

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВОГО МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

© 2011 М. В. Ненашев, И. Д. Ибатуллин, А. В. Утянкин, А. Н. Журавлев, В. В. Усачев,  
Д. Ю. Карякин, А. С. Дьяконов

Самарский государственный технический университет

Приводятся результаты разработки и исследований новых металлообрабатывающих инструментов для токарной и сверлильной обработки конструкционных материалов, полученных с помощью детонационных технологий.

*Детонационные покрытия, керамика, твердый сплав, пластическое сверление, сменные накладные пластины.*

### **Преимущества детонационного напыления твердых сплавов в инструментальном производстве**

В современном машиностроении (в т.ч. авиастроении) широко применяется металлообрабатывающий твердосплавный инструмент или инструмент, содержащий твердосплавные элементы (в виде вставок или сменных накладных пластин). Традиционно твердые сплавы получают в результате длительной и энергоемкой технологии спекания порошков, включающей операции смешивания порошков с пластификатором, сушку порошка, прессование 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 комплексов. Данный метод обладает множеством 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.

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.

Указанные преимущества детонационных твердосплавных покрытий послужили стимулом к поиску области их рационального применения в инструментальном производстве. В качестве примера в данной статье рассмотрены результаты разработки и исследования нового инструмента для пластического сверления и токарной обработки.

### **Инструмент для пластического сверления**

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 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 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, сварку 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 высокую допустимую нагрузку подшипниковых втулок; простоту и надежность при практической реализации; бесстружечный процесс формирования отверстий и др.

Однако наряду с достоинствами описанного метода имеется и недостаток, за-

ключающийся 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 разработаны новые конструкции и технология производства пуансонов для пластического сверления, обеспечивающие снижение стоимости и повышение эффективности инструмента. При этом учитывали следующие требования к инструменту.

1. Способность сохранять прочностные свойства (красностойкость) при нагреве до 600...650°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 (расширяющий, калибрующий и торцующий) 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, а,б,в).



Рис. 1. Пуансон для пластического сверления: а – схема расположения слоев покрытий; б – напыление на стальную заготовку теплоизолирующего керамического подслоя; в – нанесение на керамику внешнего износостойкого твердосплавного покрытия

Применение быстрорежущих сталей в качестве основного материала обусловлено во-первых, низкой теплопроводностью стали, 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°C.

Известно, что температура разогрева инструмента для пластического сверления при эксплуатации не превышает  $0,5 \cdot T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  – температура плавления обрабатываемого материала. Поэтому данный инстру-

мент позволит обрабатывать конструкционные материалы с температурой плавления до 1200°C, например алюминиевые и медные сплавы.

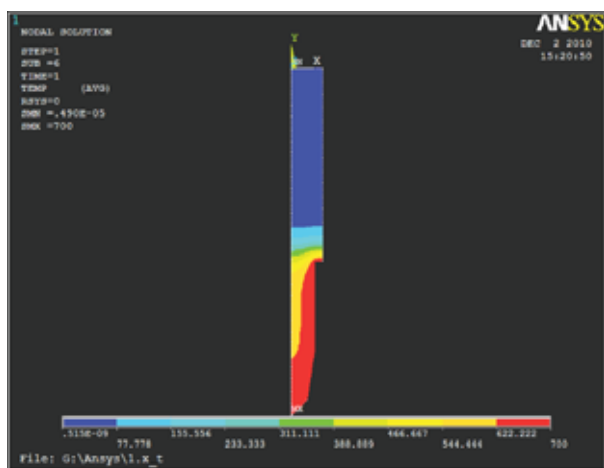
Для нанесения твердосплавного и теплоизолирующего покрытий на инструмент используется детонационный метод, позволяющий:

- 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.

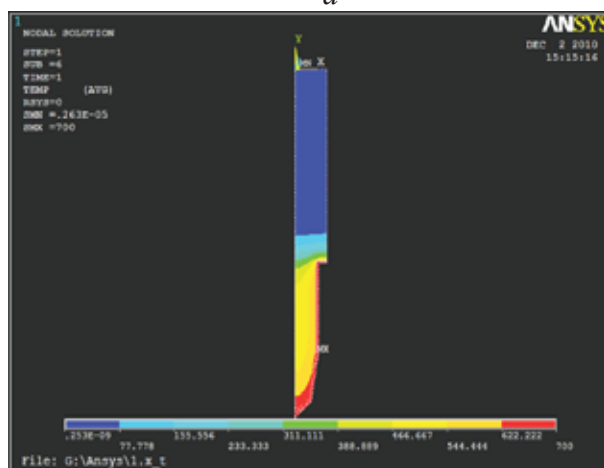
После детонационного напыления твердосплавного покрытия на инструмент калибрующая и торцующая части шлифуются в размер требуемого отверстия, а расширяющая часть остается без шлифования. При этом благодаря естественной шероховатости поверхности покрытия ( $R_z > 30$ ), полученного детонационным методом,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

Влияние теплоизолирующего подслоя на тепловые потоки, формирующиеся при пластическом сверлении, исследовалось при помощи программного продукта ANSYS. Для этого были построены конечно-элементные модели нового и традиционного (цельно-твердосплавного) инструментов. Результаты численных исследований показали (рис 2, а, б), что заметные изменения скорости нагрева инструмента наблюдаются уже при толщинах керамического подслоя выше 50 мкм.

Для получения дополнительного эффекта при пластическом сверлении предложено перед воздействием пуансона предварительно разогревать место обработки от внешнего источника тепла (газовой горелки).



а



б

Рис. 2. Распределение теплового поля при нагреве рабочей части инструмента в течение 1 с. Основа – быстрорежущая сталь P18: а без покрытий; б – с керамическим подслоем  $Al_2O_3$  и твердосплавным покрытием ВК-12

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 толстостенных заготовок; повышается долговечность инструмента за счет снижения осевых нагрузок; повышается качество получаемых отверстий.

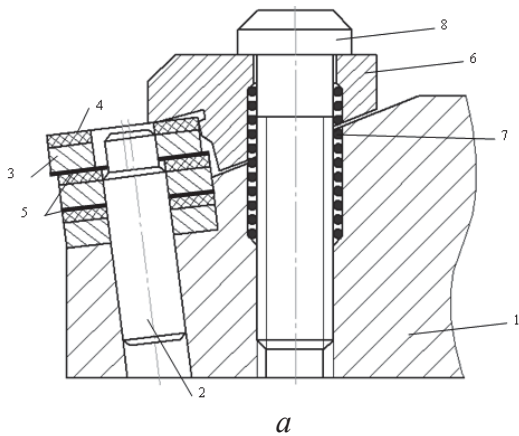
### Сменные режущие пластины для токарной обработки

В настоящее время на смену режущему инструменту с напаянными твердосплавными вставками приходят резцы со сменными режущими пластинами (СРП), основ-

ные 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. 3,а,б) 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. Повышение ударной стойкости инструмента обеспечивается тем, что в данной конструкции ударная нагрузка, например при обдирочных операциях, приходится на стопку пластин, обладающих свойствами пластинчатого демпфера. Снижение стоимости режущих пластин обеспечивается за счет того, что режущие пластины представляют собой основание из недорогих конструкционных материалов с нанесенным на него слоем износостойкого покрытия, наносимого детонационным методом или порошковой наплавкой. Повышение срока службы инструмента достигается тем, что после изнашивания рабочей кромки помимо возможности поворота пластины имеется возможность замены верхней (изношенной) СРП на одну из нижних (неизношенных) СРП.

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.



б

Рис. 3. Схема (а) и общий вид (б) реза с СРП

По данной технологии были изготовлены СРП типа RNGA 16T1M0-PR5 (по стандарту ISO 1832) (рис. 2,а) и аналогичные пластины для чистовой обработки с канавкой для снятия стружки (рис. 4,б).



а



б

Рис. 4. Вид режущих кромок СРП с детонационным напылением: а – без канавки; б – с канавкой

Для изготовления СРП использовали два вида покрытий, имеющих высокие механические и триботехнические свойства – твердосплавное (ВК-12) и композиционное (смесь керамики  $Al_2O_3$  с твердым сплавом ВК-12 в равных долях). Данные пластины сравнивали со стандартными твердосплавными пластинами с канавкой и без нее.





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 мин; частота вращения шпинделя  $500 \text{ мин}^{-1}$ ; продольная подача 0,2 мм/об.; глубина резания 0,4 мм. После испытаний оценивали интенсивность изнашивания режущей кромки  $J$  как отношение величины линейного износа пластины к пути резания (табл. 1). Испытания показали, что на СРП с напылением композиционного покрытия при точении быстро формируется нарост (рис. 5), что может быть объяснено ухудшением теплоотвода из зоны резания, ведущего к повышению температуры режущей кромки и последующему схватыванию с обрабатываемым материалом. На поверхности пластин с твердосплавным напылением наросты при точении не формировались.



Рис. 5. Нарост на режущей кромке СРП с композиционным металлокерамическим покрытием

Для оценки качества чистовой обработки различными пластинами производили токарную обработку вышеназванного материала при режимах: частота вращения шпинделя  $1000 \text{ мин}^{-1}$ ; глубина резания 0,1 мм; продольная подача 0,01 мм/об. После обработки оценивали параметры шероховатости поверхности с помощью профилографа-профилометра «Абрис-ПМ7». Результаты испытаний сведены в табл. 1.

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	4,99	0,98	77,4	$4,2 \times 10^{-5}$
		7,37	5,15	0,85	50,5	$2,8 \times 10^{-5}$
Новые		9,95	7,06	1,53	102,9	$2,1 \times 10^{-5}$
		3,45	2,57	0,52	44,2	$2,3 \times 10^{-5}$

Из полученных результатов видно, что по стойкости и качеству обработки новые СРП превосходят стандартные пластины.

### Заключение

1. Разработаны новые конструкция и технология изготовления пуансонов для пластического сверления, содержащие теплоизоляционный керамический подслоя, позволяющий уменьшить паразитный теплоотвод через инструмент в шпindelь станка.

2. Разработаны новые конструкция и технология изготовления режущих сменных пластин для токарной обработки с применением детонационных твердосплавных покрытий.

3. Производство и применение нового инструмента позволяет снизить себестоимость его изготовления и повысить эксплуатационные характеристики.

## APPLICATION OF DETONATION COVERINGS FOR CREATION OF NEW METALCUTTING TOOL

© 2011 M. V. Nenashev, I. D. Ibatullin, A. V. Utjankin, A. N. Zhuravlev, V. V. Usachyov, D. Ju. Karjakin, A. S. Dyakonov

Samara State Technical University

The results of workings out and researches of the new metalcutting tool for turning and drilling processing of the constructional materials, received with application of detonation technologies are resulted in the article.

*Detonation coverings, ceramics, firm alloy, plastic drilling, replaceable cutting plates.*

### Информация об авторах

**Ненашев Максим Владимирович**, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Самарского государственного технического университета. E-mail: [max71@mail.ru](mailto:max71@mail.ru). Область научных интересов: технология производства и утилизации энергонасыщенных веществ, покрытия специального назначения.

**Ибатуллин Ильдар Дугласович**, кандидат технических наук, доцент Самарского государственного технического университета. E-mail: [tribo@rambler.ru](mailto:tribo@rambler.ru). Область научных интересов: трибология, методы и приборы контроля качества поверхностей, гальванические и детонационные покрытия, механика разрушения твердых тел.

**Утянкин Арсений Владимирович**, аспирант Самарского государственного технического университета. E-mail: [arsenii\\_86@mail.ru](mailto:arsenii_86@mail.ru). Область научных интересов: компьютерное моделирование, методы и приборы контроля качества поверхностей.

**Журавлев Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Самарского государственного технического университета. E-mail:

[zan.samgtu@mail.ru](mailto:zan.samgtu@mail.ru). Область научных интересов: твердые материалы и покрытия, технология сборочного производства, механика разрушения твердых тел.

**Усачёв Василий Владимирович**, аспирант Самарского государственного технического университета. E-mail: [vas-usachev@yandex.ru](mailto:vas-usachev@yandex.ru). Область научных интересов: детонационные покрытия, пластическое сверление.

**Карякин Дмитрий Юрьевич**, магистрант Самарского государственного технического университета. E-mail: [dilun7@mail.ru](mailto:dilun7@mail.ru). Область научных интересов: детонационные покрытия, режущий инструмент.

**Дьяконов Александр Сергеевич**, старший преподаватель Самарского государственного технического университета. E-mail: [tribo@rambler.ru](mailto:tribo@rambler.ru). Область научных интересов: абразивный инструмент.

**Nenashev Maxim Vladimirovich**, Doctor of Technical Science, the professor, the pro-rector on scientific work of Samara State Technical University. E-mail: [max71@mail.ru](mailto:max71@mail.ru). Area of research: detonation technologies, special purpose coverings.

**Ibatullin Ildar Douglasovich**, Candidate of Technical Science, senior lecturer of Samara State Technical University. E-mail: [tribo@rambler.ru](mailto:tribo@rambler.ru). Area of research: tribology, methods and devices of quality assurance of surfaces, galvanic and detonation coverings, mechanics of destruction of firm bodies.

**Utjankin Arseniy Vladimirovich**, post-graduate student of Samara State Technical University. E-mail: [arsenii\\_86@mail.ru](mailto:arsenii_86@mail.ru). Area of research: computer modelling, methods and devices of quality assurance of surfaces.

**Zhuravlev Andrey Nikolayevich**, Candidate of Technical Science, senior scientific employee of Samara State Technical University. E-mail: [zan.samgtu@mail.ru](mailto:zan.samgtu@mail.ru). Area of research: firm materials and coverings, technology of assembly manufacture, the mechanic of destruction of firm bodies.

**Usachyov Vasily Vladimirovich**, post-graduate student of Samara State Technical University. E-mail: [vas-usachev@yandex.ru](mailto:vas-usachev@yandex.ru). Area of research: detonation coverings, plastic drilling.

**Karyakin Dmitriy Yuryevich**, master of Samara State Technical University. E-mail: [dilun7@mail.ru](mailto:dilun7@mail.ru). Area of research: the detonation coverings, the cutting tool.

**Dyakonov Alexander Sergeevich**, The senior teacher of Samara State Technical University. E-mail: [tribo@rambler.ru](mailto:tribo@rambler.ru). Area of research: detonation coverings, abrasive tool.