

КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАГРУЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АДИАБАТИЧЕСКОГО СДВИГА В ТИТАНЕ

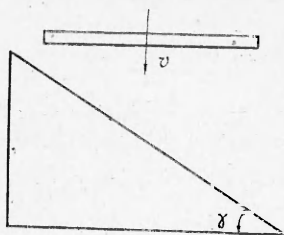
М. А. Могилевский, Т. О. Санчаа, Ю. Д. Шишкин
(Новосибирск)

Увеличение скорости деформирования обычно приводит к упрочнению металла, что связано с уменьшением пробега подвижных дислокаций и ростом плотности дефектов при фиксированной величине деформации. Однако при взрывных и высокоскоростных ударных экспериментах в различных схемах нагружения (всегда при наличии свободной поверхности) наблюдается смена механизма деформации от однородного распределения сдвигов к резко неоднородному с образованием «полос адиабатического сдвига». Интенсивность пластического течения в полосах много выше, чем в основном материале, что приводит к дополнительному разогреву деформируемой области, его разупрочнению и, как следствие, к еще более активной деформации в полосе. В [1—4] показана определяющая роль адиабатического сдвига в процессах высокоскоростного пробивания, образования осколков, высокоскоростного резания, штамповки.

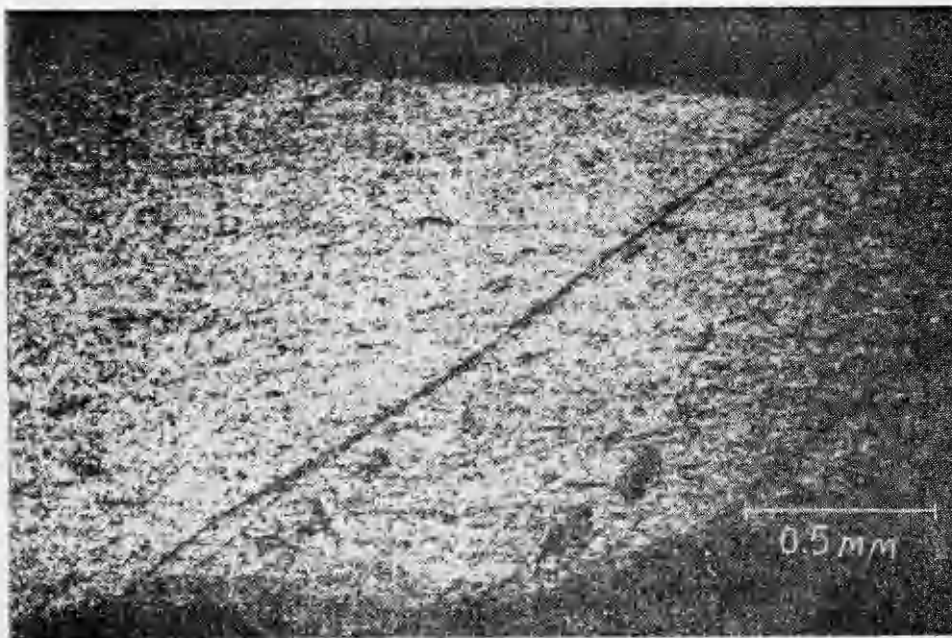
Для изучения природы адиабатического сдвига и грамотного решения прикладных задач очень важно рассмотреть вопрос о критических параметрах высокоскоростного нагружения, приводящих к смене механизма деформации. В известных работах по адиабатическому сдвигу систематических исследований такого типа нет, что связано со сложностью эксперимента. Для этой цели существует ряд методик: радиальный разлет трубы под действием взрывного нагружения со стороны внутренней поверхности [2] и ударное нагружение на сдвиг [4]. В настоящей работе предлагается простая методика, позволяющая в широких пределах изменять параметры нагружения.

На рис. 1 показана схема проведения эксперимента. Пластина из изучаемого материала метается гладкоствольной пушкой или с помощью заряда ВВ (при скоростях более 1100 м/с) на массивную подложку. Угол соударения задает величину сдвиговой деформации $\tan \gamma$. При заданной деформации временем процесса можно управлять, изменяя скорость полета метаемой пластины. В первом приближении скорость соударения v пропорциональна скорости сдвиговой деформации. В связи с важностью этого вопроса проводится серия специальных экспериментов по измерению с помощью импульсного рентгеновского излучения размеров переходной зоны при разных скоростях соударения. Во избежание сварки взрывом в некоторых экспериментах на поверхность соударения помещалась тонкая фторопластовая или полиэтиленовая фольга, существенного влияния фольги на деформацию в объеме метаемой пластины не замечено. Скорость и угол соударения контролировались с помощью стандартной методики заряженных иголок.

По такой схеме проведена серия экспериментов на титане BT-1-0 в состоянии поставки (исходная твердость $H_V = 180$ кг/мм², размер зерна 0,02 мм), толщина пластины 2 мм. Деформированные образцы разрезались в продольном направлении на электроискровом станке. Наличие или отсутствие полос адиабатического сдвига проверялось металлографически на полированных и травленых шлифах. На рис. 2 показана структура титана с полосами адиабатического сдвига после нагружения с параметрами $\gamma = 30^\circ$, $v = 1000$ м/с. Широкие, сравнительно редкие полосы пронизывают пластину насквозь, величина сдвига вдоль полосы достигает 0,3 мм. Угол, под которым идут полосы, обычно соответствует расчетному углу соударения, при больших углах соударения кар-



Р и с. 1

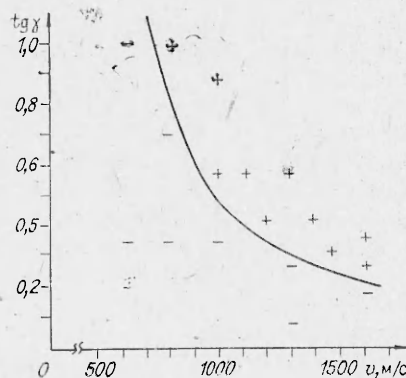


Р и с. 2

типа искажается течением материала вдоль поверхности соударения. Расстояние между полосами, толщина полос, твердость в матрице зависят от величины и скорости деформации. В настоящее время проводится систематическое исследование этих зависимостей.

На рис. 3 приведены первые из полученных результатов — критические параметры соударения для развития адиабатического сдвига в титане ВТ-1-0: кривая разделяет области с наличием и отсутствием полос адиабатического сдвига (экспериментальные данные отмечены знаками $+$ и $-$ соответственно). Таким образом, переход от однородного деформирования при высокоскоростной сдвиговой деформации к адиабатическому сдвигу определяется двумя параметрами нагружения: величиной деформации и скоростью соударения (скоростью деформации).

Существование этой зависимости свидетельствует о следующей последовательности развития деформации. На первой стадии происходит сравнительно однородное развитие пластической деформации по объему. С ростом упрочнения плотность дефектов увеличивается, расстояние пробега движущихся дислокаций уменьшается. Переход к стадии адиабатического сдвига происходит при таком уровне упрочнения, когда интенсивное развитие сдвига по некоторым полосам на большие расстояния с преодолением существующих препятствий требует меньшего увеличения напряжения течения, чем это следует из экстраполяции кривой деформирования с однородным развитием сдвига. Измерения микротвердости показывают, что при заданной величине деформации упрочнение растет с увеличением скорости соударения, затем выходит на насыщение с началом развития адиабатического сдвига.



Р и с. 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Rogers H. C. Adiabatic plastic deformation.— Ann. Rev. Mater. Sci., 1979, v. 9.
2. Shockey D. A., Erlich D. C. Metallurgical influences on shear band activity.— In: Shock waves and high strain rate phenomena in metals. N. Y., 1981.
3. Moss G. L. Shear strains, shear rates and temperature changes in adiabatic shear bands.— Ibidem.
4. Culver R. S. Thermal instability strain in dynamic plastic deformation.— In: Metallurgical effects at high strain rates. N. Y., 1973.

Поступила 6/V 1985 г.

УДК 539.4

УЧЕТ ВЯЗКОСТИ ПРИ ДОЗВУКОВОМ ВНЕДРЕНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ИЗОТРОПНЫЕ ПРЕГРАДЫ

А. В. Агафонов

(Ленинград)

При решении задач взаимодействия твердых тел с изотропными преградами при их соударении один из главных вопросов — определение сопротивления внедрению твердого тела в преграду.

В настоящее время при расчете этого сопротивления в качестве основного феноменологического подхода используется гидродинамическая аналогия, в соответствии с которой сопротивление внедрению в пластической области принимается эквивалентным сопротивлению идеальной жидкости.

В отечественной практике при определении силы сопротивления в случае дозвукового удара наибольшее распространение получила основанная на этой аналогии так называемая двучленная формула ЛФТИ, предложенная в [1]. В соответствии с этой зависимостью сила сопротивления внедрению записывается в виде

$$(1) \quad R = -F \left[H_d + k \frac{1}{2} \rho v^2 \right],$$

где H_d — динамическая твердость, определяемая экспериментально при скоростях удара $v \sim 10$ м/с; v — местная скорость внедрения; ρ — плотность материала преграды; k — коэффициент формы тела, принимаемый равным 1,0 для тел со сферической головной частью; F — площадь поперечного сечения тела. Аналогичные зависимости приведены в [2]. Для сверхзвуковых скоростей удара при расчете внедрения используются различные модификации гидродинамической теории Лаврентьева — Неймана [2—4].

В то же время, как установлено экспериментально [5], большинство пластичных материалов ведут себя за пределом текучести как вязкая жидкость. В [6] на основе численного моделирования процесса внедрения деформируемого тела в преграду показано, что влияние вязкого сопротивления, несильное на начальной стадии внедрения, будет преобладающим на конечной стадии глубокого внедрения.

В связи с изложенным целесообразно иметь представление сопротивления внедряющемуся телу, учитывающее ньютоновскую вязкость материала преграды. Его можно получить, исходя из следующих основных предпосылок.

1. Процесс внедрения квазиустановившийся (переходными процессами пренебрегается).

2. Силы сопротивления внедрению распределены только на лобовой поверхности тела (за телом образуется каверна).

3. Распределение сил сопротивления на лобовой поверхности тела такое же, как при его безотрывном обтекании при движении в вязкой жидкости; отклонениями от этого распределения в окрестности линии срыва материала преграды с поверхности внедряющегося тела пренебрегается ввиду малости вклада сил сопротивления в этой области в общую величину сопротивления.