

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ О ВЫДАВЛИВАНИИ

Д. П. СНЕГИРЕВ, В. В. ИСАЕВ

Представлена научным семинаром кафедры прикладной механики

Многие технологические операции сопровождаются стационарным пластическим деформированием. Примерами таких операций являются прямое холодное выдавливание и волочение. Для решения многих задач, связанных с этими процессами, нужно знать напряженное состояние обрабатываемого металла. Информация о напряженном состоянии необходима для оценки деформируемости металла, т. е. способности металла подвергаться деформированию без разрушения, определения контактных напряжений и деформирующих усилий.

Несмотря на значительный интерес ученых к осесимметричным задачам, напряженное состояние при указанных технологических операциях исследовано недостаточно. Аналитическое решение осесимметричных задач связано с определенными математическими трудностями даже при серьезных допущениях. В случае осесимметричной деформации дифференциальные уравнения для напряжений и скоростей деформации не гиперболически [1]. Поэтому большинство теоретических решений получено для идеально-пластического тела в предположении о «полной пластичности», которое было впервые выдвинуто А. Хааром и Т. Карманом. Относительно применимости гипотезы «о полной пластичности» Р. Хилл отмечает [1] «...гипотеза Хаара—Кармана для металлов физически нереальна и она вводит ошибку неизвестной величины».

В связи с этим особое значение приобретает экспериментальная проверка теоретических решений. Число таких исследований остается весьма ограниченным. Среди них необходимо назвать исследования, выполненные экспериментально-расчетным методом визиопластичности, разработанным Э. Томсенем и сотрудниками [2].

Проведенные исследования были выполнены для заготовок, выдавленных через прямоугольные матрицы: из меди М1 с различными обжатиями — ($\psi=64\%$; $\psi=49\%$; $\psi=36\%$) и заготовок, выдавленных при одном обжатии — $\psi=64\%$, но из нескольких материалов — (латунь Л62; сталь 10; дуралюмин Д16).

$$\psi = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где D — диаметр сечения контейнера;

d — диаметр калибрующего сечения матрицы.

Методика эксперимента отмечена в работе [3].

Напряженное состояние определяли экспериментально-расчетным

методом, заключающимся в сочетании методов измерения твердости деформированного металла и делительных сеток [4]. Определение напряжений выполняли на ЭВМ «БЭСМ-4» в узлах расчетной сетки.

Согласно предположению А. Хаара и Т. Кармана о «полной пластичности», окружное напряжение σ_φ принимается равным одному из двух других главных напряжений. Главные напряжения определяли по формуле:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_r + \sigma_z}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_z)^2 + 4\tau_{rz}^2} \quad (2)$$

С целью проверки указанного предположения для каждого образца построили графики распределения напряжений σ_φ , σ_1 , σ_3 вдоль радиуса, отстоящего от горизонтальной площадки матрицы на расстоянии трех или четырех шагов расчетной сетки (рис. 1, 2). Шаг расчетной сетки выбирался в пределах $1,25 \div 1,45$ мм. Из приведенных графиков видно, что ни одно из главных напряжений ни у одного из исследуемых образцов не равно окружному напряжению. Однако в отдельных случаях напряжение σ_r практически совпадает с главным напряжением σ_3 ($\sigma_1 > \sigma_3$). Например, у образцов из меди М1 с обжатиями $\psi = 49\%$ и $\psi = 64\%$ такое совпадение наблюдается, но не на всей длине радиуса. Общей закономерностью является значительное отклонение окружного напряжения от главного σ_1 .

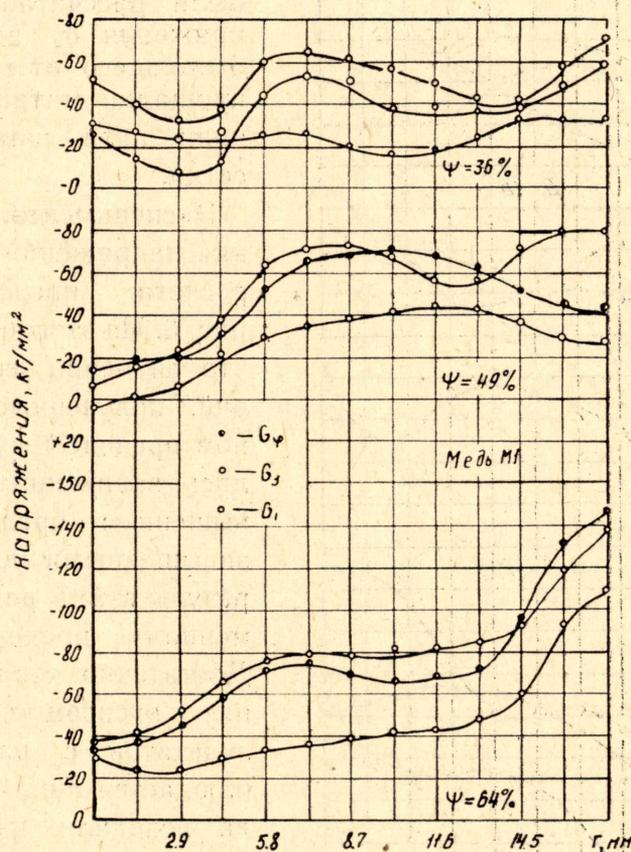


Рис. 1. Проверка предположения А. Хаара и Т. Кармана при выдавливании одного материала с различными обжатиями

Таким образом, главная предпосылка теоретических решений не находится в полном соответствии с экспериментальными данными.

Для дальнейшего сравнения полученных результатов использовали теоретическое решение Т. И. Глебова [5]. По этой методике были рас-

считаны напряжения в пластической области для образца из меди МІ с обжатием $\psi=64\%$. Как уже указывалось ранее, практически все теоретические решения получены для неупрочняющегося материала. В отдельных случаях пытаются учесть упрочнение, вводя в расчет повышенный предел текучести. В связи с этим расчет напряжений выполнили для трех условий. В первых двух случаях считали материал неупрочняющимся, свойства материала учитывали различными пределами текучести: первоначальным и повышенным. Повышенный предел текучести определяли из кривой течения для меди МІ по среднему значению интенсивности деформации:

$$e_{i\text{ ср}} = \ln \frac{F}{f}, \quad (3)$$

здесь F — площадь контейнера;

f — площадь проходного сечения калибрующего пояска матрицы.

Для исследуемого образца $e_{i\text{ ср}}=1,0$, а повышенный предел текучести $\sigma^*_{z_3}=39 \text{ кг/мм}^2$. В третьем случае учитывали повышенный предел текучести σ_i , определенный измерением твердости для расчетных точек. Этот расчет, разумеется, тоже является неточным, так как в соотношениях Т. И. Глебова производные от предела текучести по координатам принимались равными нулю.

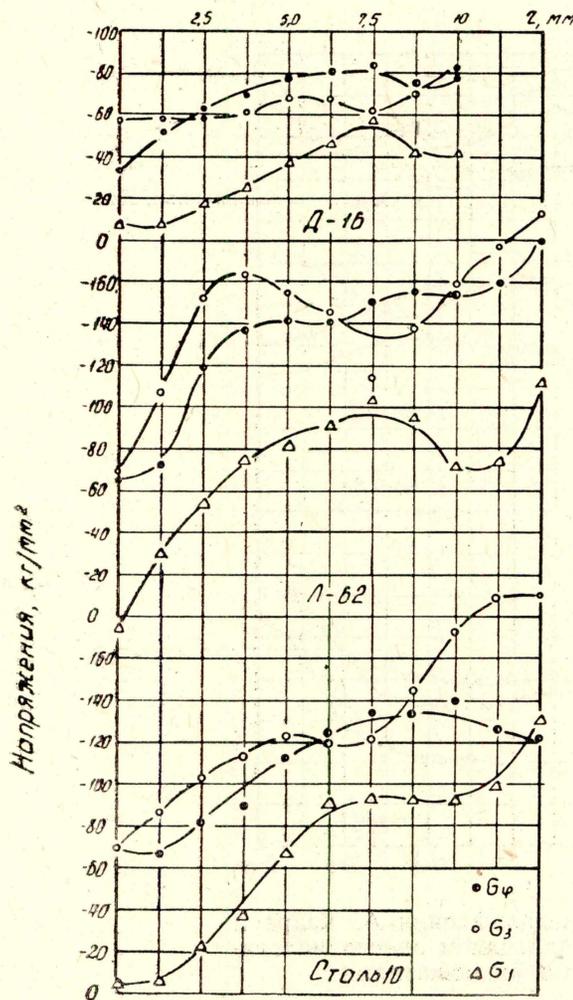


Рис. 2. Проверка предположения А. Хара и Т. Кармана при выдавливании различных материалов при одном обжатии

По изложенной методике были рассчитаны осевые напряжения σ_z вдоль радиуса, отстоящего от горизонтальной площадки матрицы на расстоянии пяти шагов расчетной сетки.

Экспериментальные значения напряжений и результаты расчета представлены на рис. 3. Из этого рисунка видно, что значения осевых напряжений, полученные при начальном пределе текучести, оказались заниженными, а при повышенном пределе текучести завышенными по сравнению с результатами расчета по переменному пределу текучести. Достаточно хорошее совпадение экспериментальных результатов с расчетными наблюдается лишь в случае, когда исходили из переменного предела текучести. Однако это совпадение сохраняется лишь до половины радиуса, начиная от оси заготовки. В направлении к периферии результаты расчета резко расходятся с экспериментальными данными.

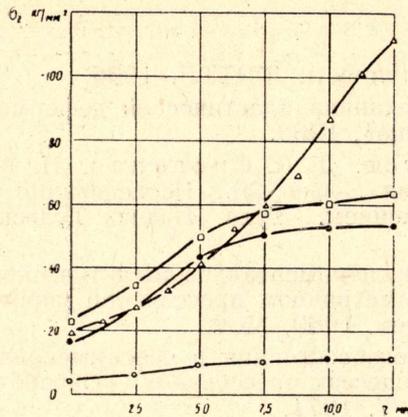


Рис. 3. Сравнение результатов эксперимента с теоретическим решением, учитывающим:

- — первоначальный предел текучести;
- — повышенный предел текучести;
- — переменный предел текучести;
- △ — результаты эксперимента

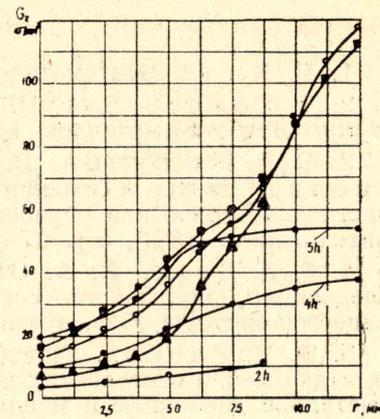


Рис. 4. Сравнение теоретического решения с результатами эксперимента:

- теоретическое решение.
- Результаты эксперимента
 - — для ряда 5h
 - — то же 4h
 - △ — — — — — 2h
- количество шагов расчетной сетки (h=1,25 мм) от горизонтальной площади матрицы

В связи с тем, что теоретическое решение с учетом переменного предела текучести дает наилучшее совпадение с экспериментальными результатами, выполнили дополнительные расчеты по этой методике напряжений σ_r и σ_z вдоль трех радиусов, отстоящих на различном расстоянии от матричной воронки, и вдоль двух радиусов рассчитали касательное напряжение τ_{rz} .

Из графиков, представленных на рис. 4, видно, что имеется достаточно хорошее совпадение сравниваемых результатов от оси заготовки до половины меридионального сечения. У периферии наблюдается значительное расхождение экспериментальных и рассчитанных величин. Наиболее близкими оказались сравниваемые результаты вдоль радиусов, расположенных на расстоянии четырех-пяти шагов расчетной сетки от горизонтальной площади матрицы. Объясняется это тем, что в этой области градиент предела текучести не является значительным. Вдоль радиусов, расположенных ближе к входу в матричное кольцо, наблюдается значительное расхождение сравниваемых результатов вблизи оси симметрии заготовки.

Хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов у верхней границы пластической зоны, вблизи оси симметрии дает возможность использовать результаты теоретического исследования как граничные условия. Определив, например, на оси симметрии одно из нормальных напряжений и приняв полученное напряжение за граничное условие, можно производить дальнейшие расчеты в направлении к периферии.

Однако теоретические решения дают совершенно искаженную картину в области больших пластических деформаций, поэтому результаты решения методами теории идеальной пластичности непригодны для оценки деформируемости в рассматриваемых процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Хилл. Математическая теория пластичности. ГИТТЛ, 1956.
2. Э. Томсен, Янг, Ш. Кобаяши. Механика пластической деформации при обработке металлов. М., «Машиностроение», 1969.
3. В. А. Мишунин, В. А. Огородников, Д. П. Снегирев, П. А. Соколов. В сб.: «Технология машиностроения», вып. 29. Исследования в области пластичности и обработки металлов давлением. Тула, Изд-во Тульск. политехн. ин-та, 1973, стр. 27—33.
4. Г. Д. Дель, В. А. Огородников. Экспериментально-аналитическое исследование напряженного состояния при осесимметричном прессовании упрочняющегося металла. Изв. вузов, «Машиностроение», 1969, № 2.
5. Т. И. Глебов. Определение напряженного состояния в осесимметричных задачах при статических и динамических процессах прессования. «Обработка металлов давлением в машиностроении», вып. 7, 1971.