

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ЛАТУНЕЙ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СВИНЦА

И.В.Лейрих (ДонНТУ, г. Донецк), Д.В. Спиридонов (ОАО «АЗОЦМ», г. Артемовск), З.И.Нечепуренко (ДонНТУ, г. Донецк)

С использованием данных по испытанию на растяжение получены зависимости сопротивления деформации высокосвинцовистых латуней. Описана методика обработки результатов. Показано соответствие полученных результатов известным литературным данным для аналогичных марок латуней

В процессе изготовления изделия из меди и деформируемых сплавов на ее основе подвергаются значительным деформациям по различным схемам (прокатка, волочение, прессование и т.п.). Сплавы в различной степени склонны к деформации и непроработанный режим обработки давлением может привести к неоправданным энергетическим затратам или повышенному браку при деформации.

Одной из важных характеристик технологических свойств материала, который подвергается обработке давлением, является сопротивление деформации. Под сопротивлением деформации σ_s понимают интенсивность напряжений, необходимую для прохождения пластической деформации в данных условиях нагружения [1]. Величина σ_s используется для определения усилия и момента прокатки при разработке режима деформации. Сопротивление пластической деформации зависит от свойств сплава, температурно-скоростных условий деформирования, степени деформации, схемы деформации и ряда других характеристик процесса. Например, для количественных расчетов в работе [2] в общем виде предлагается следующая зависимость (1):

$$\sigma_s = \sigma_0 k_t k_\varepsilon k_u, \quad (1)$$

где σ_0 – среднее значение сопротивления деформации, принятое условно при постоянных значениях термомеханических параметров;

– k_t , k_ε , k_u – температурный, степенной и скоростной коэффициенты.

Необходимо отметить, что значения коэффициентов для большинства промышленных сплавов составляют величину порядка 1,0, а определение их требует сложных и длительных пластометрических исследований.

Аналогичную зависимость использовали в работе [3]. Например, для

латуни Л70 предлагается уравнение (2), в которое входят степень (ϵ), скорость (u) и температура деформации (t):

$$\sigma_s = 1005,82 \epsilon^{0,455} u^{0,135} \exp(-0,0034t) \quad (2)$$

Значения коэффициентов авторы находят, статистически обработав приведенные в литературе результаты по сопротивлению деформации соответствующего сплава. Это усложняет применение предлагаемых зависимостей в случае освоения производства другого сплава с заметно отличающимся уровнем физико-механических свойств. Кроме того, в приведенных уравнениях в явном виде не учитывается уровень свойств сплава, который существенно влияет на деформируемость.

Известно, что при холодной деформации степень деформации сдвига Λ является основным фактором, который преимущественно определяет значение сопротивления деформации, зависимость $\sigma_s(\Lambda)$ называют кривой упрочнения [1]. Это позволяет упростить уравнение, сведя его к функции степени деформации сдвига. Следовательно, для получения уравнения сопротивления деформации для конкретного сплава, необходимо иметь данные по σ_s при различной степени деформации сдвига. Наиболее простым способом получения кривой упрочнения является испытание на растяжение, при котором реализуется достаточно жесткое напряженное состояние с коэффициентом мягкости 0,5. Такие испытания желательно проводить на высокоточной разрывной машине с записью первичных данных (нагрузки P и удлинения образца Δl). Кроме того, в процессе испытания в образце необходимо иметь однородное напряженное состояние. При образовании шейки однородность деформации нарушается и, тем в большей степени, чем больше относительное сужение материала. Латуни как раз имеют относительно низкую пластичность и небольшое сужение, поэтому практически вплоть до разрушения образец деформируется равномерно.

Целью данной работы является разработка методики и получение зависимостей сопротивления деформации латуней с высоким содержанием свинца.

Исследования проводили на образцах различных марок латуней, выплавленных и прокатанных в промышленных условиях на различный уровень прочности в соответствии с требованиями ГОСТ 2060-90. Для латуней, изготовленных по европейскому стандарту EN 12449: 1999 «Медь и медные сплавы», указано соответствующее состояние.

Испытания на растяжение проводили на стандартных круглых десятикратных образцах с начальным диаметром $d_0=10$ мм и $l_0=100$ мм. Скорость деформирования составляла 1 мм/мин. Разрывная машина была оснащена электронными датчиками нагрузки и перемещения, дискретность по времени записи показаний – 0,1 с, первичные данные обрабатывали с

помощью программно-технического комплекса для испытания металлов «Точприбор». По каждой марке было испытано не менее двух образцов с последующим усреднением результатов. В табл. 1 приведены выбранные марки латуней и механические свойства плавок в состоянии поставки.

Большинство выбранных сплавов (кроме Л63) являются двухфазными $\alpha+\beta$ латунями, свинец практически не растворяется в меди и цинке, и образует самостоятельную фазу.

Значение деформации сдвига Λ и сопротивление деформации σ_s в каждой точке диаграммы растяжения рассчитывали по формулам (3) [1]:

$$\Lambda = \sqrt{3} \ln((l_0 + \Delta l)/l_0) \quad \sigma_s = \frac{P}{F_0} \exp\left(\frac{\Lambda}{\sqrt{3}}\right) \quad (3)$$

Таблица 1 – Марки и свойства исследованных латуней

Латунь	Состояние	δ , %	σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²
Л63	твердое	20	430	365
ЛС59–1	твердое	9	540	460
CuZn37	R370	42,5	400	200
CuZn40Pb2	R500	9	505	435
CuZn39Pb3 пл.1.	R430	14	475	400
CuZn39Pb3 п.2	R430	22	405	305

По полученным данным строили кривые упрочнения, пример которых приведен на рис. 1.

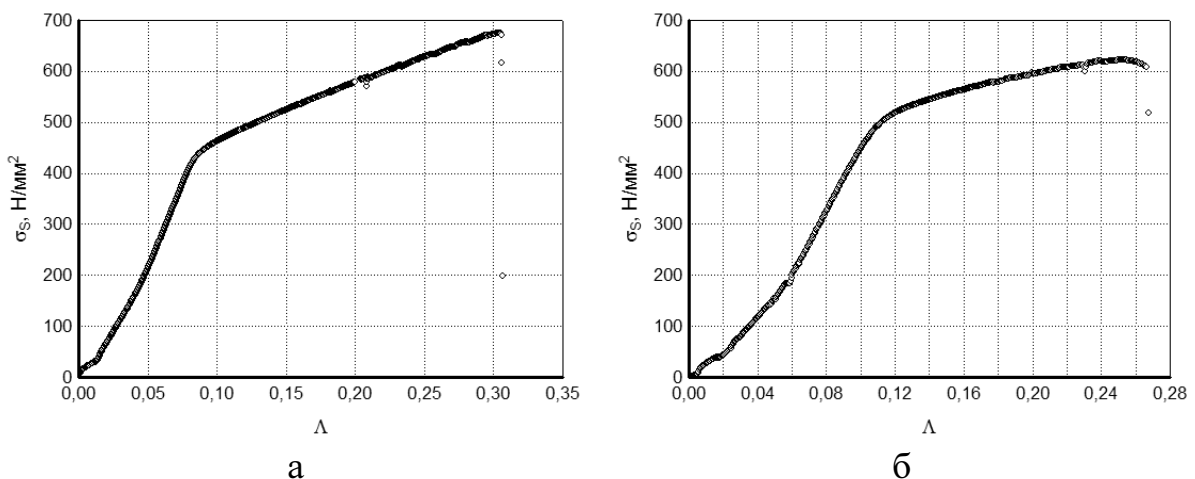


Рисунок 1 – Кривая упрочнения латуни CuZn39Pb3 пл.1 (а) и ЛС59–1 (б)

Как видно, латунь CuZn39Pb3, имеющая меньший уровень прочности и большую пластичность, и латунь ЛС59–1 с другим уровнем свойств, упрочняются до примерно одного уровня σ_s , но большее удлинение в целом ведет к большему наклепу образца из-за увеличения степени деформации.

ции.

Необходимо отметить, что единого мнения по виду зависимости $\sigma_s(\Lambda)$ нет. Например, в работе [1] для аппроксимации сопротивления деформации рекомендуется зависимость (4):

$$\sigma_s = \sigma_0 + m\Lambda^n \quad (4)$$

где σ_0 – величина, соответствующая пределу текучести;
 m и n – коэффициенты.

В этом уравнении не учитывается упругая деформация до предела текучести (для $\Lambda \rightarrow 0$ $\sigma_s \rightarrow \sigma_0$), что снижает точность расчета коэффициентов, и предполагает удаление части точек первичной кривой растяжения.

Предлагается зависимость (5), которая в целом описывает кривую упрочнения [4,5]:

$$\sigma_s = a\Lambda^n \quad (5)$$

В зависимостях типа (4) и (5) можно обратить внимание на коэффициент показателя степени n , который характеризует степень деформационного упрочнения на протяженной второй стадии деформации – множественного скольжения. По этому показателю сравнивают склонность различных металлов или фаз сплава к упрочнению.

В данной работе в качестве аппроксимирующей зависимости $\sigma_s(\Lambda)$ выбрали уравнение (5). Коэффициенты уравнения находили с помощью программы Statistica, модуль User specific regression. Полученные уравнения и их статистические характеристики приведены в табл.2.

Таблица 2 – Уравнения для расчета сопротивления деформации исследованных латуней

Латунь	Сопротивление деформации, Н/мм ²	R ²
Л63	$\sigma_s = 643,59 * \Lambda^{0,205}$	0,997
ЛС59–1	$\sigma_s = 866,1 * \Lambda^{0,235}$	0,995
CuZn37	$\sigma_s = 696,8 * \Lambda^{0,609}$	0,995
CuZn40Pb2	$\sigma_s = 667,7 * \Lambda^{0,114}$	0,991
CuZn39Pb3 п.1.	$\sigma_s = 1016,4 * \Lambda^{0,347}$	0,997
CuZn39Pb3 п.2	$\sigma_s = 662,6 * \Lambda^{0,281}$	0,998

Таким образом, в результате получены зависимости, которые позволяют рассчитать сопротивление деформации латуней с высоким содержанием свинца. Коэффициенты уравнения, в т.ч. показатель деформационно-

го упрочнения сложным образом зависит от уровня механических свойств сплава и его фазового состава, в том числе от соотношения α и β фаз, что не всегда учитывается при экспериментальных исследованиях сопротивления деформации. Сравнение полученных уравнений с аналогичными уравнениями для других марок латуней показало соответствие коэффициентов.

Литература

1. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением.– М.: Metallurgy, 1984.– 144 с.
2. Теория прокатки: Справочник / А.И.Целиков, А.Д.Томленов и др.– М.: Metallurgy, 1982.– 335 с.
3. Фастыковский А.Р., Перетягко В.Н. Аналитические зависимости для определения сопротивления деформации металлов и сплавов // Известия вузов. Черная металлургия, 2003, № 2. С. 68 – 69.
4. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов.– М.: Metallurgy, 1977.– 431 с.
5. Смирнов С.В., Пугачева Н.Б., Тропотов А.В., Солошенко А.Н. Сопротивление деформации структурных составляющих сложнолегированной латуни // Физика металлов и металловедение, 2001, Т. 91, № 2.– С. 106 – 111.

© Лейрих И.В., Спиридонов Д.В., Нечепуренко З.И. 2007