

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТОНКОЙ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЕ, СЖАТОЙ МЕЖДУ ПЛОСКИМИ НАКОВАЛЬНЯМИ

О. Я. Шестопал, Я. И. Шурип

(Новосибирск)

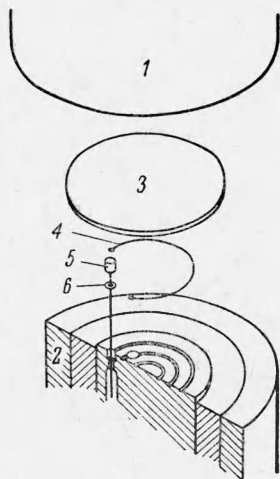
Тонкая круговая пластина, сжатая между двумя наковальнями, является одним из характерных элементов установок высокого давления. Это, например, пластина, заключающая образец, в установках типа «наковален Бриджмена» [1]. В аналогичных условиях находятся также заусенцы в установках типа [2, 3]. Распределение давлений в такой пластине мало изучено. Важность вопроса видна уже из того, что при работе с наковальнями Бриджмена определение величины давления на образец производится в соответствии с принятым распределением давлений в пластине. Бриджмен, определяя давления полиморфных переходов V_i , T_1 , V_a , не мог достаточно строго учесть факторы негидростатичности (например, деформацию наковален), влияющие на распределение давлений в пластине, и проводил коррекцию данных эксперимента, как отмечает он сам в [1], зачастую интуитивно. Установленные им в этих экспериментах точки полиморфных переходов T_1 , V_a , на которых базируется в настоящее время шкала высоких давлений до 100 000 атм, являются до сих пор дискуссионными [4, 5].

Существующие расчетные способы, например [6], дают однозначное соответствие между усилием на пластину, ее размерами и характеристиками σ_s , τ_s материала пластины. Однако они не учитывают степень деформации пластины и деформацию наковален.

Экспериментальное определение распределения давлений в сжатой круговой пластине проводилось, например в [7], но для сравнительно небольших отношений d/h применительно к задачам обработки металлов давлением, и не дает ответа на вопрос о распределении давлений в интересующем нас случае.

В связи с этим была предпринята данная экспериментальная работа.

Схема установки представлена на фиг. 1. Установка состоит из двух наковален 1 и 2 из стали 45 ХНМФА твердостью 52 H_{RC} . Сжимаемая пластина 3 диаметром 54 мм выполнена из пирофилита, который наиболее часто употребляется в установках высокого давления в качестве среды, передающей давление. По поверхности нижней наковальни на диаметрах 12, 25, 39 мм были проточены канавки. В канавки закладывались манганиновые манометры из проволоки диаметром 0.1 мм в хлорвиниловой изоляции. К концам манометров для улучшения контактов припаивались тонкие пластинки медной фольги. Один конец манганинового манометра 4 имел непосредственный контакт с наковальней, второй конец имел контакт с изолированным от наковальни стальным цилиндром 5. Цилиндрики были выполнены по высоте заподлицо с дном канавки, по диаметру на 0,2 мм меньше диаметра отверстия, и изолировались по опорной поверхности тонким слоем слюды 6, а



Фиг. 1

по боковой поверхности пирофилитом, который затек при обжатии пирофилитового диска давлением, на 10% превосходящим максимальное рабочее давление. Такая конструкция электровыводов оказалась весьма удачной, так как в течение всей работы не потребовалось замены ни цилиндров, ни их изоляции. Наковальни были изолированы от прессы слоем бумаги.

На ходе сжатия, через равные по давлению в цилиндрах прессы промежутки, производились остановки с выдержкой давления и замерялось электросопротивление трех манганиновых манометров: центрального, среднего и наружного.

Давление, соответствующее показаниям манганинового манометра, вычислялось по формуле

$$p = \frac{\Delta R}{R \cdot k} [\text{кг/см}^2]$$

где ΔR — изменение электросопротивления манганинового манометра, k — пьезокоэффициент использованного манганина, который был определен при помощи образцового поршневого манометра на 10 000 атм

$$k = 2.36 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2 / \text{кг}$$

По данным экспериментов на фиг. 2 и 3 построены распределения давления p в $\text{кг}/\text{см}^2$ по радиусу r в мм . Кривые проводились по трем точкам, соответствующим показаниям манганиновых манометров, и граничному условию $p = 2 \sigma_s$ на внешнем диаметре пластины. Для пиррофилита $\sigma_s \approx 400 \text{ кг}/\text{см}^2$. Кривые проводились по возможности наиболее плавно.

Эксперименты 1, 2, 3, 4 (фиг. 2) проведены с пластиной толщиной $h = 1 \text{ мм}$ и радиусом $r = 27 \text{ мм}$. Выбранное соотношение $r/h = 27$ весьма близко к имевшему место в установке Бриджмена [1], где $r/h = 25$. Чтобы оценить влияние толщины пластины, проведены эксперименты (фиг. 3а и 3б) с пластиной толщиной 4 мм.

Для проверки воспроизводимости результатов было проведено значительное количество экспериментов, данные которых не приводятся. Имела место качественная воспроизводимость с учетом постепенной деформации наковален от эксперимента к эксперименту и интегральная количественная воспроизводимость, а именно: результаты графического интегрирования с точностью до 10% по всем экспериментам (за исключением эксперимента 1 — см. ниже) совпадают с величиной усилия на пластину, вычисленному по значению давления в цилиндрах прессы с учетом сил трения в поршнях.

Нижняя наковальня первоначально была выполнена с канавками глубиной 1 мм. При этой глубине канавок проведен эксперимент 1. Для оценки влияния глубины канавок были проведены два промежуточных эксперимента, в которых канавки заполнялись либо пиррофилитом, либо хлористым серебром и сверху помещались манганиновые манометры без хлорвиниловой изоляции. Показания манометров в этих экспериментах совпали между собой и оказались выше, чем в эксперименте 1, результаты графического интегрирования хорошо совпадали с величиной усилия прессы. После этого нижняя наковальня была сошлифована, и при глубине канавок 0.5 мм результаты графического интегрирования совпали с данными промежуточных экспериментов. При этой глубине канавок проведены последовательно эксперименты 2, 3, 4. В ходе экспериментов поверхности наковален деформировались, принимая форму линзы. После четвертого эксперимента стрела прогиба верхней наковальни оказалась равной 0.3 мм, нижней — 0.1 мм. Верхняя наковальня была сошлифована и проведены эксперименты (фиг. 3а и 3б) с пластиной толщиной 4 мм.

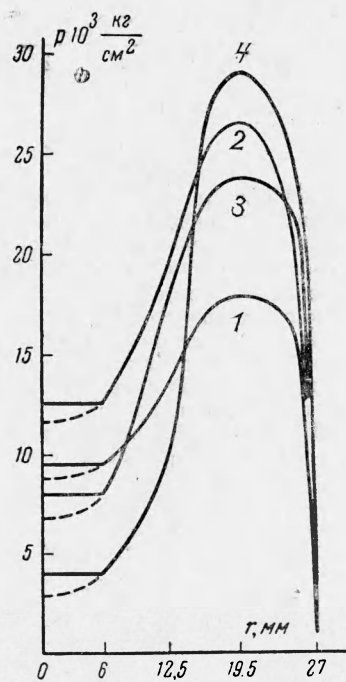
Вытекания пиррофилита из рабочей зоны при толщине пластины 1 мм практически не наблюдалось. Для пластины толщиной 4 мм вытекание было существенным. Так, для эксперимента 5 после снятия давления размеры пластины оказались от центра к краю соответственно от 3.70 до 2.25 мм.

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы.

Характер распределения давления по радиусу пластины отличается резкой неравномерностью.

В тонкой пластине максимальными неизменно оказывались показания наружного манометра. Давление в центре пластины ниже среднего давления на величину от 24 до 70% в разных экспериментах. Возрастание неравномерности от эксперимента к эксперименту соответствовало постепенному образованию «линзы». Влияние линзы увеличивается с возрастанием давления: так, графики, аналогичные фиг. 2, построенные при давлении в цилиндрах прессы на 40% меньшем, имеют меньшую неравномерность. В области 30 000—100 000 атм деформация наковален из победита, с которыми работал Бриджмен, могла оказаться существенной, и давления полиморфных переходов в этой области, в частности бария, по всей вероятности, являются завышенными. О существовании линзы в установке Бриджмена свидетельствуют его же опыты со свинцовым вкладышем [1].

В толстой пластине неравномерность распределения давлений носит несколько иной характер. Показания наружного манометра неизменно оказывались минимальными. В различных экспериментах максимальными оказывались показания либо центрального, либо среднего манометров. В зависимости от этого графики имели вид либо фиг. 3а, либо 3б, при этом наблюдалась воспроизводимость по усилению прессы. Отличий в подготовке и проведении эксперимента, могущих вызвать такое различие, не было. Возможно, имела место некоторая неоднородность материала пластин.



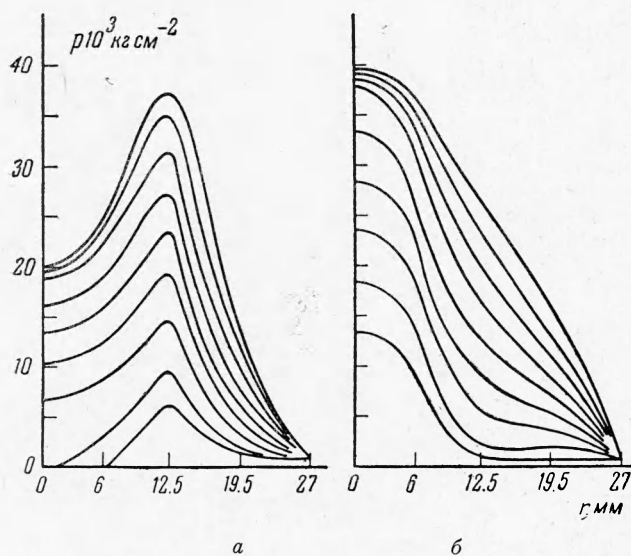
Фиг. 2

Давление в центре толстой пластины оказывалось выше среднего на 20—35% для графиков типа 3а и ориентировочно в два раза выше для графиков типа 3б.

Хотя величина усилия прессы во всех экспериментах была одинаковой, толстая пластина по размерам после обжатия (см. выше) существенно превосходила тонкую.

Для достижения на толстой пластине толщины 1 мм усилие прессы должно быть увеличено. Это свидетельствует о том значении, которое имеет степень деформации пластины (т. е. из какой исходной получена в процессе деформации толщина пластины в данный момент времени) для определения величины усилия на пластину.

Полученные экспериментальные кривые для пластины толщиной 1 мм по форме не совпадают с расчетными [6]. Сходство по форме имеет место только для кривых типа 3а пластины толщиной 4 мм. В работе [6] изложен метод учета деформации наковален для случая течения длинной полосы, но этот метод учета деформации на-



Фиг. 3

вален форму кривой не изменяет, она имеет по-прежнему максимум в центре. Что касается величины усилия на пластину, то оно оказывается существенно заниженным в расчете без учета упрочнения материала пластины ($\delta = 0$) и резко завышенном при принятой авторами величине $\delta = 0.1$ в формуле $\delta_s = \delta_{s0} + \delta p$.

Совпадения результатов расчета и эксперимента по величине усилия трудно ожидать, так как отличаются расчетная и экспериментальная картины распределения давления.

Из проведенных экспериментов видно¹, что в связи с резкой неравномерностью распределения давления по радиусу пластины при работе с наковальнями Бриджмена большое значение имеет расположение образца, исходная толщина сжимаемого диска и пластичность наковален.

В заключение авторы выражают признательность Д. С. Миринскому, по инициативе которого проведена настоящая работа, за содействие и ряд ценных советов.

Поступила 11 V 1963

ЛИТЕРАТУРА

1. Bridgman P. W. Resistance of 72 elements, alloys and mixtures to 100 000 atm. Proc. Amer. Acad. Arts and Sci., 1952, vol. 81.
2. Бутузов В. П., Миринский Д. С., Кац Д. С. Новая аппаратура сверхвысоких давлений. Сб. Экспериментальные исследования в области глубинных процессов, Изд. АН СССР, 1962, 172—183.
3. Hall H. T. Ultra-high-pressure, high temperature apparatus the «Belt», Rev. Scient Instrum., 1960, No 2, 31.
4. Kennedy G. C. and La Mori P. N. Some fixed points on the high pressure scale. Progress in very high pressure research. Bundy. Hibbard, Strong — editors, N. Y., 1961.
5. Геншафт Ю. С., О новой и старой шкалах давления. ПТЭ, 1963, № 1, 141—142.
6. Огибалов П. М., Кийко И. А. Поведение вещества под давлением. Изд. МГУ, 1962.
7. Унксон Е. П. Инженерная теория пластичности. Машгиз, 1959.

¹ После сдачи статьи в печать нами был получен препринт статьи P. W. Montgomery, H. Stromberg, G. H. Gura. «Calibration of Bridgman anvils, a pressure scale to 125 klars», в которой излагаются результаты экспериментов, сходных с проведенными нами. Авторы с удовлетворением отмечают качественное совпадение полученных результатов.