мпа [2].

Механизм процесса оплавления напыленных покрытий из порошковых хромоникелевых сплавов, легированных бором и кремнием, можно представить следующим образом. В

запыленном слое в процессе напыления на поверхности расплавленных или нагретых до высоких температур частиц образуются тонкие пленки окислов бора, кремния и хрома. Термодинамический потенциал реакции окисления показывает, что в первую очередь будет происходить окисление бора и кремния. Однако содержание этих элементов в сплавах сравнительно мало и наибольшее количество окислов на поверхности образует хром.

В процессе нагрева оплаваемого покрытия и основы кислород вступает в реакции с бором, кремнием и хромом, образуя окислы SiO_2 , B_2O_3 , Cr_2O_3 . Эти окислы способны объединяться с образованием легкоплавких шлаков. Основная роль при этом отводится борному ангидриду, который, химически воздействуя на окисную пленку основного металла и частицы оплаваемого покрытия, связывает окислы в бораты.

Качество оплавленного слоя во многом зависит от источника нагрева и технологии оплавления. Процесс оплавления покрытий, напыленных самофлюсующимися сплавами, осуществляют путем нагрева покрытия и поверхности изделия газокислородным пламенем, токами высокой частоты (ТВЧ), в печах с контролируемой атмосферой, электронным и ионным лучом, микроплазмой или в жидких теплоносителях.

Оплавление напыленных слоев с помощью газокислородного пламени является наиболее распространенным способом в силу его универсальности и относительно простого оборудования. Оплавление осуществляется с помощью многопламенных закалочных плоских или кольцевых горелок нормальным или слегка науглероживающим пламенем после предварительного подогрева всей детали. Предварительный подогрев детали производят горелкой или в печах для отжига. О нормальном ходе процесса судят по «запотеванию» поверхности покрытия, т.е. при переходе в пластичное состояние покрытие начинает блестеть. Эту операцию должны выполнять квалифицированные рабочие. После оплавления необходимо обеспечить медленное охлаждение в асбесте, песке и т.п.

Одним из факторов, оказывающих влияние на качество покрытий, является химический состав и размер частиц, наносимых на рабочую поверхность детали.

При выборе материалов для газопламенного напыления учитывались следующие положения:

- высокие давления в месте контакта требуют сравнительно высокой твердости покрытия. В противном случае они могут продавливаться. Эти же условия накладывают отпечаток и на толщину покрытия, которая должна быть не менее 1,5 мм;

- гранулометрический состав. Слишком мелкие частицы перегреваются и, слипаясь, засоряют сопло горелки, а слишком крупные не успевают плавиться и ухудшают качество покрытия. Одним из факторов, оказывающих влияние на равномерность подачи порошкового материала, является его текучесть. Большинство порошков, применяемых при напылении, обладает наилучшей текучестью при зернистости 40...80 мкм. Форма частиц в идеальном случае должна быть сферической, чтобы можно было обеспечить равномерную подачу и равномерный их прогрев;

- для повышения физико-механических свойств покрытий, полученных газопламенным напылением, напыленные слои должны подвергаться термической обработке. Наиболее оптимальным способом термической обработки напыленных покрытий является их оплавление. При этом методе термической обработки пористость покрытий можно свести к нулю, снять остаточные напряжения и значительно повысить физико-механические свойства покрытий. Для применения термической обработки в виде оплавления напыленных покрытий необходимо обеспечить их самофлюсование. Такими свойствами обладают порошковые сплавы, легированные бором и кремнием. Бор и кремний в процессе оплавления образуются борсилкаты, которые раскисляют поверхность частиц и основы, увеличивают смачиваемость поверхностей и снижают температуру плавления сплава. Гранулометрический состав порошка может быть рассчитан.

Выбор материалов для напыления является одним из важнейших этапов в процессе нанесения покрытия. Выбор материалов производится в зависимости от свойств поверхности (в данном случае твердости) которые нужно получить. Для обеспечения максимальной твер-

дости и износостойкости при минимальной пористости покрытий наилучшими материалами для напыления являются самофлюсующиеся сплавы [3, 4].

На мировом рынке представлены самофлюсующиеся сплавы производства известной американской фирмы Sulzer Metco на основе Ni, Cr легированные различными элементами. Но из-за высокой стоимости этих порошков в данной работе были использованы порошки производства СНГ (НПО «Тулачермет», Россия и Торезского завода «Твердосплав», Украина). При этом для достижения определенных физико-механических и триботехнических свойств и для удешевления напыленного покрытия были разработаны композиции различных порошков, которые представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Композиции для тяжело нагруженных валов

№ композиции	Состав композиции (в объемных долях)
1	ПТ-НА-01 (1/3) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (2/3)
2	ПТ- ЮНХ16СР3 (1/2) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/2)
3	ПТ-ЮНХ16СР3 (1/3) + ПГ-19М-01 (2/3)
4	ПТ-НА-01 (1/3) + ПГ-19М-01 (2/5) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/3)
5	ПР-НД42СР (1/3) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/3) + ПТ-НА-01 (1/3)
6	ПТ-19Н-01 (1/2) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/2)

Таблица 2

Композиции для вытяжных роликов

№ композиции	Состав композиции (в объемных долях)
1	ПГ-СР3 (1/2) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/2)
2	ПР-НД42СР (1/2) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/2)
3	ПГ-10К-01 (1/2) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/2)
4	ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/3) + ПГ-СР3 (1/3) + ПГ-10К-01 (1/3)

На процесс дробеструйной обработки влияет вид абразивного материала, форма, размеры, требования, предъявляемые к свойствам покрытий.

Для подготовки поверхностей деталей под напыление был выбран метод дробеструйной обработки колотой чугунной дробью ДЧК1,8 545 ГОСТ 11964-81 грануляцией 1...2 мм. Режимы обработки следующие:

- давление сжатого воздуха 0,6 МПа;
- дистанция обработки 40...50 мм.

Для оплавления образцов был выбран способ оплавления газопламенной горелкой типа «Москва-6» на установке ТРУ-БЛИ с пультом управления ПУ – 1 со следующими режимами:

- давление МАФ смеси-0,1 МПа;
- давление кислорода 0,3 МПа;
- давление воздуха 0,18 МПа;
- дистанция напыления 200 мм;
- производительность 4,5 кг/ч.

Оплавление осуществлялось до «запотевания» поверхности (температура 1123-1273 К).

После оплавления упрочненная поверхность образцов обрабатывалась эльборовым кругом до шероховатости 0,8 Ra. Толщина напыленного слоя после обработки – 2,5-3,5 мм.

В настоящей работе испытания образцов на износостойкость проводились экспресс-методом на машине торцевого трения по схеме диск – втулка. Основой для машины торцевого трения является настольный вертикально-сверлильный станок модели 2Н112. Изнашивание образца 1 по схеме 1, осуществляется контртелом 6, представляющего собой втулку из твердого сплава ВК8. Нагрузка Р на образец 1 осуществляется набором грузов через шпин-

дель-рейку. На образце 1 в процессе трения образуется канавка, глубина которой представляет величину износа. Была задана нагрузка на образец 60 Н при скорости скольжения $V_{ск}=1,8$ м/с.

Скорость изнашивания определяется как среднее арифметическое пяти замеров по формуле [5]:

$$V = h/t, \quad (1)$$

где h – линейный износ за период испытаний, мкм; t – период испытаний, час.

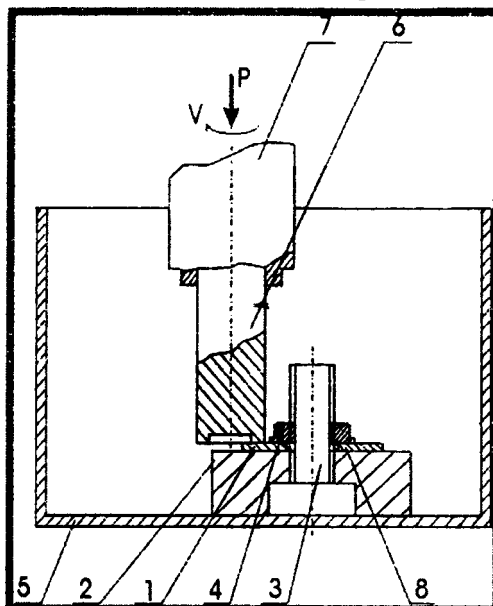


Рисунок 1- Схема установки для проведения испытаний износостойкости:

1 – испытуемый образец; 2 – подставка; 3 – шпилька;

4 – фиксирующая гайка; 5 – емкость;

Износостойкость рассчитывалась как величина, обратная скорости изнашивания [5]:

$$I = 1/V. \quad (2)$$

Далее строились сравнительные диаграммы износостойкости рис. 2 и 3.

$I \times 10^{-3}, ч/мм$

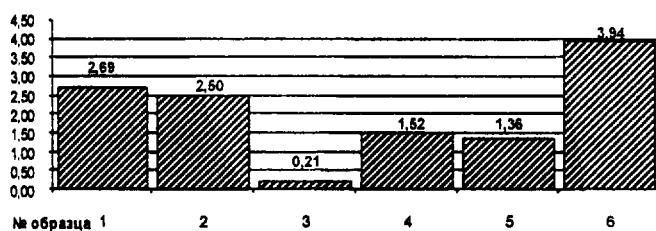


Рисунок 2 - Сравнительная диаграмма износостойкости покрытий

$I \times 10^{-3}, ч/мм$

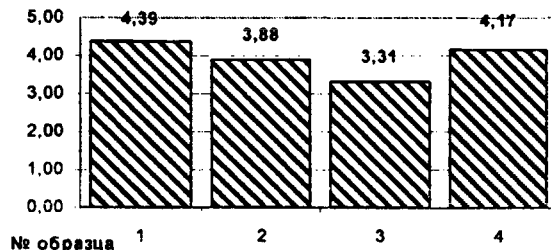


Рисунок 3 - Сравнительная диаграмма износостойкости оплавленных покрытий на основе самофлюсов

Анализ результатов проведенных исследований показал, что можно рекомендовать для упрочнения тяжело нагруженных валов композиции порошков марки ПТ-НА-01, ПТ-ЮНХ16СРЗ, ПТ-19Н-01 и ПР-Х4Г2Р4С2Ф. Эти покрытия можно обрабатывать лезвийным инструментом с последующим шлифованием. Однако у неоплавленных покрытия наблюдается пористость порядка 5% и ниже сопротивляемость агрессивным средам. Пористость может быть использована для задержки смазки, что существенно при недостаточной смазке между трущимися поверхностями. Для волочильного оборуд-

дования рекомендованы износостойкие покрытия из композиций порошков марки ПП-СРЗ, ПГ-10К-01 и ПР-Х4Г2Р4С2Ф. У этих покрытий высокая твердость и коррозионная стойкость. Рекомендуемая последующая обработка – шлифование. Структура покрытия близка к монолитной (однородной).

ЛИТЕРАТУРА

1. Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления.- Мн. Навука і тэхніка, 1990.-176 с. 2. Кудинов В.В. Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. - М.: Металлургия, 1992. – 432 с. 3. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 544 с. 4. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. - Мн.: Беларуская навука, 1998. - 583 с. 5. Исследование и изобретательство в машиностроении. Практикум / Под общ. Ред. М.М. Канне. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 237 с.

УДК 621.923.7

Киселева Н.А., Синькевич Ю.В, Моисеенко С.И.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ– ВКЛАД В ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Эпоха индустриализации в Европе постепенно сменяется эрой инновационной, когда решающее развитие приобретают наукоемкие технологии и разработки. В конце XX столетия Организация экономического сотрудничества и развития начала реализовывать концепцию создания национальных инновационных систем. Задача построения конкурентоспособной и динамичной экономики, основанной на знаниях, стоит сегодня и перед Беларусью. Решением правительства Республики Беларусь разработана и одобрена Концепция национальной инновационной системы. Главной целью разрабатываемой программы является перевод национальной экономики в режим интенсивного инновационного развития в рамках белорусской экономической модели. Она предусматривает взаимную увязку всех звеньев инновационной цепочки: научная идея – научная разработка – освоение в производстве – серийное производство. Главой государства утверждены приоритетные направления научно-технической деятельности, фундаментальных и прикладных научных исследований в Республике Беларусь на 2006–2010 годы. Ускорение социально-экономического развития страны предусматривает всемерную интенсификацию производства на основе научно-технического прогресса. В разрезе отраслей доминирующее положение на рынке инновационной продукции занимают предприятия машиностроения и металлообработки, топливной, химической и нефтехимической промышленности [1]. Поэтому особенно важно уделять пристальное внимание развитию и продвижению технологий именно в этих отраслях. А достижения в машино- и приборостроении зависят, в свою очередь, от процессов обработки металлов.

В машиностроении с каждым годом все шире используются труднообрабатываемые стали и сплавы, применение которых позволяет уменьшить массу конструируемых машин, повысить их мощность и улучшить эксплуатационные характеристики. Нетрадиционные методы обработки, позволяющие получать требуемую точность и качество, находят все боль-