

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО ПЛАКИРОВАНИЯ ФОЛЬГАМИ

В. А. Огородников, А. А. Садовой

РФЯЦ, ВНИИ экспериментальной физики, 607190 Саров

Исследованы особенности взрывного плакирования пластин и оболочек из стали Ст.3 фольгами из меди и алюминия толщиной 20 и 50 мкм. Показано, что надежное плакирование наблюдается, если толщина фольг соизмерима с высотой микрорельефа плакируемой поверхности. При улучшении чистоты обработки поверхности качество соединения ухудшается. Улучшению качества соединения способствует увеличение длительности нагружения. В процессе плакирования уменьшается микрошероховатость обрабатываемой поверхности.

В последние десятилетия наблюдается заметный прогресс в вопросах плакирования почти всех металлов и сплавов взрывом, что обусловлено высокой эффективностью способа и возможностью получать высокую прочность соединения слоев, как правило, превышающую прочность менее прочного металла.

Процесс сварки считается установившимся, если пластины по всей длине сталкиваются под одним и тем же углом со скоростью соударения, характерной для данной пары металлов. Деформация металлов в зоне соединения при сварке взрывом характеризуется сложным вихреобразным течением, высокой интенсивностью деформаций и сильно выраженной локализацией. Условия плакирования металлов взрывом и образование волнообразной зоны соединения изучали во многих работах [1–4].

В случае плакирования поверхностей тонкими пластинами толщиной в несколько десятков микрометров (фольгами) по схеме сварки с зазором обычно не получается качественного соединения, так как наблюдается образование пузырей, разрушение фольги и появление зон неприваривания. Это объясняется тем, что практически невозможно фиксировать расчетную высоту зазора между фольгой и плакируемой поверхностью, а использование насыпных взрывчатых веществ (ВВ) затрудняет создание стационарного процесса детонации из-за непостоянства их плотности. Поэтому при плакировании фольгами толщиной $h_f \leq 100$ мкм применяют схему сварки, в которой фольгу крепят к фальш-пластине большей толщины [4]. Фольгу и фальш-пластину располагают над плакируемой пластиной под углом или параллельно свариваемой поверхности с начальным зазором

и-metaют с помощью ВВ как единое целое. Для предотвращения их сваривания на контактную поверхность фольга — фальш-пластина наносят тонкий слой смазки. Указанная схема сварки, в принципе, не отличается от обычной и связана с увеличением расхода ВВ, что вызывает повышенное ударное воздействие как на плакируемую деталь, так и на окружающую среду.

При плакировании поверхностей деталей произвольной формы фольгами толщиной от нескольких десятков до сотен микрометров представляет интерес сварка без зазора, когда тонкая фольга располагается в непосредственном контакте сверху. На возможность сварки таким способом указывалось в [4], а пример практической реализации приведен в [5, 6]. Поскольку при этом сцепление материала покрытия с деталью осуществляется за счет твердофазного динамического механизма в результате воздействия ударной волны (УВ) на свариваемые детали, определяющую роль здесь должны играть процессы диффузии. Установлено [7, 8], что на процессы массопереноса влияют амплитуда давления и время его действия. Оба фактора в определенных условиях увеличивают коэффициенты диффузии в десятки раз. Не исключен и механизм соединения за счет развития на контактной границе неустойчивости Кельвина — Гельмгольца [6]. В целом же следует отметить, что процесс плакирования в этом случае исследован недостаточно полно.

В представленных ниже экспериментах рассматривается плакирование пластин и наружных или внутренних поверхностей оболочек из стали Ст.3 фольгами из Al и Cu толщиной 20 и 50 мкм. Эксперименты проводили по схеме, приведенной на рис. 1 [5]. Фольга из



Рис. 1. Схема нагружения:

1 — экран, 2 — слой ВВ, 3 — фольга, 4 — плакируемая деталь

плакирующего материала после обезжиривания поверхностей помещалась вплотную к пластине или цилиндрической оболочке. Вплотную к фольге располагался тонкий слой пластического ВВ толщиной $h_{ВВ}$ (плотность ВВ $1,51 \text{ г/см}^3$, скорость детонации $7,8 \text{ км/с}$). Слой ВВ прикрывался стальным экраном толщиной $h_э$. В отдельных опытах экран не применялся. Заряд ВВ инициировали в режиме скользящей детонации. Использование экрана позволяет трансформировать треугольную форму импульса давления в близкую к прямоугольной, что может приводить к устранению откола в пластине или оболочке. Кроме того, это существенно сокращает расход ВВ на единицу площади и увеличивает длительность действия давления.

В опытах с пластинами наряду с изменением толщин фольг изменялась чистота обработки пластин и исследовалось влияние лавсановой пленки толщиной $h_{пл} = 30 \text{ мкм}$, расположенной между зарядом ВВ и фольгой, на качество соединения. Постановка и результаты опытов с пластинами приведены в таблице, где знаком плюс отмечены опыты с надежным нанесением покрытия, а знаком минус — при его отсутствии.

Анализ проведенных экспериментов (см. таблицу) показывает, что надежное плакирование алюминиевыми и медными фольгами пластины из стали Ст.3 наблюдается, когда толщина фольг соизмерима с высотой микрорельефа поверхности, $h_ф \approx h_p$. В случае, когда $h_ф \gg h_p$, плакирование не осуществляется.

В опытах с фольгами из меди без экрана наблюдаются отдельные непривариваемые зоны, а с фольгами из алюминия без использования экрана плакирования вообще не происходит. В аналогичных опытах с экраном при прочих близких условиях нагружения покрытие всегда качественное, что свидетельствует о влиянии длительности действия давления на исследуемый процесс. На рис. 2 представлено

Фольга		$h_{ВВ}$, мм	$h_э$, мм	$h_{пл}$, мкм	Чистота обработки поверхности		Результат	
Материал	$h_ф$, мкм				Класс	h_p , мкм		
Cu	20	0,37	3	0	∇8	3,2	—	
	50	0,37	3	0	∇8	3,2	—	
	20	0,36	3	0	∇5	20	+	
	50	0,36	3	0	∇5	20	+	
	20	0,37	3	30	∇8	3,2	—	
	50	0,37	3	30	∇8	3,2	—	
	20	0,36	3	30	∇5	20	+	
	50	0,36	3	30	∇5	20	+	
	20	0,36	0	0	∇5	20	+, —	
	50	0,36	0	0	∇5	20	+, —	
	20	0,36	0	30	∇5	20	+, —	
	50	0,36	0	30	∇5	20	+, —	
	Al	20	0,36	3	0	∇8	3,2	—
		50	0,36	3	0	∇8	3,2	—
20		0,36	3	0	∇5	20	+	
50		0,36	3	0	∇5	20	+	
20		0,36	3	30	∇8	3,2	—	
50		0,36	3	30	∇8	3,2	—	
20		0,36	3	30	∇5	20	+	
50		0,36	3	30	∇5	20	+	
20		0,37	0	0	∇5	20	—	
50		0,37	0	0	∇5	20	—	
20		0,37	0	30	∇5	20	—	
50		0,37	0	30	∇5	20	—	

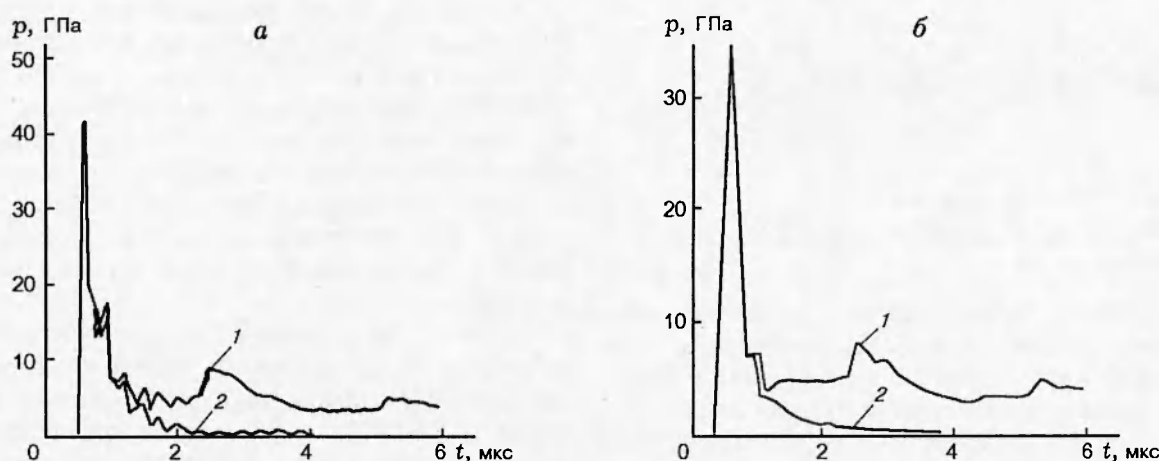


Рис. 2. Зависимости давления на плакируемой поверхности от времени:
 а — медная фольга, б — алюминиевая; 1 — с использованием экрана, 2 — без него

изменение давления во времени на границе плакирования при нанесении слоев меди и алюминия ($h_{\text{ф}} = 50 \text{ мкм}$) на сталь с использованием экрана и без него; зависимости рассчитаны в гидродинамическом приближении. Видно, что при использовании экрана длительность нагружающего импульса давления ($\approx 10 \text{ ГПа}$) увеличивается до нескольких микросекунд. Амплитуда давления в случае медной фольги выше, чем для алюминиевой, что обусловлено большим акустическим импедансом меди по сравнению с алюминием.

Анализ зоны соединения свидетельствует о том, что при плакировании происходит сглаживание исходного микрорельефа поверхности пластины, связанное с ее обработкой (рис. 3). Волнообразного характера течения при относительном скольжении слоев материала в плоскости соединения, как при неустойчивости Кельвина — Гельмгольца [6], не наблюдается. Это свидетельствует в пользу диффузионного механизма образования соединения. Причем использование экрана или лавсановой пленки способствует большому сглаживанию микрорельефа. Кроме того, лавсановая пленка защищает фольгу от изменения цвета (потемнения), связанного с непосредственным воздействием на нее продуктов взрыва.

С учетом полученных выше результатов с пластинами проведены опыты по плакированию наружной или внутренней поверхности цилиндрических оболочек из стали Ст.3, имеющих чистоту обработки $\nabla 5$, фольгами из меди толщиной 20 мкм. Использовался слой пласти-

ческого ВВ толщиной 0,36 мм, над (или под) которым располагался экран в виде оболочки из стали толщиной 3 мм. Для устранения зазоров сопряженные поверхности оболочки и экрана имели небольшую конусность ($\approx 1^\circ$), а поверхность экрана, прилегающую к ВВ, смачивали конденсаторным маслом. Длина плакируемых оболочек 180 мм, внутренний и наружный радиусы в срединной части оболочек соответственно 17,2 и 24,0 мм. Детонация заряда ВВ осуществлялась с помощью электродетонатора, который инициировал дополнительный заряд ВВ, расположенный на технологической заглушке, прилегающей к торцу цилиндрической оболочки. В результате детонация основного заряда ВВ возникала одновременно по всему периметру. Такая постановка опытов, за исключением расположения тонкой фольги между зарядом ВВ и плакируемой оболочкой, полностью совпадала с постановкой опытов по определению динамического предела текучести [9].

На рис. 4 приведены фотографии покрытий, нанесенных на внутреннюю и наружную поверхности оболочек. В обоих случаях имеет место надежное качественное плакирование наружной или внутренней поверхности цилиндрических деталей.

Для оболочки, плакируемой по наружной поверхности, были проведены оценки ее начальной кинетической энергии и работы пластической деформации, в которую она полностью диссипирует (т. е. расходуется на работу против сил прочности материала оболочки, ха-

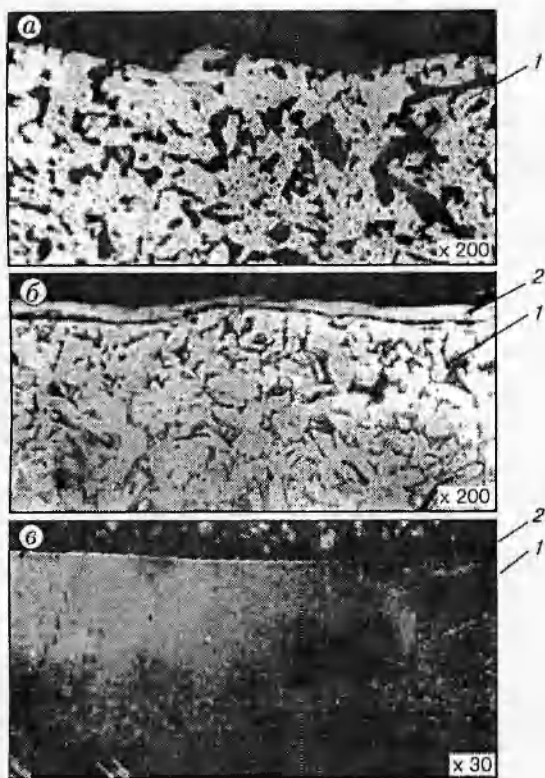


Рис. 3. Фотографии микрошлифов образцов:
а — до плакирования, б, в — после плакирования;
1 — пластина, 2 — фольга

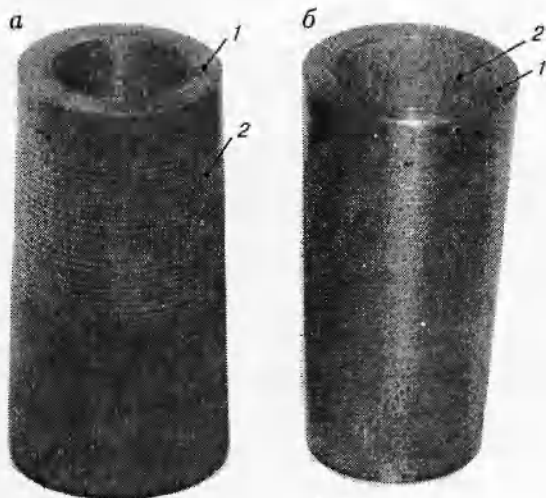


Рис. 4. Фотографии цилиндрических оболочек
после плакирования:

а — по наружной поверхности, б — по внутренней;
1 — оболочка, 2 — фольга

рактируемую его динамическим пределом текучести [9]). Было установлено, что при остаточной пластической деформации $\approx 6\%$ материал оболочки (Ст.3) при скорости деформации $8 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ имеет эффективный динамический предел текучести 1,1 ГПа, согласующийся с данными [9]. Таким образом, одновременно с исследованием процесса плакирования можно проводить оценку динамического предела текучести материала плакируемой детали при скорости деформации, реализуемой в процессе.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что использование схемы плакирования без зазора позволяет наносить качественные покрытия на поверхности деталей произвольной формы с высотой микрорельефа, соизмеримой с толщиной покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деформация металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, Н. И. Шефтель, А. Г. Кобелев. М.: Metallurgy, 1975.
2. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1980.
3. Кудинов В. М., Коротеев А. Я. Сварка взрывом в металлургии. М.: Metallurgy, 1978.
4. Обработка металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, Г. С. Попов, М. Р. Кр'стев. М.: Metallurgy, 1991.
5. Садовой А. А., Огородников В. А. Способ взрывного плакирования металлических поверхностей // Заявка на изобретение № 98101624 от 23.01.98.
6. Дреннов О. В., Михайлов А. Л. Соединение алюминиевых образцов по беззазорной схеме при сверхзвуковом режиме ударно-волнового нагружения // Физика и химия обработки материалов. 1995. № 3. С. 84–87.
7. Земский С. В., Рябчиков Е. А., Эпштейн Г. Н. О массопереносе углерода под воздействием ударной волны // Физика металлов и металловедение. 1978. Т. 46, вып. 1. С. 197–198.
8. Земский С. В., Корнеев В. А., Рябчиков Е. А., Эпштейн Г. Н. Некоторые вопросы теории массопереносов под воздействием импульса высокого давления // Изв. вузов. Черная металлургия. 1981. № 6. С. 109–112.
9. Огородников В. А., Тюнькин Е. С., Иванов А. Г. Прочность и вязкость металлов в широком диапазоне изменения скоростей деформации // Прикл. механика и техн. физика. 1995. Т. 36, № 3. С. 134–140.

Поступила в редакцию 6/VII 1998 г.