

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПЛОСКОЙ ОСАДКЕ

Э. С. ВАКСМАН, Л. М. СЕДОКОВ

(Рекомендовано к печати научной конференцией механического факультета)

Для решения технологических задач при обработке металлов давлением необходимо знать распределение напряжений в подвергнутой деформации заготовке.

В результате действия сил контактного трения в процессе осадки осуществляется неравномерное распределение напряжений и деформаций. Аналитические методы расчета напряженного состояния [1], [2], основанные на соотношениях математической теории пластичности, не отражают способности реального металла упрочняться в процессе пластической деформации. Между тем, в связи с локализацией деформации в определенных объемах деформируемой заготовки, отмеченная особенность реальных металлов должна оказывать влияние на напряженное состояние.

В настоящей работе определено напряженное состояние для ряда материалов при осадке в условиях плоской деформации. Осаживались образцы из нержавеющей стали Х18Н9Т, стали Ст. 3, стали ШХ15 и алюминия. Выбор материала определялся различной способностью упрочняться в процессе пластической деформации.

В работе [3] изложена методика определения напряжений в пластической области по распределению твердости. Для этого путем испытания на осевое сжатие со смазкой и последующего измерения твердости сжатых до различной степени деформации образцов строится тарировочный график, связывающий интенсивность касательных напряжений K с твердостью. Измеряя затем в различных точках деформированного тела твердость, с помощью тарировочного графика определяют функцию $K(x, y)$.

Напряжения рассчитываются путем численного интегрирования дифференциальных уравнений равновесия с учетом установленного распределения K . Длина образцов втрое превышала их ширину, вследствие этого деформация в средней по длине части считалась плоской. Твердость деформированных образцов измерялась в плоскости деформации, испытываемая поверхность тщательно полировалась. Измерения производились алмазной пирамидой под нагрузкой 30 кГ (при испытании алюминиевых образцов — 10 кГ). У каждого образца производилось 100—150 измерений. Результаты измерений твердости усреднялись проведением изоскляр-линий равных твердостей.

Для построения тарировочных графиков из изучаемых материалов изготовлялось по 8—10 образцов диаметром 15 мм и высотой 23 мм.

Твердость сжатых образцов измерялась в достаточно удаленных от торцов точках меридиональных сечений.

Расшифровка выполнялась по следующей методике. В области ABC (рис. 1.) решалась задача Коши. Свободная граница разбивалась на ряд отрезков точками 1, 2... Интегралы A_α, A_β [3] в этих точках определялись по соотношениям:

$$(A_\alpha)_1 = 0,5 + \Theta, \quad (A_\beta)_1 = 0,5 - \Theta,$$

где Θ — угол между осью x и касательной к линии скольжения, проведенной под углом 45° к свободной границе. Здесь и ниже в индексе указывается номер точки, для которой определяется соответствующая величина.

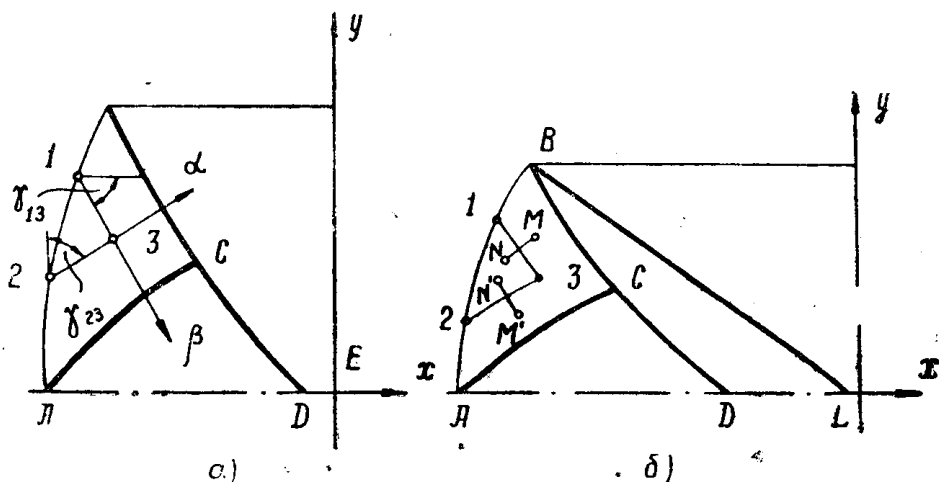


Рис. 1. К методике определения напряженного состояния

Из точек 1, 2... под углами $\gamma_{1-3}, \gamma_{2-3}...$ к координатным осям проводились лучи до пересечения в точках второго слоя. Углы рассчитывались по соотношениям:

$$\gamma_{1-3} = \frac{1}{4} [2\Theta_1 + (A_\alpha)_1 - (A_\beta)_2],$$

$$\gamma_{2-3} = \frac{1}{4} [2\Theta_2 + (A_\alpha)_1 - (A_\beta)_2].$$

В точках второго слоя

$$(A_\alpha)_3 = (A_\alpha)_1 + \frac{\kappa_M - \kappa_N}{2\kappa_3 l_{MN}} l_{1-3},$$

$$(A_\beta)_3 = (A_\beta)_2 + \frac{\kappa_{M'} - \kappa_{N'}}{2\kappa_3 l_{M'N'}} l_{2-3}.$$

Гидростатическое давление σ и угол Θ определяются по формулам:

$$\sigma = \kappa (-A_\alpha - A_\beta), \quad \Theta = \frac{1}{2} (A_\alpha - A_\beta),$$

напряжения:

$$\sigma_x = \sigma - \kappa \sin 2\Theta, \quad \sigma_y = \sigma + \kappa \sin 2\Theta.$$

Таким же образом рассчитывались точки третьего слоя.

Вдоль оси симметрии известен угол $\Theta = 0,786$. Поэтому напряжения в оставшейся области определялись решением смешанной задачи. Такая методика расшифровки возможна только в случае достаточно близкого расположения точки D у центра сечения. В случае невыполнения этого условия в области BDL (рис. 1, б) решаем начальную характеристическую задачу. При этом предполагалось, что трение в точке B отсутствует. Такой путь расчета возможен только в тех случаях, когда точка L располагается достаточно близко у центра сечения. Поэтому предлагаемая методика применима лишь для определения напряженного состояния при осадке достаточно узких полос.

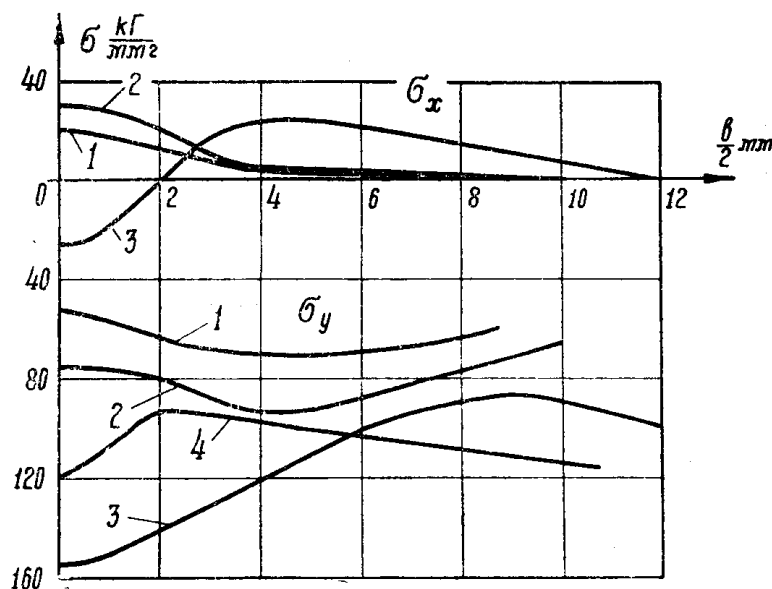


Рис. 2. Эпюры компонент напряженного состояния при различной степени осадки

№ кривой	Материал	$\frac{h}{b}$	Осадка, %	P деформирующее, кг	P расчетное, кг	погрешность, %
1	X18H9T	1,5	10	84000	76000	9,5
2			20	123000	12000	2,5
3			30	193000	175000	9
4			30 осадка со смазкой	165000	160000	3

На рис. 2 приведены эпюры напряжений вдоль горизонтальной оси симметрии при различной осадке призм из нержавеющей стали X18H9T с начальной высотой $h = 24$ мм и шириной поперечного сечения $b = 16$ мм. Особенностью эпюр является возрастание неравномерности распределения компонент напряжений σ_x , σ_y с увеличением осадки. Интенсивное возрастание сжимающего напряжения σ_x в центре образца сопровождается гораздо меньшим его увеличением на участках у свободной границы. С увеличением осадки компонента σ_y меняет знак и в центральной части образца наступает состояние трехосного сжатия.

К возрастанию неравномерности приводит и повышение упрочняемости материала (рис. 3). У высокоупрочняющихся сталей Х18Н9Т и ШХ15 неравномерность больше, чем у слабоупрочняющейся стали — Ст. 3.

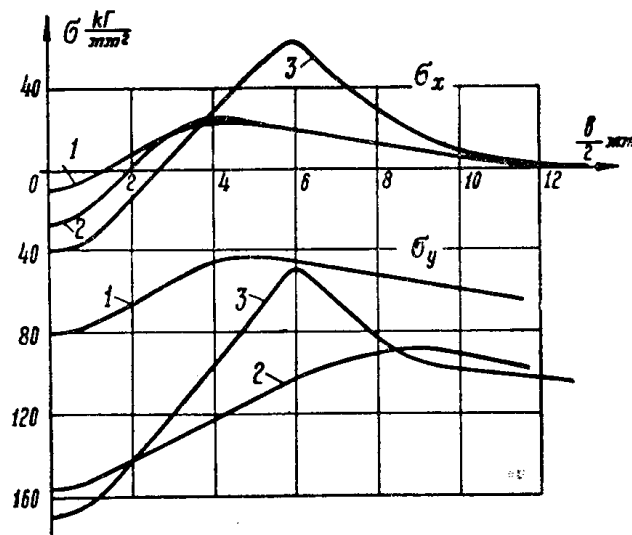


Рис. 3. Эпюры компонент напряженного состояния при осадке разных материалов

№ кривой	Материал	$\frac{h}{b}$	Осадка, %	P деформирующее, кг	P расчетное, кг	Погрешность, %
1	Ст. 3	1,5	30	170000	145000	15
2	Х18Н9Т			193000	175000	9
3	ШХ15			220000	200000	9

Несмотря на то, что упрочняемость металла с ростом пластической деформации уменьшается, неравномерность напряженного состояния увеличивается с ростом осадки. Это можно объяснить преобладающим влиянием возрастающего в процессе деформирования трения. Последнее подтверждается кривой 4 (рис. 2), которая получена в условиях смазки торцов осаживаемого образца смесью коллоидального графита и глицерина с одновременным использованием прокладок из свинцовой фольги толщиной 0,05 мм. Все остальные эпюры получены при сжатии между шлифованными плитами без смазки. Контактная поверхность образцов во всех случаях обрабатывалась строганием.

На рис. 4 приводятся эпюры компонент напряженного состояния при осадке на 30% образцов из нержавеющей стали Х18Н9Т с различными соотношениями размеров поперечного сечения. У низкого образца (кривая 2) более значительна роль компоненты σ_x , состояние трехосного сжатия у низких образцов наступает при меньшей степени осадки.

Полученные эпюры проверялись путем сопоставления расчетных деформирующих усилий, определяемых как произведение площади эпюры на длину образца, с фактическим значением этих усилий. Как видно из таблиц, расхождение расчетных усилий с действительными не превышало 15%.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. Напряженное состояние при плоской осадке призм неоднородно. При небольших степенях осадки в центральной части образца имеет место разноименное напряженное состояние. С ростом степени осадки напряжение σ_x меняет знак в центре на отрицательный и здесь возникает трехосное сжатие.

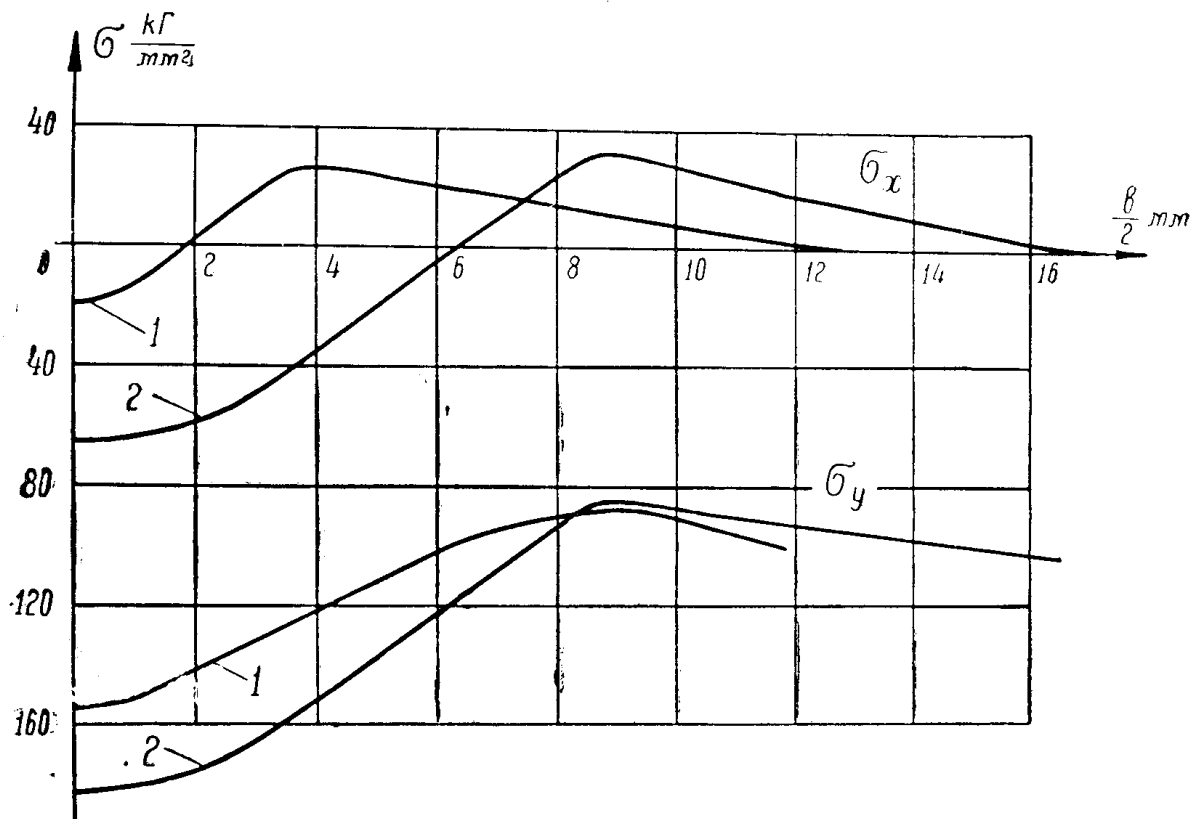


Рис. 4. Эпюры компонент напряженного состояния при осадке образцов с различным соотношением размеров

№ кривой	Материал	$\frac{h}{b}$	Осадка, %	P деформирующее, кг	P расчетное, кг	Погрешность, %
1	X18H9T	1,5	30	193000	175000	9
2		1		340000	300000	9

2. Напряженное состояние зависит от характера кривой упрочнения материала. Чем круче кривая упрочнения, тем более неравномерно распределение напряжений. Одноименное напряженное состояние у более упрочняемого материала наступает при меньшей осадке, чем у менее упрочняемого.

3. Состояние трехосного сжатия у низких образцов наступает при меньшей степени осадки, чем у высоких.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Губкин. Пластическая деформация металлов, т. 1. Металлургиздат, 1961.
2. А. А. Поздеев, В. И. Терновский. Исследование напряженного состояния при осадке. Изв. вузов. Черная металлургия, № 11, 1962.
3. Г. Д. Дель. Исследование пластической деформации измерением твердости. Изв. ТПИ, т. 138, 1965.