

**Кухарь В.В.**

ГВУЗ «Приазовский государственный  
технический университет»,  
г. Мариуполь, Украина  
E-mail: kvv\_mariupol@mail.ru

**МЕТОДИКА УЧЕТА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ  
НА КОНТАКТЕ ЗАГОТОВКИ С РАБОЧИМ  
ИНСТРУМЕНТОМ НА НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
И ИСЧЕРПАНИЕ ЗАПАСА  
ПЛАСТИЧНОСТИ ПРИ ОСАДКЕ**

УДК 621.73

На основе феноменологического подхода предложена методика комплексного учета влияния на напряженно-деформированное состояние и степень использования запаса пластичности заготовки трибоконтактных и термомеханических условий деформации. Экспериментально проверена данная методика для вариантов осадки заготовок из различных материалов плоскими плитами и подтверждено, что применение технологической смазки снижает на 4-15 % показатели степени использования запаса пластичности в экваториальном сечении заготовки.

**Ключевые слова:** осадка заготовки, условия на контакте, напряженно-деформированное состояние, степень использования запаса пластичности, технологическая смазка.

### **Введение**

Пластичность материала при заданных условиях деформирования оказывает существенное влияние на выбор технологических переходов в процессах обработки давлением. Зачастую конкретизация условий деформирования материалов связана с требованиями получения определенной структуры, эксплуатационных свойств, характеристик поверхности изделий, изготавливаемых штамповкой, ковкой или прокаткой. Прогнозирование степени использования запаса пластичности (СИЗП) позволяет не только назначать режимы деформирования, но и, в некоторых случаях, оценивать «технологическую наследственность» изделий. Среди основных факторов, влияющих на пластичность металлов и сплавов, следует выделить характер напряженно-деформированного состояния (НДС), температуру, степень, скорость деформации. При этом влияние условий на контакте заготовки и деформирующего инструмента на напряженно-деформированное состояние и, как правило, степень использования запаса пластичности необходимо оценивать для конкретных материалов и технологических параметров, однако сведения для проведения такой комплексной оценки в настоящее время не систематизированы.

### **Анализ известных исследований и публикаций**

Осадку используют как в технологических процессахковки и штамповки [1], так и для исследования пластичности металлов [2]. При этом даже при осадке плоскими плитами НДС материала является неоднородным по объему заготовки. Для упрочняющихся материалов из-за действия сил трения на контакте заготовки и плит свободная боковая поверхность при сжатии принимает выпуклый профиль [1, 3]. Экваториальные сечения, соответственно, характеризуются экстремальными значениями показателей НДС и СИЗП и служат своеобразными «индикаторами», при этом явление бочкообразования (обычно трактуемое как нежелательное [1, 3]) может быть рассмотрено, как способ полезного использования неравномерности деформации для профилирования заготовки с целью приближения её формы к конфигурации конечной поковки [4]. Условия на контакте заготовки и осадочных плит оказывают влияние на степень предварительного профилирования, НДС, СИЗП, заполнение ручьев, интенсивность истечения металла в облойную канавку и другие параметры, которые взаимосвязаны между собой. Поэтому существующие методы исследований напряжений, деформаций и перемещений при обработке металлов давлением [5] требуют развития с точки зрения полного учета зависимости пластичности материала от НДС, температуры и контактных условий при осадке горячих слитков или заготовок. Это затрудняет точное определение СИЗП, выбор степеней деформаций и технологических переходов. Следовательно, систематизация сведений и совершенствование методики расчета НДС и СИЗП при осадке заготовок с оценкой влияния условий на контактных поверхностях является актуальной научно-практической задачей.

### **Цель работы и постановка задач исследования**

Целью настоящей работы является разработка методики оценки влияния условий на контакте заготовки и рабочего инструмента на напряженно-деформированное состояние и степень использования запаса пластичности деформируемого материала при осадке для назначения благоприятных технологических режимов на переходахковки и штамповки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1. Выбрать методики проведения эксперимента и обработки данных. 2. Разработать обобщенный алгоритм оценки НДС и СИЗП заготовки на основе альтернативных теорий напряженного состояния и методик расчета предельных степеней деформаций, учитывающих условия деформирования и материал заготовки; 3. Экспериментально проверить предложенную методику, дать количественную оценку влиянию на показатели НДС и СИЗП использования технологической смазки при осадке заготовок плоскими плитами.

### Изложение основного материала

Изучение НДС и СИЗП проводили на физических моделях с привлечением феноменологической теории деформируемости. Использование в качестве модельного материала свинца марки ССу, пригодного для отображения закономерностей горячей деформации среднеуглеродистых сталей, обуславливает допущение изотермических условий осадки для обеспечения пластического подобия модели ( $M$ ) и натурны ( $N$ ) [6]:  $\varepsilon_m = \varepsilon_n$ ;  $\mu_m = \mu_n$ ;  $(H_0/D_0)_m = (H_0/D_0)_n$ ,  $\xi_m = \xi_n$ , где  $\varepsilon$  – степень деформации заготовки, отн. ед.;  $\mu$  – коэффициент трения на контакте;  $H_0$  и  $D_0$  – начальные высота и диаметр заготовки, мм;  $\xi$  – скорость деформации, 1/с. Соответственно:  $v_m = v_n/n_M$ , где  $v$  – скорость деформирования, мм/с,  $n_M$  – масштабный коэффициент;  $P_m = P_n/(n_M)^2$ , где  $P$  – сила деформирования, Н.

Образцы с диаметром  $D_0 = 40$  мм изготавливали прессованием с дальнейшей отрезкой на требуемую высоту  $H_0$ . Исходную информацию для оценки НДС и СИЗП получали, применяя метод делительных сеток [5], для чего в экваториальной области боковой поверхности образцов наносили координатные ячейки и измеряли их размеры до ( $a_0$  и  $b_0$ ) и после ( $a$  и  $b$ ) осадки (рис. 1). Кроме того, измеряли время  $\tau$ , за которое осуществляли деформирование. Принимали допущения об изотропности деформируемого тела, однородности деформации в пределах отдельно взятой ячейки с учетом малости выделенной части по сравнению с размерами всего образца. Осадку моделей производили ступенчато до определенных конечных высот  $H_k$ , соответствующих степеням деформации  $\varepsilon = (H_0 - H_k)/H_0 = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4$  и  $0,5$ . Используя образцы  $H_0 = 80$  мм ( $H_0/D_0 = 2,0$ ), по середине высоты наносили ячейку с базой  $a_0 = b_0 = 3$  мм для определения НДС (см. рис. 1) при осадке с различными условиями на контакте (с наличием или при отсутствии технологической смазки).

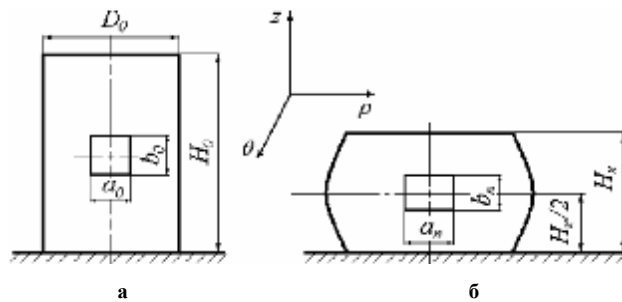


Рис. 1 – Координатная ячейка на боковой поверхности исходной (а) и деформированной (б) заготовки при осадке плоскими плитами ( $n$  – номер этапа деформирования)

В рассматриваемых ячейках главные оси напряжений  $\sigma_m$ , направления деформаций  $e_m$  и скоростей деформаций  $\xi_m$  ( $m = 1, 2, 3$ ) совпадают с осями цилиндрических координат, т.е.  $m = \rho, \theta, z$  (монотонный процесс). Для ячейки, находящейся на свободной боковой поверхности и горизонтальной оси симметрии, текущие логарифмические деформации  $e_\rho, e_\theta$  и  $e_z$  определяют из эксперимента как

$$e_\theta = \ln \frac{a}{a_0}; \quad e_z = \ln \frac{b}{b_0} \quad \text{и} \quad e_\rho = -e_z - e_\theta, \quad (1)$$

Соответствующие компоненты тензора скоростей деформаций:

$$\xi_\theta = \frac{de_\theta}{d\tau}; \quad \xi_z = \frac{de_z}{d\tau} \quad \text{и} \quad \xi_\rho = \frac{de_\rho}{d\tau}, \quad (2)$$

при этом выполняется условие неразрывности деформаций:  $\xi_z + \xi_\theta + \xi_\rho = 0$ .

Напряженное состояние на свободной боковой поверхности образца можно определить, используя одну из теорий [7 - 9]: теорию пластического течения (ТПТ) или деформационную теорию (ДТ). Расчетные выражения (3) - (16) для данных методов сведены в табл. 1.

Таблица 1

**К расчету НДС и СИЗП при осадке заготовок**

Теория	Расчетное выражение	Номер формулы
Интенсивность скоростей деформаций сдвига ( $H$ ) и интенсивность логарифмических деформаций сдвига ( $\Gamma$ ):		
ТПТ	$H = 2\sqrt{\xi_\theta^2 + \xi_\theta \xi_z + \xi_z^2}$ ;	(3)
ДТ	$\Gamma = 2\sqrt{e_\theta^2 + e_\theta e_z + e_z^2}$ .	(4)
Компоненты девиатора напряжений ( $T = \sigma_i / \sqrt{3}$ – интенсивность касательных напряжений, здесь $\sigma_i$ – интенсивность напряжений):		
ТПТ	$(\sigma_m - \sigma) = \frac{2T}{H} \cdot \xi_m$ ;	(5)
ДТ	$(\sigma_m - \sigma) = \frac{2T}{\Gamma} \cdot e_m$ .	(6)
Промежуточный расчет:		
ТПТ	$\frac{\sigma_z - \sigma}{2T} = \frac{\xi_z}{H}$ ; $\frac{\sigma_\theta - \sigma}{2T} = \frac{\xi_\theta}{H}$ ; $-\frac{\sigma}{2T} = \frac{\xi_p}{H}$ ;	(7)
ДТ	$\frac{\sigma_z - \sigma}{2T} = \frac{e_z}{\Gamma}$ ; $\frac{\sigma_\theta - \sigma}{2T} = \frac{e_\theta}{\Gamma}$ ; $-\frac{\sigma}{2T} = \frac{e_p}{\Gamma}$ .	(8)
Расчет напряжений:		
ТПТ	$\sigma = -\frac{2T}{H} \xi_p$ ; $\sigma_z = \frac{2T}{H} (\xi_z - \xi_p)$ ; $\sigma_\theta = \frac{2T}{H} (\xi_\theta - \xi_p)$ ;	(9)
ДТ	$\sigma = -\frac{2T}{\Gamma} e_p$ ; $\sigma_z = \frac{2T}{\Gamma} (e_z - e_p)$ ; $\sigma_\theta = \frac{2T}{\Gamma} (e_\theta - e_p)$ .	(10)
Коэффициент жесткости схемы НДС [10]:		
ТПТ	$k_\xi = \frac{2\xi_p}{H}$ ;	(11)
ДТ	$k_\epsilon = -\frac{2e_p}{\Gamma}$ .	(12)
СИЗП ( $L_p$ – предельная степень деформации при заданных условиях):		
ТПТ	$\Psi_{mm} = \int_0^\tau \frac{H d\tau}{\Lambda_p(k_\xi)} = \frac{\Lambda}{\Lambda_p(k_\xi)}$ ;	(13)
ДТ	$\Psi_{om} = \frac{\Gamma}{\Lambda_p(k_\epsilon)}$ .	(14)
Предельная степень деформации (по В.Ф. Зотову [11]):		
ТПТ	$\Lambda_p = b_0 + b_1 k_\xi + b_2 k_\xi^2$ ;	(15)
ДТ	$\Lambda_p = b_0 + b_1 k_\epsilon + b_2 k_\epsilon^2$ ,	(16)
где $b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты регрессии для выражений (15) и (16), определяемые как		
Материал	Температура ( $t, ^\circ\text{C}$ )	$b_0$ $b_1$ $b_2$
X12MB	900	3,17      -4,08      1,66
	1140	3,19      -4,56      1,6
P18	1000	2,34      -5,19      4,01
	1200	2,95      -5,92      3,09

В формулах (5) и (6) для вычисления компоненты девиатора напряжений гидростатическое напряжение определяют как  $\sigma = (\sigma_p + \sigma_\theta + \sigma_z)/3$ . Напряжения, нормальные к свободной поверхности:  $\sigma_p = 0$ . Используя это условие, получали промежуточные выкладки (7) и (8), откуда были найдены выражения (9) и (10) для расчета напряжений. Вычисления по формулам (7) - (10) (табл. 1) также возможны с учетом допущения справедливости гипотезы единой кривой ( $\sigma_i = \sigma_s$ ), когда интенсивность касательных напряжений для каждой отдельно взятой ячейки приближенно находят как  $T = \sigma_s / \sqrt{3}$ , где  $\sigma_s = \sigma_s(e_i, \xi_i, t) = \sigma_s(\Gamma, H, t) = \sigma_s(\Lambda, H, t)$  – локальное сопротивление материала пластической деформации при заданных условиях, определяемое по кривым упрочнения ( $e_i$  – интенсивность деформаций). Коэффициенты жесткости схемы НДС определены выражениями (11) и (12). СИЗП рассчитывали по теории пластического течения ( $\Psi_{mm}$ ) и по деформационной теории ( $\Psi_{dm}$ ) соответственно из выражений (13) и (14). Предельную степень деформации  $\Lambda_p$  находили с учетом характера НДС, материала и технологических условий его деформирования по выражениям (15), (16) и данным источника [10], некоторые выражения из которого приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Зависимость предельной степени деформации сдвига  
от условий деформирования для различных материалов**

Материал	Расчетная формула (здесь $k_\sigma = k_\varepsilon = k_\xi$ )	Номер формулы
Свинец катаный (ССу)	$\Lambda_p = 0,1 \cdot \exp[4,0 - 0,003 \cdot Sb - k_\sigma]$ , где $Sb$ – содержание сурьмы в свинце, %	(17)
Ст.Зсп (катаная)	$\Lambda_p = 2,58 + 3,1 \left( \frac{t}{1000} \right)^2 - 0,73 \cdot \frac{t}{1000} \cdot \ln \frac{H}{\sqrt{3}} - 0,65 \cdot k_\sigma + 0,1 \cdot k_\sigma \cdot \ln \frac{H}{\sqrt{3}}$ ;	(18)
Рельсовая сталь	$\Lambda_p = \exp \left( 1,97 + 0,11 \frac{t-1140}{140} - 0,195 \frac{k_\sigma - 0,96}{0,24} - 0,218 \cdot \frac{H-95}{78} - 0,036 \frac{\tau\tau_n - 0,625}{0,375} + 0,035 \cdot \frac{t-1140}{140} \cdot \frac{k_\sigma - 0,96}{0,24} - 0,14 \cdot \frac{t-1140}{140} \cdot \frac{H-95}{78} - 0,074 \cdot \frac{t-1140}{140} \cdot \frac{\tau\tau_n - 0,625}{0,375} - 0,04 \cdot \frac{H-95}{78} \cdot \frac{\tau\tau_n - 0,625}{0,375} + 0,062 \cdot \frac{k_\sigma - 0,96}{0,24} \cdot \frac{H-95}{78} - 0,061 \cdot \frac{t-1140}{140} \cdot \frac{H-95}{78} - 0,036 \frac{\tau\tau_n - 0,625}{0,375} \right)$ где $\tau\tau_n$ – время нагрева стали в печи перед деформацией, ч;	(19)
14Г2 (15Г2)	$\Lambda_p = \exp \left( 1,18 + 0,056 \frac{t-1150}{100} - 0,190 \frac{k_\sigma - 0,96}{0,24} - 0,091 \cdot \frac{H-95}{78} - 0,072 \cdot \frac{t-1150}{100} \cdot \frac{H-95}{78} \right)$ ;	(20)
Сталь 20	$\Lambda_p = 4,58 + 0,94 \frac{t-1150}{150} - 1,15 \frac{k_\sigma - 1,1}{0,4} - 0,96 \cdot \frac{H-73}{78} - 0,23 \frac{\tau\tau_n - 0,95}{0,55} - 0,65 \cdot \frac{t-1150}{150} \cdot \frac{H-73}{78} + 0,43 \cdot \frac{k_\sigma - 1,1}{0,4} \cdot \frac{H-73}{78}$ .	(21)

Различных условий на контакте достигали тем, что одну партию образцов осаживали между сухими плитами, которые обезжиривали ацетоном, а вторую – между плитами, смазанными машинным маслом (И20). Для использования ТПТ целесообразно применение конечно-разностного подхода, согласно которому выражение (3) преобразовывали к виду, позволяющему определять  $H$  в любой момент времени ( $\tau_u = u$ ):

$$H = 2 \frac{\varepsilon}{\Delta\varepsilon} \sqrt{\Delta e_{\theta,u}^2 + \Delta e_{z,u}^2 + \Delta e_{\theta,u} \cdot \Delta e_{z,u}}. \quad (22)$$

При этом:

$$\xi_{\theta} = \frac{de_{\theta}}{d\tau} = \frac{\Delta e_{\theta}}{\Delta\tau} = \frac{c}{\Delta\varepsilon} \Delta e_{\theta}; \quad \xi_z = \frac{c}{\Delta e_z}, \quad c = \text{const}. \quad (23)$$

Величину  $\Delta\varepsilon = c \cdot \Delta\tau$  находили исходя из предположения, что скорость деформирования  $v = \text{const}$ . Тогда  $\Delta h = v \cdot \tau$ , причем  $\Delta h = (H_0 - H_{\kappa})$ , рис. 1.

$$\text{Откуда имеем:} \quad \Delta h / H_0 = \varepsilon = v \cdot \tau / H_0 = c \cdot \tau, \quad (24)$$

т.е.  $c = v / H_0$ .

Принимали следующие обозначения для расчетов приращений компонентов тензора деформаций на каждом этапе нагружения:

$$\Delta e_{\theta,u} = \frac{e_{\theta,u+1} - e_{\theta,u-1}}{2}; \quad \Delta e_{z,u} = \frac{e_{z,u+1} - e_{z,u-1}}{2}. \quad (25)$$

Следовательно, показатели Надаи-Лодэ:

- по ДТ:

$$v_{\varepsilon,u} = \frac{2e_{\rho,u} - e_{\theta,u} - e_{z,u}}{e_{\theta,u} - e_{z,u}}; \quad e_{\rho,u} > e_{\theta,u}, \quad (26)$$

- по ТПТ:

$$v_{\xi,u} = \frac{2\xi_{\rho,u} - \xi_{\theta,u} - \xi_{z,u}}{\xi_{\theta,u} - \xi_{z,u}} = \frac{3(\Delta e_{\theta,u} - \Delta e_{z,u})}{\Delta e_{\theta,u} - \Delta e_{z,u}}. \quad (27)$$

Накопленную степень деформации по ТПТ также можно определить без вычисления констант  $c$  и  $\Delta\varepsilon$ :

$$\begin{aligned} \Lambda &= \int_0^{\tau=\tau_u} H d\tau = \sum_{\tau=0}^{\tau=\tau_u} \Delta\tau \cdot H = \sum_{\tau=0}^{\tau=\tau_u} 2 \frac{c}{\Delta\varepsilon} \sqrt{\Delta e_{\theta,u}^2 + \Delta e_{z,u}^2 + \Delta e_{\theta,u} \cdot \Delta e_{z,u}} = \\ &= \sum_{\varepsilon=0}^{\varepsilon=\varepsilon_u} 2 \sqrt{\Delta e_{\theta,u}^2 + \Delta e_{z,u}^2 + \Delta e_{\theta,u} \cdot \Delta e_{z,u}}. \end{aligned} \quad (28)$$

По ДТ величина  $\Lambda$  приравнивается к интенсивности логарифмических деформаций  $\Gamma$ . Отличие значения  $\Gamma$  от величины  $\Lambda$  указывает на немонотонность процесса: чем больше несоответствие  $\Lambda$  и  $\Gamma$ , тем более немонотонный процесс [10]. Непостоянство  $v_{\varepsilon,u}$  и  $v_{\xi,u}$  также даёт представление об отклонении процесса деформации от монотонного в рассматриваемой точке. Для определения  $\Lambda_p$  по ТПТ и ДТ использовали уравнения (15) и (16) соответственно (см. табл. 1) для условий деформирования стали P18 при температуре 1200 °C и стали X12MB при температуре 1140 °C.

### Результаты исследования и их анализ

На основе данных эксперимента, формул (1) - (4), (11) - (16), (26) - (27), методик табл. 1 и табл. 2 определяли показатели:  $e_{\rho}$ ;  $e_{\theta}$ ;  $e_z$ ;  $\xi_{\rho}$ ;  $\xi_{\theta}$ ;  $\xi_z$ ;  $k_{\varepsilon}$ ;  $k_{\xi}$ ;  $\Gamma$ ;  $H$ ;  $v_{\varepsilon}$ ;  $v_{\xi}$ ;  $\Lambda$ ;  $\Lambda_p$ ;  $\Psi_{от}$ ;  $\Psi_{mtm}$ . Далее были построены зависимости:  $\Gamma = f(\varepsilon)$  (рис. 2),  $\Lambda = f(\varepsilon)$  (рис. 3),  $v = f(\varepsilon)$  (рис. 4),  $k_{\varepsilon} = f(\varepsilon)$  (рис. 5),  $k_{\xi} = f(\varepsilon)$  (рис. 6),  $\Lambda = f(k_{\xi})$  и  $\Lambda_p = f(k_{\xi})$  (рис. 7),  $\Psi = f(\varepsilon)$  (рис. 8). Сглаживание данных кривых проводили с учетом выполнения условия:  $e_r + e_q + e_z = 0$ . Значения  $\Psi_{от}$  и  $v_{\varepsilon}$  находили на всех стадиях деформирования, а величины  $\Psi_{mtm}$  и  $v_{\xi}$  определяли только после последнего обжатия, поэтому на рис. 4 и рис. 8 они представлены точками.

Из графиков рис. 2 - рис. 7 следует, что процесс осадки происходит относительно монотонно, а характеристики НДС на боковой поверхности больше при отсутствии смазки, при этом применение смазки понижает СИЗП на 5 ... 7 % при  $\varepsilon \rightarrow 50$  % (рис. 8) и способствует получению более качественной поверхности осаживаемой заготовки, уменьшая опасность образования поверхностных дефектов.

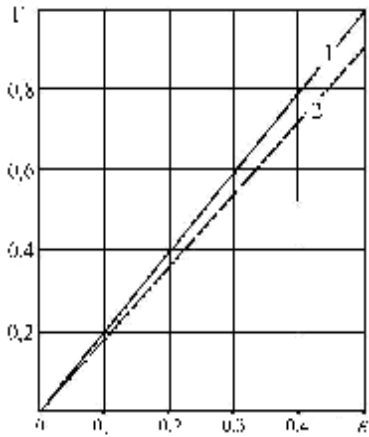


Рис. 2 – Зависимость интенсивности деформаций сдвига  $\Gamma$  от степени деформации  $\varepsilon$  при осадке сухими (1) и смазанными (2) плоскими плитами

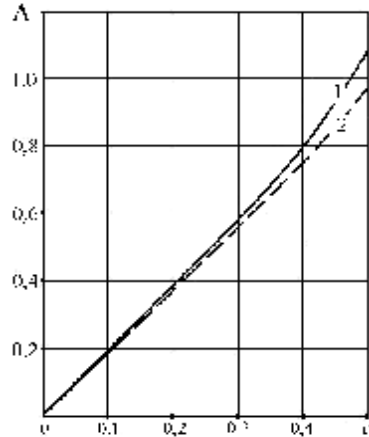


Рис. 3 – Зависимость степени деформации сдвига  $L$  от степени деформации  $\varepsilon$  при осадке сухими (1) и смазанными (2) плоскими плитами

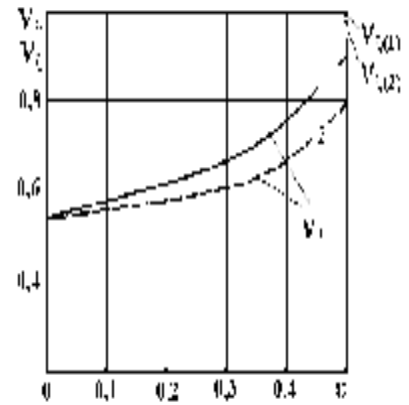


Рис. 4 – Зависимость показателя Надаи-Лоде по ДТ ( $n_x$ ) и ТПТ ( $n_x$ , при  $\varepsilon = 0,5$ ) от степени деформации  $\varepsilon$  при осадке сухими (1) и смазанными (2) плитами

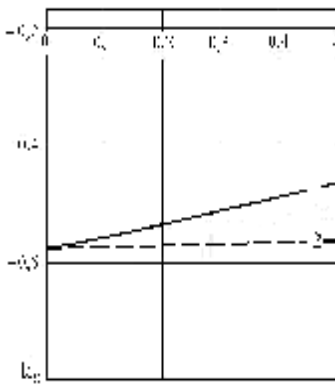


Рис. 5 – Зависимость показателя жесткости схемы НДС по ДТ от степени деформации  $\varepsilon$  при осадке сухими (1) и смазанными (2) плоскими плитами

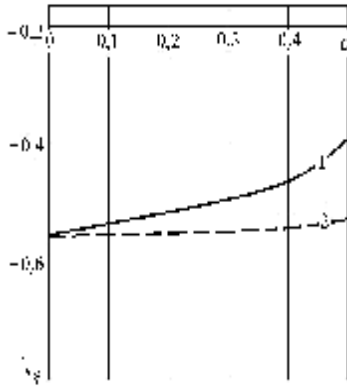


Рис. 6 – Зависимость показателя жесткости схемы НДС по ТПТ от степени деформации  $\varepsilon$  при осадке сухими (1) и смазанными (2) плоскими плитами

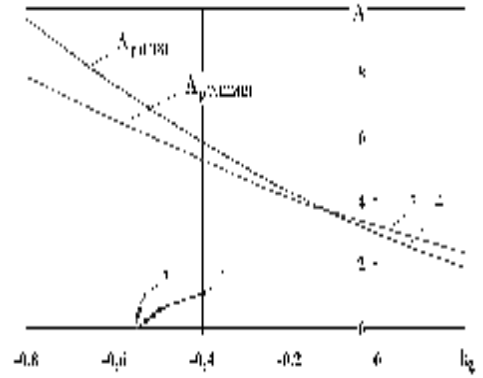


Рис. 7 – Пути деформирования и диаграммы пластичности при осадке плоскими плитами: 1 – сухие плиты; 2 – смазанные плиты; 3 –  $L_p(k_x)$  для стали X12MB при 1140 °C; 4 –  $L_p(k_x)$  для стали P18 при 1200 °C

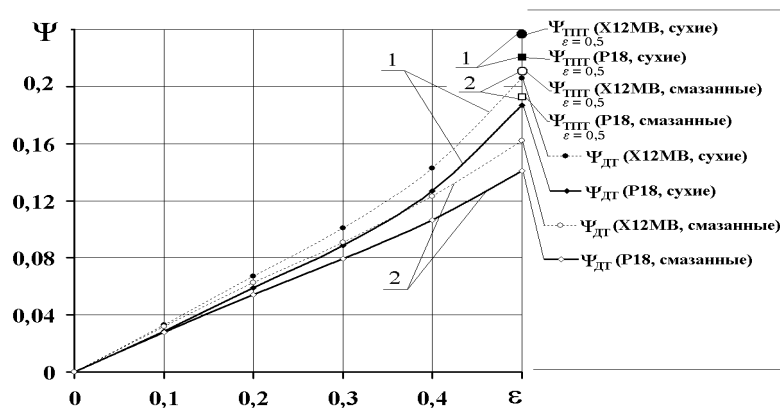


Рис. 8 – Зависимость СИЗП  $\Psi$  от степени деформации  $\varepsilon$  при горячей осадке сухими (1) и смазанными (2) плоскими плитами

Графики рис. 8 свидетельствуют о том, что данные по СИЗП для горячей деформации рассматриваемых материалов, определенные по ДТ, несколько меньше (на 20 ... 25 %), чем вычисленные по ТПТ, т.к. ДТ не учитывает историю нагружения. Полученные результаты указывают на необходимость

учета НДС при сопоставлении данных по осадке при различных температурах, когда условия на контакте отличаются. Зависимости  $\Psi = f(\epsilon)$  близки к линейным (см. рис. 8), в то время как изменение показателя бочкообразности  $\lambda$  не имеет линейной зависимости относительно  $\epsilon$  [12]. Поэтому деформирование заготовки после достижения степени деформации  $\epsilon_{\lambda_{\max}}$ , соответствующей максимуму  $\lambda_{\max}$  [1, 12], после которого происходит уменьшение бочкообразности, не снижает опасность наружных разрывов металла, т.к. имеет место увеличение СИЗП.

Таким образом подтверждено, что применение технологической смазки благоприятно сказывается на НДС заготовок, в частности, интенсивность логарифмических деформаций сдвига  $\Gamma$  снижается на 5 ... 9 %,  $k_{\epsilon}$  уменьшается на 8 ... 35 %,  $\Lambda_p$  повышается на 4 ... 14,5 %; показатели СИЗП уменьшаются на 4 ... 15 %.

### Выводы

Разработана методика комплексного учета влияния на напряженно-деформированное состояние, механическую схему деформации и степени использования запаса пластичности заготовки трибоконтактных и термомеханических условий. В основу данной методики положены феноменологические подходы, позволяющие использовать теорию конечных деформаций (сопротивление материалов пластической деформации) и теорию пластического течения для вычисления показателей НДС и СИЗП в экваториальном сечении заготовки при осадке плоскими плитами.

Экспериментально показано, что использование технологической смазки на операциях предварительного профилирования заготовок осадкой благоприятно влияет на НДС материала заготовок в опасных сечениях и приводит к снижению логарифмических деформаций сдвига на 5 ... 9 %, повышению величины предельной степени деформации на 4 ... 14,5 % и уменьшению степени использования запаса пластичности на 4 ... 15 %.

### Литература

1. Охрименко Я.М. Теория процессовковки / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин. – М.: Высш. шк., 1977. – 295 с.
2. Васильев К.И. Определение предельно-допустимой относительной деформации при открытой осадке по критерию возникновения трещины на боковой поверхности / К.И. Васильев, М.В. Соловьев // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА. – 2007. – С. 195-197.
3. Tahir Altinbalik. An upper bound analysis and determination of the barreling profile in upsetting / Tahir Altinbalik, Yilmaz Çan // Indian Journal of Engineering & Material Sciences. – December, 2011. – Vol. 18. – P. 416-424.
4. Кухарь В.В. Направления реализации бесштампового профилирования заготовок на прессах / В.В. Кухарь // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 173-179.
5. Чиченев Н.А. Методы исследования процессов обработки металлов давлением (экспериментальная механика) / Н.А. Чиченев, А.Б. Кудрин, П.И. Полухин. – М.: Металлургия, 1977. – 312 с.
6. Чижиков Ю.М. Теория подобия и моделирования процессов обработки металлов давлением / Ю.М. Чижиков. – М.: Металлургия, 1970. – 296 с.
7. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением (Теория пластичности) / Г.Я. Гун. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
8. Онищенко И.И. Механика сплошной среды (Теория пластичности) / И.И. Онищенко. – К.: Политехник, 1996. – 274 с.
9. Смирнов-Аляев Г.А. Теория пластических деформаций металлов. Механика конечного формоизменения / Г.А. Смирнов-Аляев, В.М. Розенберг. – М.-Л.: Машгиз, 1956. – 367 с.
10. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров [и др.]; под ред. В.Л. Колмогорова. – М.: Металлургия, 1977. – 336 с.
11. Зотов В.Ф. Производство проката / В.Ф. Зотов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 352 с.
12. Кухарь В.В. Баланс смещенного объема при осадке заготовки с учетом условий деформирования / В. В. Кухарь // Проблеми трибології. – 2014. – № 1. – С. 39-45.

Поступила в редакцію 23.09.2014

**Kukhar V.V. The methodic of account of the conditions influence on the contact of billet with work-tool on the stress-strain state and finishing of the store of plasticity during upsetting.**

The methodic of integrating account on the stress-strain state, the mechanical scheme of deformation and degree of the use of reserve of billet plasticity the tribocontact and thermomechanical conditions is carry out. The basis of these methodic put phenomenological approaches to use the theory of finite deformation (plastic deformation resistance of materials) and the theory of the plastic flow for the calculation of indexes of stress-strain state and degree of the use of reserve of plasticity in the equatorial section of the billet at the upsetting by of a flat die.

It is experimentally shown that the use of technological lubricants on operations of preliminary profiling of billets by upsetting has a positive effect on a stress-strain state of material of billets in dangerous cross-sections and reduces to logarithmic shear strain on 5 ... 9%, increase in the value of the limit strain degree on the 4 ... 14,5 % and a decrease of degree of the use of reserve of plasticity on 4 ... 15%.

**Keywords:** upsetting of billets, condition on the contact, stress-strain state, degree of the use of reserve of plasticity, technological lubricant.

**References**

1. Okhrimenko Ya.M., Tyurin V.A. Teoriia protsessov kovki, M., Vyssh. shk., 1977, 295 p.
2. Vasilyev K.I., Solovyev M.V. Opredelenie predelno-dopustimoy odnositelnoy deformatsii pri otkrytoy osadke po kriteriyu voznikoveniya treschiny na bokovoy poverhnosti, Udoskonalennia processiv i obladnannia obrobky tyskom v metalurgii i mashinobuduvanni, zb. nauk. pr., Kramatorsk, DDMA, 2007, pp. 195-197.
3. Tahir Altinbalik, Yilmaz Çan. An upper bound analysis and determination of the barreling profile in upsetting, Indian Journal of Engineering & Material Sciences, December, 2011, Vol. 18, pp. 416-424.
4. Kukhar' V.V. Napravleniya realizacii besshtampovogo profilirovaniya zagotovok na pressah, Metalurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', 2011, No. 7, pp. 173-179.
5. Chichenev N.A., Kudrin A.B., Polukhin P.I. Metody issledovaniya processov obrabotki metallov davleniyem (eksperimentalnaya mekhanika), M., Metallurgiya, 1977, 312 p.
6. Chizhikov Yu.M. Teoriya podobiya i modelirovaniya processov obrabotki metallov davleniyem, M., Metallurgiya, 1970, 296 p.
7. Hun H.Ya. Neoreticheskiye osnovy obrabotki metallov davleniyem (Teoriya plastichnosti), M., Metallurgiya, 1980, 456 p.
8. Onischenko I.I. Mekhanika sploshnoy sredy (Teoriya plastichnosti), K., Politehnik, 1996, 274 p.
9. Smirnov-Aliayev H.A., Rozenberg V.M. Teoriya plasticheskikh deformatsiy metallov, Mekhanika konechnogo formoizmeneniya, M.-L., Mashgiz, 1956, 367 p.
10. Kolmogorov V.L. etc. Plastichnost i razrusheniye, M., Metallurgiya, 1977, 336 p.
11. Zotov V.F. Proizvodstvo prokata, M., Intermet Inzhiniring, 2000, 352 p.
12. Kukhar V.V. Balans smeshennogo obyema pri osadke zagotovki s uchetom usloviy deformirovaniya, Problems of Tribology, 2014, No 1, pp 39-45.