

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

© 2011 М.В. Ненашев, И.Д. Ибатуллин, А.Н. Журавлев, С.Ю. Ганигин, В.В. Усачев,
Д.Ю. Карякин, А.С. Дьяконов, В.Р. Паклев, А.В. Рахимова

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 10.11.2011

В статье описаны преимущества детонационных покрытий и показана область их применения в технологии машиностроения, включая упрочняющую обработку деталей узлов трения машин.

Ключевые слова: детонационные покрытия, технология машиностроения, твердый сплав, корунд, многослойные покрытия, металлообрабатывающий инструмент, абразивные круги, балансировка.

В современном трибоматериаловедении важное место занимают износостойкие твердые материалы: керамики, твердые сплавы и др. Данные материалы широко используются в технологии машиностроения для повышения ресурса наиболее быстро изнашивающихся элементов машин – металлообрабатывающего инструмента.

Традиционно твердые сплавы получают в результате длительной и энергоемкой технологии спекания порошков, включающей операции смешивания порошков с пластификатором, сушку порошка, прессования изделия, отгонку пластификатора, спекание в вакууме, окончательное спекание при избыточном давлении защитного газа. Учитывая, что эксплуатационные характеристики режущего инструмента зависят от прочности и геометрии рабочих кромок целесообразно геометрию инструмента обеспечивать изготовлением основы соответствующей формы, а прочностные, антифрикционные и др. свойства обеспечивать нанесением покрытий. Так для нанесения твердосплавных покрытий наиболее перспективным методом является детонационное напыление твердосплавных порошков с помощью автоматизированных детонационных

гии в машиностроении. E-mail: tm@rambler.ru
Рахимова Алёна Валерьевна, аспирант кафедры нанотехнологий в машиностроении комплексов. Данный метод обладает рядом существенных преимуществ.

1. Высокая производительность детонационных установок позволяет вести обработку изделий в промышленных масштабах.

2. Имеется возможность нанесения многослойных, композиционных, градиентных и др. покрытий.

3. Высокая адгезия покрытий к различным основам позволяет покрытиям функционировать при давлениях резания.

4. Энергосбережение при эксплуатации детонационных комплексов обеспечивается использованием для напыления энергии взрыва газовых смесей.

5. Механические свойства твердосплавных детонационных покрытий не уступают по прочности спеченным твердым сплавам.

6. При детонационном напылении основа не подвергается значительному разогреву, как при наплавке. При этом покрытие ложится равномерно, копируя профиль основы.

7. Для нанесения детонационных покрытий требуется меньше производственных площадей и технологического оборудования, чем для спекания.

8. При нанесении покрытий дорогие материалы (твердые сплавы) расходуются более экономно.

1 Инструмент для пластического сверления отверстий

В последние годы в отечественной промышленности начала находить применение новая технология формирования отверстий, осуществляемая методом пластического сверления (flow drilling). Процесс формирования отверстия основывается на разогреве материала под действием трения, возникающего в результате действия комбинации осевой силы подачи и относительно высокой скорости вращения инструмента (пуансона). Разогретый металл становится пластичным, что позволяет выдавливать его из зоны формирования отверстия за счет осевой нагрузки, приложенной к пуансону. Данный процесс

Ненашев Максим Владимирович, доктор технических наук, проректор по научной работе, профессор кафедры технологий твердых химических веществ.

E-mail: ttxb@inbox.ru

Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, доцент кафедры нанотехнологии в машиностроении. E-mail: tribo@rambler.ru

Журавлев Андрей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры технологии твердых химических веществ

Ганигин Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии твердых химических веществ. E-mail: ttxb@inbox.ru

Усачев Василий Владимирович, аспирант кафедры нанотехнологий в машиностроении

Карякин Дмитрий Юрьевич, аспирант кафедры нанотехнологий в машиностроении

Дьяконов Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры нанотехнологии в машиностроении

Паклев Владимир Рашитович, аспирант кафедры техноло-

позволяет изготавливать отверстия в тонкостенных деталях с возможностью последующего нарезания в них качественной резьбы (технологии фирм «FormDrill», «Zecha», «Centerdrill» и др.), за счет того, что на обратной стороне отверстия формируется вытянутый участок, образующий подобие вставленной в отверстие втулки. Высота получаемой втулки может превышать толщину материала до 4-х раз.

В настоящее время процесс пластического сверления находит применение для получения: резьбовых втулок; подшипниковых втулок; втулок под пайку; сквозных отверстий; сквозных отверстий с уплотненной кромкой для круглых профилей. Помимо формирования отверстий, с использованием принципа пластического течения возможна реализация и других важных технологических процессов, включая формирование фитингов, приваривание втулок, сварка листовых материалов и др.

Специальная геометрия инструмента (пуансонов) и использование для его изготовления твердого сплава обеспечивают высокую стойкость инструмента до нескольких тысяч операций. При этом инструмент не требует обслуживания (перетачивания).

К преимуществам данного технологического процесса также можно отнести возможность формирования отверстий под разными углами; повышенный момент затягивания резьбы и высокая допустимая нагрузка подшипниковых втулок; простота и надежность при практической реализации; бесстружечный процесс формирования отверстий и др.

Однако наряду с достоинствами описанного метода имеется и недостаток, заключающийся в сложности изготовления и дороговизне пуансонов, а также в их высокой теплопроводности, благодаря которой формируется «паразитный» тепловой поток из зоны формирования отверстий через тело инструмента в шпиндель станка. Данный тепловой поток становится причиной неоправданного расхода электроэнергии и снижения эффективности обработки.

В лаборатории наноструктурированных покрытий разработана новая конструкция и технология производства пуансонов для пластического сверления, обеспечивающие снижение стоимости и повышение эффективности инструмента. При этом учитывались следующие требования к инструменту.

1. Способность сохранять прочностные свойства (красностойкость) при нагреве до $600...650^{\circ}\text{C}$ (для цветных металлов). При этом материал должен обладать достаточным запасом пластичности, чтобы не разрушаться от ударов и вибраций.

2. Материал должен иметь низкую теплопроводность, чтобы генерируемое при трении тепло в большей степени производило работу пластического сверления, а не отводилось в шпиндель станка.

3. Инструмент должен быть простым и экономичным в изготовлении, хранении и эксплуатации.

4. Поверхность должна иметь малую адгезию к обрабатываемому материалу и обладать высокой стойкостью к коррозии, термостойкостью и износостойкостью.

Вышеописанные требования трудно обеспечить, при использовании одного материала. В таком случае наиболее рациональным решением будет использовать композицию из основного материала и функционального покрытия. Исходя из этого разработанный инструмент для пластического сверления, предложено изготавливать из быстрорежущей стали с нанесением на формообразующие участки инструмента (расширяющую, калибрующую и торцующую) промежуточного керамического теплоизолирующего слоя (оксида алюминия), затрудняющего теплоотвод из зоны обработки в инструмент и далее в шпиндель станка, и внешнего износостойкого покрытия (твердого сплава), обеспечивающего долговечность инструмента (рис. 1).

Применение быстрорежущих сталей в качестве основного материала обусловлено тем, что во-первых, эти стали имеют низкую теплопроводность, что позволяет дополнительно уменьшить теплоотвод из зоны обработки; во-вторых, быстрорежущие стали дешевле и легче обрабатываются, чем твердые сплавы, что позволяет сделать инструмент более дешевым; в-третьих, быстрорежущие стали более устойчивы к ударам и вибрациям, чем твердые сплавы, что повышает эксплуатационную надежность инструмента; в-четвертых, быстрорежущие стали имеют высокую красностойкость, позволяющую без снижения прочности работать в условиях циклического нагрева до $600...650^{\circ}\text{C}$.

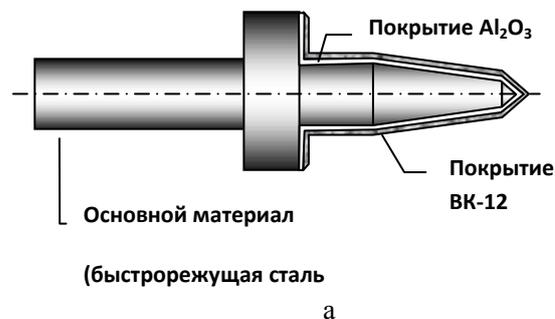


Рис. 1. Схема расположения слоев покрытий в пуансоне для пластического сверления.

Известно, что температура разогрева инструмента для пластического сверления при эксплуатации не превышает $0,5^{\circ}\text{T}_{\text{пл}}$, где $\text{T}_{\text{пл}}$ – температура плавления обрабатываемого материала. Поэтому данный инструмент позволит обрабатывать конструкционные материалы с температурой плавления до 1200°C , например алюминиевые и медные сплавы.

Для нанесения твердосплавного и теплоизолирующего покрытий на инструмент используется дтонационный метод, позволяющий:

- обеспечить высокую скорость нанесения покрытий (несколько секунд на один инструмент);

- нанести покрытие с высокой адгезией (до 80 МПа) без значительного разогрева и деформации основы;

- сформировать в инструменте благоприятные остаточные напряжения сжатия, повышающие стойкость инструмента к циклическим нагрузкам.

После детонационного напыления твердосплавного покрытия на инструмент калибрующая и торцующая части шлифуются в размер требуемого отверстия, а расширяющая часть остается без шлифования. При этом благодаря естественной шероховатости поверхности покрытия ($R_z > 30$), полученного детонационным методом, в расширяющей части будет обеспечено более интенсивное тепловыделение при трении в зоне формирования отверстия и, как следствие, более высокая производительность обработки.

Для получения дополнительного эффекта при пластическом сверлении предложено перед воздействием пуансона предварительно разогревать место обработки от внешнего источника тепла (газовой горелки). Исследования показали, что при этом появляется возможность использования менее мощного и дорогостоящего оборудования для формирования отверстий; существенно снижаются осевые нагрузки, что важно при обработке тонкостенных деталей; время получения отверстия сокращается на порядок; появляется возможность обработки более толсто-стенных заготовок; повышается долговечность инструмента за счет снижения осевых нагрузок; повышается качество получаемых отверстий.

2 Сменные режущие пластины для токарной обработки

В настоящее время на смену режущему инструменту с напаянными твердосплавными вставками приходят резцы со сменными режущими пластинами (СРП), основные типы и размеры которых регламентированы ГОСТ 28101-89, ГОСТ 24996-81, ИСО 5610-89 и др. В лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ разработаны новые конструкция и технология изготовления СРП, обеспечивающие повышение ударной прочности и снижение стоимости инструмента.

Предложенный режущий инструмент (рис. 2) состоит из державки – 1 с запрессованным в нее штифтом 2, на который надеты сменные режущие пластины, представляющие собой металлические шайбы 3, с нанесенным на рабочую поверхность твердым покрытием 4. Сменные режущие пластины разделены между собой слоем высоковязкой демпфирующей жидкости 5. Сменные режущие пластины фиксируются на державке с помощью прижимной лапки 6, которая через пружину 7 стягивается винтом 8. Данный инструмент с СРП включает стопку сменных режущих пластин, разделенных демпфирующим материалом. При этом режущие

пластины состоят из профилированного основания и нанесенного на него твердого покрытия, а нижние пластины в стопке выполняют функцию опорной пластины.

Технология изготовления СРП включает следующие операции: штампования листовой стали с целью придания СРП требуемой формы (при необходимости); вырубки пластин из листа; детонационного напыления твердых сплавов на пластины; шлифования пластин.

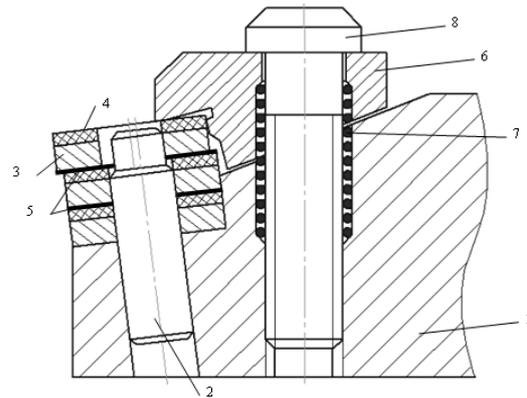


Рис 2. Схема резца с СРП.

По данной технологии были изготовлены СРП типа RNGA 16T1M0-PR5 (по стандарту ISO 1832) (рис. 3а) и аналогичные пластины для чистовой обработки с канавкой для снятия стружки (рис. 3б). Для изготовления СРП использовалось твердосплавное (ВК-12) покрытие. Данные пластины сравнивали со стандартными твердосплавными пластинами с канавкой и без нее.

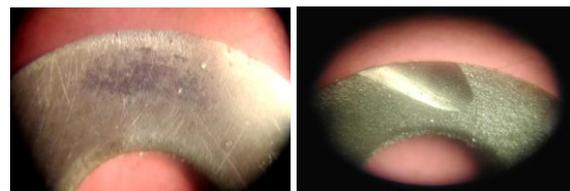


Рис. 3. Вид режущих кромок СРП с детонационным напылением: а – без канавки; б- с канавкой.

Для проведения испытаний нового инструмента на стойкость производили резание цилиндрической заготовки из алюминиевого сплава АК-6 (в закаленном и состаренном состоянии) диаметром 50 мм при следующих режимах: длительность резания 7,5 минут; частота вращения шпинделя 500 мин⁻¹; продольная подача 0,2 мм/об.; глубина резания 0,4 мм. После испытаний оценивали интенсивность изнашивания режущей кромки J как отношение вели-

чины линейного износа пластины к пути резания (см. табл. 1).

Для оценки качества чистовой обработки различными пластинами производили токарную обработку вышеназванного материала при режимах: частота вращения шпинделя 1000 мин^{-1} ; глубина резания $0,1 \text{ мм}$; продольная подача $0,01 \text{ мм/об}$. После обработки оценивали параметры шероховатости поверхности с помощью профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7». Результаты испытаний сведены в таблицу 1. Из полученных результатов видно, что по стойкости и качеству обработки новые СРП превосходят стандартные пластины.

Таблица 1. Сравнительные испытания стандартных СРП и пластин с твердосплавным детонационным напылением

Вид		R_{\max}	R_z	R_a	S_m	J
Стандартные		6,79	5,0	0,9	77	4×10^{-5}
		7,37	5,2	0,9	51	3×10^{-5}
Новые		9,95	7,1	1,5	103	2×10^{-5}
		3,45	2,6	0,5	44	2×10^{-5}

3 Абразивный инструмент

Среди проблем, связанных с эксплуатацией абразивных кругов можно выделить две: 1) недостаточная прочность и наличие растягивающих остаточных напряжений, которые могут вызвать разрыв круга при высоких скоростях вращения; 2) дисбаланс круга, вызывающий его биение и ухудшение качества обрабатываемых поверхностей.

Для упрочнения абразивных кругов используется нанесение керамических детонационных покрытий на боковые поверхности кругов толщиной до $0,3 \text{ мм}$. Упрочняющий эффект создается наведением сжимающих остаточных напряжений в материале круга за счет напыления покрытия, образованного расплавленными частицами оксида алюминия и последующего остывания (и сжатия) покрытия на поверхности круга. С повышением толщины покрытия величина сжимающих напряжений увеличивается,

что позволяет компенсировать растягивающие напряжения при эксплуатации абразивных кругов.

Детонационные технологии помимо упрочнения абразивных кругов можно использовать для балансировки роторных систем. Высокая (сверхзвуковая) скорость напыляемых частиц и возможность высокоточного позиционирования деталей во время нанесения покрытия, позволяет осуществить балансировку вращающихся деталей с использованием в качестве балансирующего груза порций (навесок) порошкового материала, разогреваемого и разогнанного энергией взрыва.

Для решения задачи балансировки созданием корректирующей массы путем детонационного напыления балансирующего материала, необходимо обеспечить условия совмещения пятен напыления с точкой балансировки. Такой подход требует расчета упреждения момента формирования выстрела по времени с учетом множества факторов, определяющих взаимное перемещение потока частиц и точки балансировки.

Расстояние, которое пройдет точка балансировки за время цикла выстрела $s = t_0 \cdot v$, где v – линейная скорость перемещения точки на цилиндрической поверхности роторной системы; t_0 – длительность цикла одного выстрела и перемещения порошка;

При угловых отсчетах угол упреждения задается формулой $\alpha = 360^\circ | (1 - s / C) |$, где C – длина окружности ротора в сечении нормальном к оси ротора, проведенной в точке балансировки ($C = \pi D$); D – диаметр окружности; f – частота вращения ротора.

При отсчетах времени, упреждение, отсчитываемое от момента обнаружения точки балансировки и определяющее момент выстрела, задается формулой $T = (\alpha / F_0) = | C/v - t_0 |$.

В процессе балансировки обрабатываемую деталь закрепляют на шпинделе, приводимом в движение от привода вращения. Затем роторную систему приводят во вращение до рабочих скоростей. Далее измерительная система определяет корректирующую массу и положение точки балансировки, затем на основе датчика угла поворота, скорости вращения роторной системы и времени метания частиц детонационной установкой рассчитывается время задержки выстрела. По истечению данного времени управляющая ЭВМ подает команду на осуществление выстрела в систему управления детонационной установки. Далее осуществляется заполнение ствола газовой детонирующей смесью, дозирование порошка в ствол в требуемом количестве и формируется сигнал иницирования детонации. Продуктами детонации частицы порошка нагреваются и метаются в сторону поверхности балансируемой детали. Достигая поверхности детали, частицы порошка образуют пятно напыления, формирующее корректирующую массу в точке балансировки. Далее повторяется оценка дисбаланса и

при необходимости процесс напыления повторяется до достижения корректирующей массы, обеспечивающей балансировку роторной системы с требуемой точностью.

4. Электроизолированные резьбовые соединения

При изготовлении разделителей телеметрических систем буровых колонн возникает проблема изготовления электроизолированных резьбовых соединений.

Традиционные технологии изготовления такой резьбы предусматривают нанесения эпоксидных компаундов в качестве изоляционного материала на витках конической резьбы, но требования к прочности таких материалов зачастую не выполняются. Для решения данной проблемы можно использовать двухслойное детонационное покрытие. Для этого на металлическую поверхность резьбовой части разделителя вначале наносят электроизоляционный керамический подслои (оксид алюминия), поверх которого наносят металлическое покрытие «железоникель». Ведутся работы по возможной замене керамического подслоя на полимерный, в качестве которого используются композиты на основе эпоксидной смолы.

В настоящее время в лаборатории наноструктурированных покрытий ведутся работы по созданию

опытных образцов подобных разделителей, обладающих повышенными эксплуатационными свойствами.

Заключение

1. Разработана новая конструкция и технология изготовления пуансонов для пластического сверления, содержащая теплоизоляционный керамический подслои, позволяющий уменьшить паразитный теплоотвод через инструмент в шпиндель станка.
2. Разработана новая конструкция и технология изготовления режущих сменных пластин для токарной обработки с применением детонационных твердосплавных покрытий.
3. Разработана технология упрочнения и балансировки абразивных кругов.
4. Разработан способ изготовления электроизолированных резьбовых соединений, основанный на напылении детонационного покрытия с электроизолирующим керамическим подслоем.
5. Разработана технология нанесения твердосплавных абразивных покрытий для изготовления ручного абразивного инструмента.
6. Производство и применение нового инструмента позволяет снизить себестоимость его изготовления и повысить эксплуатационные характеристики.

APPLICATION OF DETONATION COVERINGS IN TECHNOLOGY OF MECHANICAL ENGINEERING

© 2011 M.V. Nenashev, I.D. Ibatullin, A.N. Zhuravlev, S.Yu. Ganigin, V.V. Usachyov, D.J. Karjakin, A.S. Djakonov, V.R. Paklev, A.V. Rahimova

Samara State Technical University

In the article advantages of detonation coverings are described and the area of their application in technology of mechanical engineering, including strengthening processing of details of friction units of machines is shown.

Key words: Detonation coverings, technology of mechanical engineering, firm alloy, corundum, multilayered coverings, the metalcutting tool, abrasive circles, balancing.

Maxim Vladimirovich Nenashev, Dr.Sci.Tech., pro-rector on scientific work, the professor of chair of technology of firm chemical substances. E-mail: ttxb@inbox.ru

Ibatullin Ildar Duglasovich, Dr.Sci.Tech., senior lecturer of chair of nanotechnologies in mechanical engineering. E-mail: tribo@rambler.ru

Zhuravlyov Andrey Nikolaevich, Cand.Tech.Sci., senior research assistant. E-mail: ttxb@inbox.ru

Ganigin Sergey Yuryevich, Cand.Tech.Sci., senior research assistant of chair of technology of firm chemical substances.

Djakonov Alexandr Sergeevich, senior teacher of chair of nanotechnologies in mechanical engineering

Usachyov Vasily Vladimirovich, post-graduate student of chair of nanotechnologies in mechanical engineering

Karjakin Dmitry Yuryevich, post-graduate student of chair of nanotechnologies in mechanical engineering

Paklev Vladimir Rashitovich, post-graduate student of chair of nanotechnologies in mechanical engineering

Rahimova Alyona Valeryevna, post-graduate student of chair of nanotechnologies in mechanical engineering