

УДК 620.22:620.17 620.22:620.18

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС  
ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ПОТОКОМ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ**

© 2016 С.Е. Алексенцева

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 12.02.2016

В статье излагается разработанный автоматизированный технологический процесс взрывной обработки материалов потоком высокоскоростных частиц и дистанционным инициированием детонатора.

*Ключевые слова:* поток дискретных частиц, динамическое микролегирование, высокоскоростное метание, давление соударения, ударные волны, автоматизированный процесс

Актуальной задачей является разработка производственных циклов автоматизированных технологических процессов с применением взрывчатых веществ (ВВ) с учётом особенностей работы ВВ, снижение доли вспомогательных операций и повышение безопасности производства, что позволяет расширить массовое применение энергии ВВ для упрочняющих технологий и получения новых композиционных материалов.

Эффективным подходом повышения уровня эксплуатационных свойств материалов является объёмное микролегирование за счёт обработки потоком высокоскоростных частиц в режиме сверхглубокого проникания, открытие которого принадлежит Ушеренко С.М. При этом осуществляется прошивка заготовки из металлов или сплавов частицами размером 1 – 100 мкм на глубину до 100 – 1000 характерных размеров частиц [1]. Способ разгона частиц в диапазоне скоростей 1 – 3 км/с и давлений соударения 10 – 30 ГПа может осуществляться с применением торцевого метания, канальными зарядами [2] и с применением кумулятивных зарядов [1].

В результате за счёт сверхглубокого проникания частиц получены дисперсноупрочнённые композиционные материалы, причём осуществляется модификация структуры материалов в локальных зонах вдоль треков частиц и в объёме [1-4]. Достигается повышение прочностных характеристик на 30% и более, в комплексе с ударно-волновым упрочнением микротвёрдость повышется в объёме заготовки 2 и более раз [2]. Результаты модификации структуры и свойств, повышение прочностных характеристик материалов при сверхглубоком проникании частиц обеспечивают широкую область применения – машиностроение, упрочнение деталей машин

и инструментов, а также применение микролегированного титана для биомедицины [2-4], получение узкоспециализированных свойств материалов ограниченного применения.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Разработка автоматизированного технологического процесса обработки материалов потоком высокоскоростных порошковых частиц является основной задачей данной работы. Технико-технологическая форма решения данной задачи – создание автоматизированного участка с использованием манипуляторов и конвейеров. Решение проблемы автоматического дистанционного инициирования капсюля-детонатора заряда ВВ достигается за счёт введения узла инициирования.

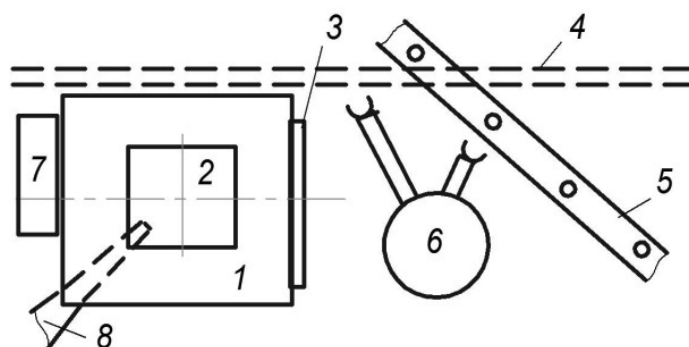
**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Разработан автоматизированный технологический процесс обработки материалов потоком высокоскоростных частиц, разогнанных энергией взрыва заряда ВВ. Полная автоматизация данного процесса в настоящее время связана с техническими сложностями, т.к. ряд операций являются опасными и производятся вручную, например, операции подготовки зарядов и установки зарядов на конвейер и др. Разработана и предложена полностью автоматизированная часть технологического процесса обработки материалов потоком частиц – это технологический участок.

Общая компоновка основных функциональных элементов автоматизированного участка показана на рис. 1. Процесс взрывной обработки производится в бронекамере -1, узел дистанционного инициирования капсюля-детонатора заряда ВВ - 2 расположен в верхней части бронекамеры. Бронекамера оснащена шибером - 3, обеспечивающим защиту проёма, через который

---

*Алексенцева Светлана Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технологии твёрдых химических веществ. E-mail: alekswave@yandex.ru*



**Рис. 1.** Структурная схема основных функциональных элементов автоматизированного участка:  
 1 – камера, 2 – узел иницирования заряда ВВ, 3 – шибер, 4 – подвесной конвейер,  
 5 – напольный конвейер, 6 – манипулятор, 7 – пульт управления, 8 – подвод системы очистки

производится подача зарядов ВВ и заготовок обрабатываемых материалов в бронеканеру. Транспортирование заряда ВВ осуществляется по подвесному конвейеру - 4. Транспортирование заготовок осуществляется по напольному конвейеру - 5. Манипулятор - 6 обеспечивает захват зарядов ВВ и заготовок с конвейера и перемещение их на рабочую позицию. Управление автоматикой на участке осуществляется с пульта - 7. Возможность очистки камеры однократным пневматическим ударом сжатым воздухом в точке подвода - 8.

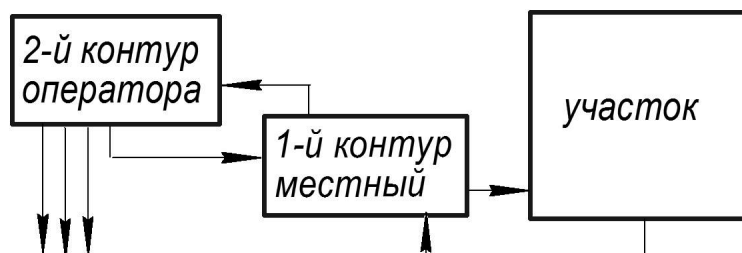
Предполагается двухконтурное управление (рис. 2): 1-й контур обеспечивает местное управление на участке проведения обработки, 2-й контур даёт управление через цеховой блок с общим управляющим контролем.

Принципиальная схема проведения автоматизированного процесса обработки показана на рис. 3. Автоматизация процесса взрывной обработки материалов связана с использованием уже готовых, заготовленных сборных единиц элементов конструкции, обеспечивающих метание частиц и ударно-волновую обработку материала заготовки. Сборка представляет собой заряд ВВ с капсулом-детонатором (КД) вверху и с навеской метаемых порошковых частиц, расположенной в нижней части заряда ВВ. Навеска может располагаться в капсуле или нанесена слоем на нижний срез заряда ВВ [3]. Сборные заряды ВВ подвешены на жёстком подвесе каретки, перемещающейся по ходовому рельсовому пути конвейера - 4. Заготовки обрабатываемых материалов подаются на кон-

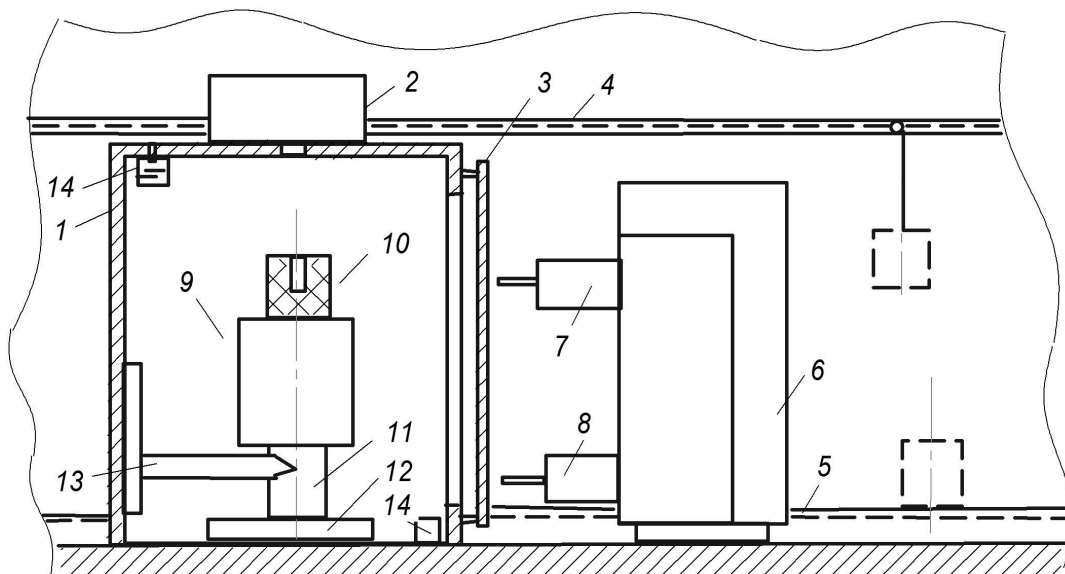
вейере цепного типа - 5 с гнёздами небольшого углубления под заготовки.

Операции подачи зарядов ВВ и заготовок в камеру на рабочие позиции наиболее эффективно осуществлять механическими средствами с помощью кинематических схем с электрическим приводом, что даст возможность длительной надёжной и безотказной работы. Однако современный технический уровень для выполнения операции захвата зарядов ВВ и заготовок и перемещения их на рабочую позицию предлагает применить манипулятор, выполняющий параллельно функции двух рук, оснащённых механическими схватами. Применяют манипуляторы [5], имеющие две руки и обеспечивающие для рук две степени свободы: поворот руки в горизонтальной плоскости на  $\pm 90^\circ$  и «телескопическое» перемещение руки вдоль её продольной оси. Так же требуется возможность перенастройки узла захвата манипулятора на разные геометрические параметры заготовок и зарядов. Время на смену программы может составить порядка 10 мин.

Подача обрабатываемой заготовки - 11 на позицию обработки не предполагает прецизионных методов установки, т.к. обработка производится в условиях набивки пылевых частиц ударной волной, запылённостью, забивкой остатками гильзы заряда и КД. Требуется вытяжка со щелевой лабиринтной насадкой - 14 и периодическая очистка (рис. 1, поз. 8). Технологическая операция останова конвейера на позиции, в которой производится захват рукой манипулятора заготовки, производится с помощью конечных выключателей исходных позиций.



**Рис. 2.** Двухконтурное управление рабочими функциями процесса



**Рис. 3.** Схема автоматизации процесса взрывной обработки материалов:

1 – бронякамера, 2 – узел инициирования, 3 – шиббер, 4 – подвесной конвейер, 5 – напольный конвейер, 6 – манипулятор, 7 – рука для подачи заряда ВВ, 8 – рука для подачи заготовки, 9 – корпус взрывной установки, 10 – заряд ВВ, 11 – заготовка, 12 – опора, 13 – устройство зажима заготовки, 14 – вентиляция

С точки зрения автоматизации одной из проблем является выполнение узла дистанционного инициирования капсюля-детонатора для подрыва заряда ВВ (рис.3, поз.2). Предложено несколько вариантов технических решений операции инициирования КД. Одной из возможностей является применение конструкций КД с лазерным инициированием [6], но современные конструкции лазерный луч передают по световоду непосредственно к составу КД, что усложняет процесс автоматизации. Следовательно, целесообразно применить накачку лазерного излучения необходимой мощности, обеспечивающей инициирование составов КД на расстоянии. Но детальная проработка данного решения не дойдёт до практического применения, т.к. в целом применение лазерного излучения значительно повысит себестоимость обработки единицы заготовки. Альтернативой лазерному инициированию может быть дистанционное инициирование тепловым импульсом, что значительно дешевле и проще в реализации, но является более опасным, т.к. необходимо постоянно поддерживать очаг тепла.

Следующим возможным техническим решением дистанционного инициирования КД является применение накольного способа [7]. Если стандартные КД, чувствительные к накольному действию, после проведения испытаний наколом не будут обеспечивать безотказность инициирования применяемых рабочих ВВ, добавляется переходный усилитель. В результате узел накола может быть выполнен в форме механической рычажной системы или как вариант, с электромагнитной индуктивной катушкой, соленоидом, в качестве сердечника которого работает наколь-

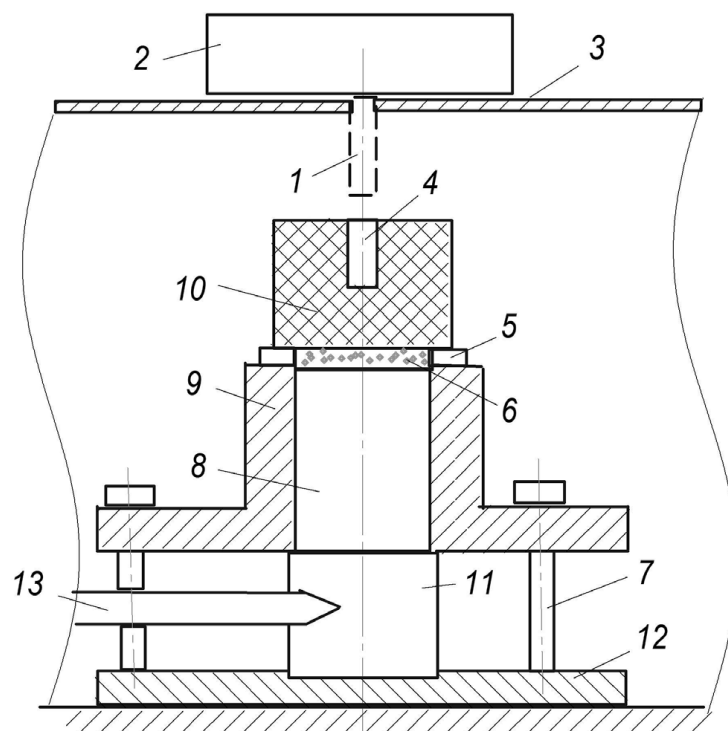
ник из пермолонидной стали. После «выстрела» накольника и инициирования КД возвратная пружина втягивает накольник на исходную позицию.

Одним из вариантов дистанционного инициирования КД является электрический способ за счёт индукционных токов. Сложности в реализации данного метода проявляются в разработке дополнительной технической оснастки – крепления проводов КД на ответной ферритовой детали, на которую будет подаваться индуцированный ток. При этом наличие ферритовой детали с выводными проводами КД снижает безопасность использования КД, т.к. блуждающие токи в окружающем пространстве могут привести к самопроизвольному срабатыванию КД.

Следовательно, наиболее простым, эффективным и надёжным методом для дистанционного инициирования КД принимается накольный.

Схема установки обработки материалов потоком высокоскоростных частиц в бронякамере показана на рис. 4. Метание порошковых частиц осуществляется с применением конструкции сборного заряда ВВ, включающего КД – 4, непосредственно заряд ВВ – 10, порошковую навеску метаемых частиц – 6. Установка позволяет использовать любой тип конструкции заряда ВВ, применяемого для реализации сверхглубокого проникновения частиц: для метания торцевым методом, канальными зарядами [2-4] или за счёт кумулятивного эффекта [1]. Заряд может быть выполнен из ВВ с крутой рабочей характеристикой при метании торцевым методом или другого типа при метании кумулятивным способом [1-2], а так же с применением газовых взрывчатых смесей.

В конструкции предусмотрена сменная ме-



**Рис. 4.** Взрывная установка обработки материалов потоком частиц в камере:

1 – рабочий орган инициирования КД, 2 – узел инициирования, 3 – бронекamera, 4 – капсуль-детонатор, 5 – шайба, 6 – капсула с навеской порошка, 7 – опорные стрелки, 8 – канал формирования потока частиц, 9 – корпус взрывной установки, 10 – заряд ВВ, 11 – заготовка, 12 – основание установки, 13 – устройство зажима заготовки

таллическая шайба - 5, которая защищает верхний торец взрывной установки - 9 от разрушения при воздействии заряда ВВ.

Регулирование установочных размеров установки при изменении высотных параметров заготовок осуществляется регулирующими направляющими - 7. На позиции обработки производится поджим заготовки в зажимном устройстве 13 и её центрирование относительно осевой сборного заряда ВВ.

После проведения подготовительных операций шибер закрывается. Дается команда на инициирование КД с помощью рабочего органа - 1. Формирование потока высокоскоростных частиц осуществляется в канале установки - 8.

Полный цикл обработки материала  $T$  включает:  $T = T_1 + T_2 + T_3$ , где  $T_1$  - время на подготовку установки в рабочее состояние,  $T_2$  - время на проведение обработки,  $T_3$  - время на разборку установки и приведения в исходную позицию.

Время подготовки установки в рабочее состояние:  $T_1 = t_1 + t_2$ . За интервал времени  $t_1$  параллельно производится 2 процесса. Первый процесс - установка заготовки на позицию обработки. Второй - выдвигание верхней руки манипулятора и захват заряда ВВ с размещением его на верхнем срезе взрывной установки - 9, после чего рука возвращается на исходную позицию. При скорости перемещения руки манипулятора 0.25 м/с и скорости поворота 90°/с время  $t_1$  может составить 7.3 с.  $t_2$  - время на закрытие шибера

порядка 1.8 с (может совмещаться со временем поворота рук на исходную позицию).

$T_2 = t_3 + t_4 + t_5$ , здесь  $t_3$  - время инициирования КД;  $t_4$  - время обработки заготовки: находится в интервале 12 мкс при обработке торцевым методом [4] и до 200 мкс при обработке с применением кумулятивных зарядов [1];  $t_5$  - технологическое время на вентиляцию камеры и другие технологические потребности. Сумма  $t_3$  и  $t_4$  составляет доли секунды. Время  $t_5$  будет значительно зависеть от организации процесса на предприятии и достигать нескольких минут.

$T_3 = t_6 + t_7 + t_8$ , где  $t_6$  - время на открытие шибера,  $t_7$  - извлечение заготовки с позиции обработки и размещение её на конвейере (по величине порядка  $t_1$ ),  $t_8$  - технологическое время на перемещение конвейерами заготовок на позицию захвата манипулятором и контроль за состоянием функциональных элементов участка. Таким образом, производительность процесса обработки может составить 20 шт/час.

В результате разработан автоматизированный технологический процесс взрывной обработки материалов потоком высокоскоростных частиц в режиме сверхглубокого проникания, позволяющий повысить эффективность процесса обработки единичной заготовки и перейти на внедрение в массовое производство. Систему автоматизации можно так же применить для упрочнения материалов ударно-волновым воздействием и плазменным поверхностным напылением порошков.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Разработан автоматизированный технологический процесс взрывной обработки материалов потоком высокоскоростных порошковых частиц и получения композиционных материалов; проведено исследование циклов автоматических операций. Сделан анализ средств дистанционного инициирования капсулей-детонаторов зарядов ВВ. Разработана броннекамера для автоматизированного проведения обработки материалов потоком высокоскоростных частиц в режиме сверхглубокого проникания, плазменного напыления и ударно-волновой обработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушеренко С.М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. Минск: НИИ Импульсных процессов, 1998. 210 с.
2. Алексенцева С.Е., Кривченко А.Л. Исследование особенностей обработки металлов и сплавов высокоскоростным потоком дискретных частиц, разогнанных энергией взрыва канальных зарядов и другими динамическими методами // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». 2013. № 2(38). С. 71-78.
3. Алексенцева С.Е. Повышение эффективности обработки материалов потоком высокоскоростных дискретных частиц // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». 2015. № 1(46). С.142-145.
4. Алексенцева С.Е. Дисперсноупрочнённые материалы для биомедицины, полученные обработкой высокоскоростным потоком дискретных частиц, разогнанных энергией взрыва // Образование. Наука. Научные кадры. 2015. № 2. С. 250-253.
5. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1988. 392 с.
6. Патент RU № 2070708, МПК F42B3/10, F42C7/00, F42C19/10, F42 C19/12. Капсюль-детонатор. / В.О.Соловьёв.
7. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь [под ред. Б.П. Жукова].М.: Янус-К, 2000. 596 с.

## THE AUTOMATED PROCESS OF THE EXPLOSIVE MACHINING OF MATERIALS BY THE HIGH-SPEED STREAM OF THE PARTICLES

© 2016 S.E. Aleksentseva

Samara State Technical University

In the article explained the created the automated process of the explosive machining of materials by the high-speed stream of the particles and distant initiation of a detonator.

*Keywords:* Stream of discrete particles, dynamic processing, high-speed throwing, pressure of impact, shock waves, the automized process.