

УДК 621.771.001

Шломчак Г. Г.
Фирсова Т. И.
Соснев И. Ю.

СУРЬМЯНИСТЫЕ СВИНЦЫ КАК СПЛАВЫ-МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛОВ С РАЗРУШЕНИЕМ

Обзор современной научно-технической литературы указывает на неослабевающий интерес к проблемам изучения пластических свойств металлов, условий их разрушения и создания способов сохранения целостности изделий. Это объясняется возрастающей необходимостью использования в различных областях техники все более разнообразных материалов, в том числе и малопластичных черных или цветных металлов и сплавов. При этом возникают новые задачи фундаментального изучения закономерностей пластического формоизменения подобных металлов. Решение таких задач способствует созданию новых процессов и новых энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Для получения достоверных результатов одним из наиболее эффективных методов является моделирование изучаемых и вновь создаваемых процессов в лабораторных условиях в соответствии с требованиями теории подобия [1, 2].

Задачей, решаемой в данной работе, является создание легкодеформируемых малопластичных сплавов и реализация модели процесса прокатки на их образцах в условиях разрушения для поиска новых способов их деформирования без разрушения.

Цель статьи – экспериментально обосновать выбор легкодеформируемых малопластичных материалов, склонных к разрушению в процессе прокатки.

Выбор компонентов моделирующего материала

При моделировании технологических процессов горячей обработки давлением широко применяется чистый свинец. Однако высокая его пластичность не позволяет использовать его для изучения закономерностей формоизменения металлов с разрушением.

Для получения сплавов, пластичность которых по подобию приближается к свойствам широкого класса сталей, используется эффект снижения пластичности свинца за счет легирования его сурьмой. Одним из первых исследований, «узаконивающих» на уровне изобретения применение сурьмянистых свинцов для моделирования, явилась работа Колмогорова В. Л., Богатова А. А., Мигачева Б. А. и др. [3]. Согласно этим исследованиям зависимость Λ_p и σ/T от процентного содержания сурьмы (Sb %) является экспоненциальной, (рис. 1 Λ_p – накопленная степень деформации сдвига к моменту разрушения; σ/T – показатель напряженного состояния, где $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$ среднее, или гидростатическое давление, в точке; T – интенсивность деформаций сдвига). При этом наиболее интенсивное падение пластичности происходит при легировании сурьмой до 4–5 %.

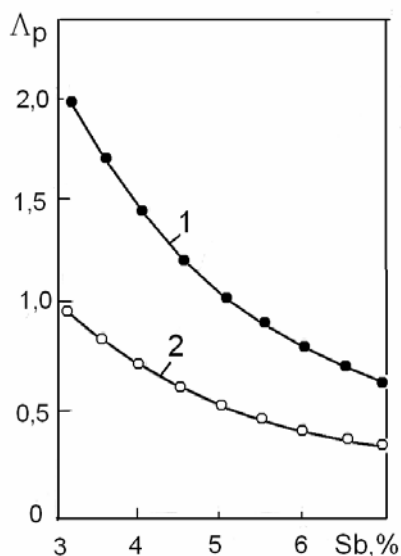


Рис. 1. Зависимость пластичности свинца от содержания сурьмы при различном напряженном состоянии:

1 – $\sigma/T = 0,12$; 2 – $\sigma/T = 0,8$ [3]

Формула для определения сопротивления деформации сплавов с различным содержанием сурьмы в [3] была получена в результате двухфакторного эксперимента и имеет вид:

$$\sigma_s = a * H^b * \Lambda^c, \quad (1)$$

где σ_s – сопротивление деформации; H – интенсивность скоростей деформации сдвига; Λ – накопленная степень деформации; a, b, c – коэффициенты регрессии.

Значения H и Λ определялись из соотношений:

$$\Lambda = \sqrt{3} \cdot \bar{\varepsilon}; \quad H = \sqrt{3} \cdot \dot{\varepsilon}, \quad (2)$$

где $\bar{\varepsilon}$ – относительная деформация; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации.

Формула (1) получена на основании статистической обработки экспериментальных данных пластометрирования свинцово-сурьмянистых сплавов в диапазоне скоростей деформации от $2 \dots 10 \text{ c}^{-1}$, в то время как лабораторные процессы прокатки, изучаемые современными физическими методами, наиболее эффективно осуществляются при скоростях деформации $\dot{\varepsilon} = 0,1 \dots 1,0 \text{ c}^{-1}$. Графически результаты расчета по (1) представляют собой только монотонно возрастающие кривые $\sigma - \bar{\varepsilon}$.

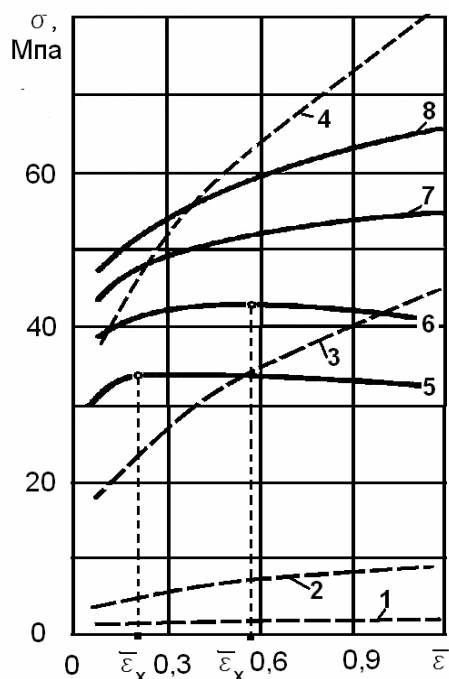


Рис. 2. Реологические кривые сплава Pb + 2,5 % Sb, полученные:

расчетом (кривые 1–4) по методике работы [3]; экспериментально [4] (кривые 5–8).

Скорости деформации: кривые 1 и 5 – $0,01 \text{ c}^{-1}$; кривые 2 и 6 – 1 c^{-1} ; 3 и 7 – 10 c^{-1} ; 4 и 8 – 30 c^{-1}

Анализ расчетных и экспериментальных данных показывает, что нет даже качественного их совпадения. Так по расчетным данным сурьмянистый свинец – реологически простой материал, т. е. монотонно упрочняющийся. Согласно же экспериментальным данным [4], при скоростях деформации до $10,0 \text{ c}^{-1}$ свинцовый сплав с содержанием сурьмы 2,5 % является реологически сложным третьего реологического класса [5]. Кроме того, в области малых скоростей деформации (до 1 c^{-1}) математическая реологическая модель свинцово-сурьмянистого сплава значительно занижает результаты (см. рис. 2, кривые 1, 2). Приблизительно сопоставимые с экспериментом результаты получаются лишь при скоростях деформации более 10 c^{-1} .

Так как в лабораторных условиях процессы прокатки осуществляются с малыми скоростями деформации, то моделировать свинцово-сурьмянистыми сплавами можно только формоизменение реологически сложных, динамически разупрочняющихся, металлов. Использовать эти сплавы для изучения процессов прокатки реологически простых металлов – недопустимо.

В данной работе для моделирования пластического формоизменения в условиях разрушения использовались легкодеформируемые сплавы свинца следующих составов: PbC1 + 1,5 % Sb; PbC1 + 2,5 % Sb; PbC1 + 5 % Sb. Литые образцы прямоугольного сечения механически обрабатывались для удаления дефектов и калибровались прессованием в закрытых матрицах. Для обеспечения надежности захвата при больших углах контакта с валками концы образцов утонялись по высоте. Прокатка осуществлялась на автоматизированном, лабораторном прокатном стане (усилием 50 тс), оборудованном измерителями скоростей

валков и заднего и переднего концов раскатов, измерителями усилий и моментов, устройствами для получения «мгновенных» очагов деформации (недокатов), электромеханическими нажимными устройствами, работающими при необходимости в процессе прокатки. Валки стальные – диаметром 100 мм. Для повышения надежности захвата рабочая поверхность валков была обработана электроискровым способом до $R_z \approx 0,05$ мм. В процессе прокатки усилия измерялись при помощи месдоз, установленных под нажимными винтами. Конструкция прокатного стана позволяет обеспечивать симметрию процесса равным распределением крутящего момента между валками. Данные эксперимента приведены в таблице.

Таблица 1
Параметры процесса прокатки сурьмянистого свинца со свободным уширением

Материал: Pb + 1,5 % Sb										
H , мм	B , мм	h , мм	b , мм	Δh , мм	ε , %	$\bar{\varepsilon}$	Δb , мм	$\Delta b / B$, %		
26,0	20,5	4,5	29,0	21,5	83	1,75	8,5	41,5		
H / B	l_d , мм	ν , мм/с	$\dot{\varepsilon}$, с ⁻¹	F_k , мм ²	$\sigma_{s,cp}$, МПа	P , кГс	p_{cp} , МПа	n_σ		
1,27	32,8	10,0	0,25	811	30	4300	53	1,77		
Материал: Pb + 2,5 % Sb										
H , мм	B , мм	h , мм	b , мм	H / B , мм	Δh , мм	ε , %	$\bar{\varepsilon}$	Δb , мм	l_d , мм	F_k , мм ²
26,0	20,5	8,8	25,0	1,27	17,2	66,2	1,08	4,5	29,3	667
Материал: Pb + 5,0 % Sb										
H , мм	B , мм	h , мм	b , мм	Δh , мм	ε , %	$\bar{\varepsilon}$	Δb , мм	$\Delta b / B$, %		
26,5	20,5	7,0	25,0	19,5	73,6	1,33	4,5	22,0		
H / B	l_d , мм	ν , мм/с	$\dot{\varepsilon}$, с ⁻¹	F_k , мм ²	$\sigma_{s,cp}$, МПа	P , кГс	p_{cp} , МПа	n_σ		
1,3	31,25	10,0	0,24	710,37	40,0	3600	50,68	1,27		

Обозначения в табл. 1: H , h – начальная и конечная высоты полосы; $\Delta h = H - h$; B , b – начальная, конечная ширины полосы; $\Delta b = B - b$; ε – относительная деформация в %; $\bar{\varepsilon}$ – логарифмическая деформация; l_d – геометрическая длина очага деформации; ν – окружная скорость валков; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации полосы; $F_k = 0,5 \times l_d \times (B + b)$; $\sigma_{s,cp}$ – среднее значение сопротивления деформации в обозначенном интервале значений деформаций и скоростей деформаций; P – полное давление металла на валки; $p_{cp} = P / F_k$; $n_\sigma = p_{cp} / \sigma_{s,cp}$.

На рис. 3–5 представлены результаты экспериментальных исследований.

На боковых поверхностях прокатанных свинцовых образцов с добавкой 1,5 % Sb заметны небольшие отдельные рванины.

Содержание сурьмы до 2,5 % усиливает дефектообразование при прокатке в виде рванин и трещин (рис. 4). Увеличение добавки в свинцовый сплав до 5 % сурьмы приводит к интенсивному разрушению образца вязкими и хрупкими рванинами и трещинами (рис. 5).



Рис. 3. Внешний вид образца ($H \times B = 26 \times 20$ мм) технического чистого свинца С1, прокатанного со степенью деформации $\varepsilon = 72$ %

Заметных дефектов на боковых гранях не обнаружено



Рис. 4. Образец сурьмянистого (PbC1 + 2,5 % Sb) свинца, прокатанный со свободным уширением

Стрелками обозначены трещины и рванины.

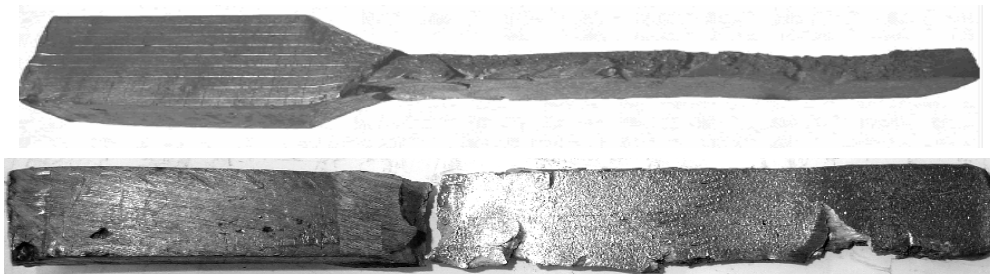


Рис. 5. Образец из сплава Pb + 5 % Sb, прокатанный со свободным уширением

Наблюдаются множественные разрушения образца в виде грубых разрывов на боковых поверхностях.

ВЫВОДЫ

1. Предложенные ранее свинцово-сурьмянистые сплавы непригодны для моделирования процессов прокатки реологически простых монотонно упрочняющихся металлов.
2. Для моделирования процессов прокатки реологически сложных металлов, склонных к разрушению, рекомендуется использовать свинцово-сурьмянистые сплавы при обеспечении реологического подобия и при скоростях деформации, не превышающих 1 с^{-1} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Шломчак Г. Г. Установление закономерностей деформирования металлов со сложной реологией методами физического моделирования : дис... д-ра техн. наук : 05.03.05 / Г. Г. Шломчак. – Нац. метал. академия. – Днепропетровск, 2000. – 343 с.
2. Шломчак Г. Г. Поляризационно-оптическое моделирование в развитии теории, технологий и оборудования в обработке металлов давлением / Г. Г. Шломчак // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ, 2005. – Т. 8. – С. 69–75.
3. Пластичность и разрушение / В. А. Колмогоров, В. С. Богатов [и др.]. – М. : Металлургия, 1977. – 336 с.
4. Полухин П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов : справочник / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. – М. : Металлургия, 1983. – 352 с.
5. Шломчак Г. Г. Реологическая концепция в теории прокатки металлов / Г. Г. Шломчак // Теория и практика металлургии. – 2005. – № 3 (52). – С. 39–43.

Шломчак Г. Г. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;

Фирсова Т. И. – науч. сотрудник НМетАУ;

Соснев И. Ю. – аспирант НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: grox2004@yandex.ru