УДК 669.01:620.181.001.5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

п. о. пашков, и. и. полякова

О ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЯХ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ СОУДАРЕНИИ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 3 XI 1971)

В работах (¹, ²), было установлено, что после прохождения ударной волны, создаваемой при метании пластины зарядом взрывчатого вещества, в поверхностном слое образцов армко-железа и технически чистого титана на глубине до 30 µ зафиксированы высокотемпературные фазы — аустенит в железе и бета-титан в титановом образце.

В настоящем сообщении рассмотрены результаты исследования поверхностных слоев различных металлов при высокоскоростном соударении. В табл. 1 представлен фазовый состав поверхностного слоя металлов после нагружения давлением 250 ± 20 кбар; скорость удара при этом измерялась от 1000 до 1600 м/сек в зависимости от исследованных металлов; рентгенофазовый анализ слоев проводился на установке УРС-55А по



Рис. 1. Схема опыта по ударному нагружению образцов в атмосфере аргона при температуре жидкого азота: 1 — детопатор, 2 — генератор плоской волны, 3 — заряд взрывчатого вещества, 4 — метаемая пластина, 5 — штуцер для подвода аргона, 6 — герметический резервуар, 7 — исследуемый образец, 8 — металлическая обойма, 9 — сосуд для жидкого азота стандартной методике (³).

Принциппальная схема опыта в атмосфере аргона при температуре жидкого азота представлена на рис. 1.

В экспериментах для всех металлов кроме кобальта использовалась в качестве ударника пластина того же металла. Кобальт подвергался нагружению пластиной из армкожелеза.

При соударении металлов с высокими скоростями происходит разогрев тонкого слоя за счет пластической деформации шероховатостей и сжимаемости вещества (⁴), так как тепловой процесс очень близок к адиабатическому. Сильное влияние пластического сжатия шероховатостей на возникающие эффекты было установлено специальными опытами на железе (²).

Из табл. 1 видно, что в разогретый поверхностный слой проникают азот и кислород воздуха. Очевидно, при сжатии ударной волной молекулярный азот, который находится в воздушном зазоре между соударяемыми

пластинами (рис. 1), ионизируется и диффундирует в глубь нижней пластины, образуя либо химические соединения TiN, ZrN (табл. 1, рис. 2*a*), либо твердые растворы внедрения, например в ү-Fe, в соответствии с диаграммой состояния металл — азот. Кроме того, кислород воздуха активно взаимодействует с горячим металлом с образованием окислов (табл. 1, рис. 26).

Своеобразная диффузия азота при динамическом нагружении подтверждается также тем, что нагрев железного образца с зафиксированным



Рис. 2. Микроструктура поверхностной зоны металлов после ударного нагружения в воздушной атмосфере: a — титан, поверхностная зона — нитрид титана и β -Ti, δ — кобальт, поверхностная зона — закись кобальта и β -Co; 500×



Рис. 3. Рентгепограмма поверхностной зоны никеля после ударного нагружения в атмосфере аргона. $I - (311) \beta$ -Ni, 2 - (311) Ni, $3 - (222) \beta$ -Ni, 4 - (222) Ni



К статье С. Б. Ратнера, С. Г. Агамаляна и др., стр. 335

Рис. 2. Поверхности изломов разрушенных образцов полиформальдегида (а, б, в) и капрона, наполненного 30% порошкообразного угля (г, д, е). а, в, г, е — механическое, б, д — тепловое разрушения

Исходное состояние	Условин удара		
	воздух <i>t</i> = 25° С	аргон $t = 25^\circ C$	аргон t =196° С
α-Fe	α-Fe, γ-Fe	α-Fe	α-Fe
α-Co	$\begin{array}{c} rec, re203, re304\\ CaO, \beta-Co \end{array}$	α-Co, β-Co	α-Co β-Co, β'-Co
α-Zr α-Ti	ZrN, ZrO_2 TiN, TiO ₂	α-Zr, β-Zr α-Ti, β-Ti	α -Zr, β -Zr α -Ti, β -Ti
Ni	β-Ti Ni, β-Ni	Ni, β-Ni	Ni

ү-Fe приводит к распаду аустенита при температуре 300° C с выделением нитрида железа Fe₄N. Количество азота в аустените, рассчитанное по параметру решетки (⁵) (наблюдаемые значения параметра a = 3,61 - 3,63 Å), составляет 1,5-2%.

Соударение титана, циркония, кобальта в атмосфере аргона позволяет зафиксировать в поверхностном слое их высокотемпературные фазы β-Тi, β-Źr, β-Co. В железе при этих же условиях образуется лишь прослойка с мартенситоподобной структурой (²). В никеле, не имеющем высокотемпературных модификаций, поверхностный слой содержит г.ц.к.-фазу, которая в таблице обозначена как β-Ni, с различными параметрами решетки, но всегда большими, чем нормальный. В среде аргона при температуре жидкого азота в условиях проведенного опыта β-Ni не образуется.

Обнаружены также две высокотемпературные модификации кобальта, β -Со и β' -Со, имеющие одинаковый тип решетки, но параметр β' -Со существенно больше и колеблется в пределах 3,56— 3,62 Å. Послойный рентгенофазовый анализ поверхностного слоя кобальта, полученного в атмосфере аргона при $t = -196^{\circ}$ С, показал, что β -Со и β' -Со располагаются вместе на глубине до 100 μ (рис. 4), при этом их количество постепенно уменьшается в глубь образца. Однако количество β' -Со больше, чем β -Со, особенно на глубине до 30 μ . При нагреве эти фазы ведут себя по разному: при 400° С фаза β' -Со полностью распадатся, в то время как β -Со остается устойчивым.

Образование β-Ni с большим параметром видно из четкого раздвоения всех дифракционных линий



Рис. 4. Изменение отпосительной интенсивности дифракционных максимумов β - и β' -Со по глубине образца: $I - I_{\beta'}/I_{\alpha}, 2 - I_{\beta}/I_{\alpha}, I_{\beta}, I_{\beta}, I_{\beta}, I_{\alpha}$ интенсивности (200) $<math>\beta'$ -Со, (200) β -Со и (110) α -Со соответственно

г.ц.к.-никеля (рис. 3). Параметр β -Ni изменяется в широких пределах, если изменять скорость соударения. В табл. 2 приводятся значения параметра *a* решетки поверхностного слоя никеля в зависимости от давления *p* ударной волны в среде аргона при $t = 25^{\circ}$ C.

Образование и следующая после разгрузки фиксация в кобальте и никеле фаз β'-Со и β-Ni с изменяющимися в зависимости от условий удара

Таблица 2			
р, кбар	<i>a</i> , Å		
0 (исходный) 150 250 350	$3,5249 \\ 3,5445 \\ 3,5576 \\ 3,5904$		

параметрами решетки могут найти объяснение в следующих двух предположениях: либо фиксируется высокотемпературное состояние этих металлов, разогретых в поверхностном слое за время удара (равно как и других в табл. 1), либо следует предположить механическое принудительное внедрение аргона в этот слой и соответствующее образование твердых растворов основного металла с ним. На первый взгляд, последнее представляется маловероятным, хотя нет оснований исключать такую возможность из рассмотрения.

Полученные результаты свидетельствуют о сложных явлениях в поверхностных слоях при высокоскоростном соударении металлов.

Волгоградский политехнический институт

Поступило 29 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

⁴ Б. Е. Гох штейн, П. О. Пашков, И. И. Полякова, Сборн. Металловедение и прочность материалов, Волгоград, 1968. ² П. О. Пашков, И. И. Полякова, Сборн. Металловедение и прочность материалов, Волгоград, 1970. ³ Л. И. Миркин, Справочник по рептиеноструктурному анализу поликристаллов, 1961. ⁴ Я. Б. Зельдович, Ю. Г. Райзер, Физика ударных волч и высокотемпературных гидродинамических явлений, «Наука», 1966. ⁵ Ю. М. Лахтин, Физические основы процесса азотирования, 1948.