

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА НА ПРОЦЕСС ВЗРЫВНОГО НАНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ НА ПЛОСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Э. О. Миндели, Г. П. Личели, З. И. Мгеладзе,
А. Б. Пейкришвили, Э. Ш. Чагелишвили

Существующие способы нанесения различных покрытий со специальными физико-механическими свойствами на металлические поверхности с использованием плазменного или детонационного напыления обеспечивают толщину покрытий не свыше 100 мкм [1]. Использование энергии конденсированных ВВ позволяет получать металлические или керамические покрытия на цилиндрических поверхностях толщиной в несколько миллиметров [2, 3].

Непосредственное взрывное нагружение плоских поверхностей с размещенными на них порошками, как правило, не дает положительных результатов при тех же начальных условиях. В настоящей работе исследовано влияние предварительного подогрева на процесс нанесения металлокерамических и металлических частиц разной фракции на поверхности плоских металлических пластин под действием плоской ударной волны.

Эксперименты проводились по схеме, представленной на рис. 1. На жестком основании 6 с теплоизоляцией 5 располагается слой металлокерамических твердых частиц 7 марки ВК или Р18, состоящий из частиц круглой формы диаметром $\sim 1,2$ мм или порошка с размером частиц до 100 мкм. В непосредственном контакте с металлокерамическими частицами устанавливалась пластинка 4 из Ст. 3 или из меди толщиной 3 мм, также покрытая сверху теплоизоляционной прокладкой, на которой размещался основной заряд ВВ 3 площадью 80×80 мм². Заряд инициировался детонатором 1 через генератор плоской ударной волны 2, конструкция которого описана в [4]. Скорость детонации заряда измерялась с помощью частотомера ЧЗ-35. Характеристики использованных ВВ представлены в табл. 1.

Температура стальной пластины измерялась с помощью термопар как в процессе предварительного нагрева (T_1), так и в момент подрыва заряда (T_2). Разность между максимальными значениями T_1 и T_2 не превышала 30–40°C. Время нагрева составляло 1,5–2 мин. Из полученных образцов готовились микрошлифы, по которым с помощью микроскопа определялась средняя по длине шлифа глубина внедрения частиц L — основной критерий качества покрытия.

Полученные результаты представлены на рис. 2. Глубина внедрения частиц линейно зависит от температуры подогрева основы для всех использованных зарядов ВВ. Из полученных данных следует также, что при скорости детонации зарядов $D \geq 2,6$ км/с L изменяется незначительно от вида ВВ и резко уменьшается при $D < 2$ км/с (рис. 2, 1). В то же время нагружение зарядами из аммонита дает меньшее значение L , что, очевидно, связано с временем действия давления.

Известно, что повышение температуры металлов приводит к изменению их прочностных свойств и, в частности, к изменению твердости и увеличению пластичности. Если сопоставить зависимости твердости стали [5] и глубины внедрения частиц от температуры

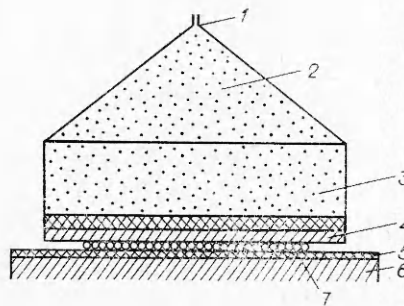


Рис. 1. Схема эксперимента.

Таблица 1

ВВ	Плотность заряда, г/см ³	Высота заряда, мм	Скорость детонации, км/с
Аммонит+селитра (50/50)	0,8	50	1,6
		60	2,6
		80	2,6
Аммонит+селитра (75/25)	0,9	50	3,0
		60	3,25
		80	3,25
Аммонит	1,0	50	3,2
		60	4,0
		80	4,0

(рис. 3), можно выделить четыре интервала температур, где получаются разные результаты экспериментов. При $T_2 \leq 400^\circ\text{C}$ твердость стали максимальна, глубина внедрения минимальна. В этом интервале сталь не соединяется с частицами, на поверхности пластин остаются следы твердых частиц.

Во втором интервале ($400 \leq T_2 \leq 700^\circ\text{C}$) твердость резко падает, что вызывает значительное

увеличение L . В этом интервале T_2 на поверхности пластин образуются кратеры с диаметром, равным размеру частиц. Кратер характеризуется небольшой глубиной и имеет, как правило, полусферическую форму. Металлокерамическая твердая частица деформируется и в большинстве случаев остается компактной. Форма после деформации овальная. Установлено также, что при $T_2 < 700^\circ\text{C}$ не происходит прочного равномерного соединения металла с частицами.

В третьем интервале ($700 < T_2 \leq 900^\circ\text{C}$) глубина внедрения изменяется незначительно. Диаметр кратера также равен диаметру деформированной частицы. Степень деформации больше, чем во втором интервале, но частица также не разрушается. В этом случае достигается наилучшее качество покрытия. Зона соединения между сталью и твердой частицей характеризуется нестационарным волнообразным характером. При этом частицы в процессе внедрения деформируются, но остаются компактными, а степень деформации частиц зависит от температуры и давления. Результаты замеров микротвердости в зоне соединения приведены на рис. 4.

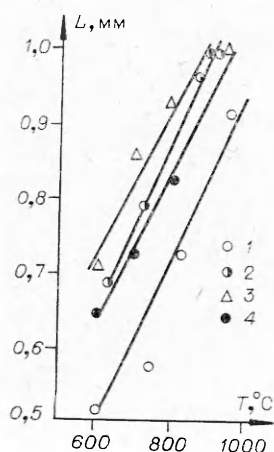


Рис. 2. Зависимость глубины внедрения от температуры.

1 — аммонит+селитра (50/50), высота заряда $\delta_0=50$ мм; 2 — аммонит+селитра (50/50), $\delta_0=60$ мм; 3 — аммонит+селитра (75/25); 4 — аммонит.

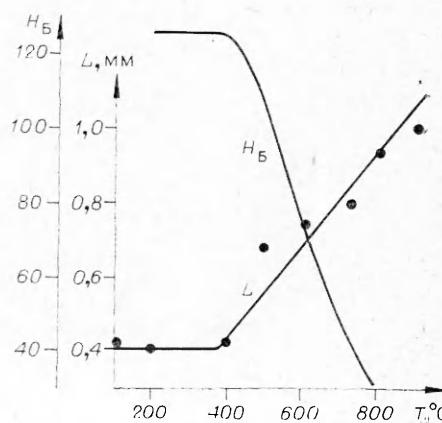


Рис. 3. Зависимость глубины внедрения от температуры и микротвердости.

Существенное влияние на величину L оказывает время нагрева преграды. Очевидно, что с увеличением времени нагрева стальной образец прогревается более равномерно, что приводит к увеличению L при тех же начальных условиях. В указанных трех интервалах изменения T_2 частицы остаются компактными и величина L не превышает их размеров. При более высоких температурах ($T > 900^\circ\text{C}$) происходит проникновение материала частиц в стальную преграду на величину большую, чем размер частицы (рис. 5). При этом частица принимает неправильную форму.

Несмотря на то, что температура 900°C намного превышает температуру отжига стали, в преграде образуются и сохраняются после взрывного нагружения дефекты типа двойников. Плотность дефектов максимальна вблизи пограничного слоя. Кроме того, происходит изменение формы зерна в материале преграды. Форма образовавшихся кратеров неправильная, а размеры превосходят начальные размеры частиц. Материал твердой частицы и покрываемого металла, находясь в пластичном или жидком состоянии, растекается по стенке кратера.

Результаты экспериментов при внедрении, по-видимому, можно объяснить следующим образом. При внедрении возникают силы, кото-

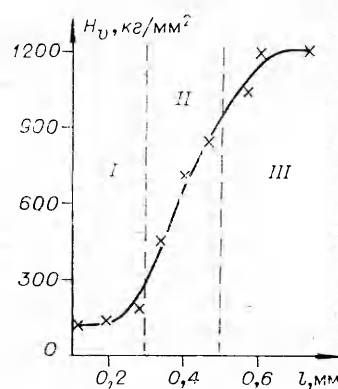


Рис. 4. Микротвердость в зоне соединения.
I — сталь; II — зона соединения; III — твердая частица.



Рис. 5. Микроструктура при проникновении твердой частицы в сталь.

Таблица 2

Материал	Начальная температура, °С	Состав ВВ (аммонит/селитра), %	Высота слоя ВВ, мм	Высота слоя порошка, мм	Толщина покрытия, мм	Результат
ВК15+Ст. 3	700	33/66	60	3,7	1,0	+
	800		60	3,3	2,0	++
	900		80	4,4	2,0	X
	950		60	4	2,5	X
	1000		100	4	2,5	X
ВК8+Ст. 3	600	50/50	30	1	0,5	X
	650		50	2	0,7	X
ВК8+Cu	550	50/50	50	1	0,5	X
	600	50/50		2	0,7	++
	650	100		1	0,5	++
P18+Cu	670	100	50	1	0,5	+
	750	33/66				++
P18+Ст. 3	700	33/66	50	1	0,5	+

Примечание. ++ прочная связь и сплошное покрытие; + соединения образовали отдельные частицы; X в подложке образовались трещины, покрытия нет.

рые нарастают и уменьшаются в короткий промежуток времени. При этом как во внедряемом теле, так и в преграде зарождаются волны напряжений различной природы и интенсивности. Большая часть кинетической энергии внедряющегося тела переходит в тепловую, при этом в области внедрения развиваются высокие температура и давление. Нагретый материал преграды еще сильнее разогревается и при большом давлении ведет себя как жидкость в условиях ударного сжатия. Давление, возникающее при внедрении, вынуждает материал среды растекаться, в результате образуется кратер, в который входит металлокерамическая твердая частица. Образованный кратер по всем характеристикам подобен кратеру, образовавшемуся при высокоскоростном соударении. Кратер окаймлен пограничным слоем из материала твердой частицы.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Для нанесения покрытия на поверхности металлов твердыми частицами с помощью ударных волн при высоких температурах и давлениях, качественное сплошное покрытие (толщиной до 1 мм) можно получить при следующих условиях: $700 < T_2 < 900^\circ\text{C}$, ВВ+аммонит, аммонит+селитра (50/50), толщина слоя ВВ 60 мм.

В экспериментах по нанесению плоских покрытий использовались порошки следующих марок: ВК15, ВК8, P18. Размер фракции в порошках ВК15 и ВК8 не превышал 20 мкм, а в P18—100 мкм. Использовались плоские образцы из меди и стали диаметром 60 и толщиной 2÷4 мм. Исходная плотность предварительно спрессованного порошка ВК15 составляла 5,04 г/см³. Результаты исследования сведены в табл. 2.

Плотность нанесенного покрытия из порошка ВК15 составляла 11,4—12,1 г/см³.

Анализ микроструктуры показал, что при покрытии медной пластинки порошком P18 сцепление порошка и основы гораздо качественнее, чем при нанесении покрытия из порошка ВК. Механическими испытаниями на изгиб установлено, что сцепляемость и прессуемость у порошка P18 во много раз превосходят те же показатели порошка ВК. Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности

метода нанесения покрытия с помощью одновременного воздействия начальной температуры и взрывного давления, а также о необходимости проведения дальнейших исследований в этом направлении.

*Институт горной механики
АН ГССР, Тбилиси*

*Поступила в редакцию
6/V 1976*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Д. Харламов и др. ФГВ, 1975, 11, 1.
2. А. М. Ставер. Канд. дис. ИГ СО АН СССР, 1971.
3. В. Бабуль, Я. Богровский, К. Бережанский. ФГВ, 1976, 12, 2.
4. С. С. Григорян, К. Н. Козарезов. Отчет ИМ МГУ, № 1081.
5. М. И. Зуев и др. Пластичность стали при высоких температурах. М., Металлургиздат, 1954.

О ПОДОБИИ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ ПРОВОЛОЧКИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

В. Г. Куропаткин, Э. В. Ниточкина, Н. Л. Шаболдина

Справедливость положения об эквивалентности взрыва у жесткой стенки и заряда удвоенного веса в свободном объеме подтверждена экспериментально для камуфлетного взрыва химического ВВ в работе [1] и базируется на принципе геометрического подобия. Авторы [1] исследовали волновые процессы в насыпном песке плотностью $1,55 \text{ г/см}^3$. Факт эквивалентности установлен по измерению массовой скорости различных слоев грунта во времени.

Аналогичный вывод получен в работе [2] при рассмотрении взрывов на выброс в пластилине. Размещение заряда около стальной плиты обеспечивало практически полную отдачу энергии в сторону пластической среды. Показателем этого служило сравнение формы и размеров воронок выброса, образующихся при взрыве у стальной плиты, и заряда с удвоенным весом в сплошном массиве.

В работе [3] вывод, полученный в [1, 2] для химического ВВ, перенесен на случай электрического разряда в песчаном грунте. Там же показано, что по механическому действию на сыпучую среду электрический разряд по сравнению с ВВ значительно слабее. Тротиловый эквивалент η разряда, оцененный по зависимости времени прихода фронта волны, не постоянен и колеблется от 0,40 на начальном участке до 0,22 в конце диапазона измерений. Это свидетельствует о различии в механизмах действия ВВ и электрического разряда на среду. Электрический взрыв металлической проволоочки по ряду параметров, таких как скорость выделения энергии, температура и состав продуктов взрыва, отличается как от химического ВВ, так и от электрического разряда. В связи с этим целесообразно проверить для него справедливость закона геометрического подобия и факта удвоения энергии при взрыве у жесткой преграды.

Наиболее просто проверить подобие, сравнив результаты двух или нескольких опытов с различной энергией взрыва. Если при введении поправок на различие в масштабе времени и расстояния экспериментальные кривые радиус полости — время оказываются тождественными, то закон подобия подтверждается. Поскольку линейный масштаб пропорционален кубическому корню из энергии или веса заряда, то рассто-