

УДК 621.771.001

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

АСПЕКТЫ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ

Реологическая концепция – закономерное важнейшее звено диалектического развития теории и основ создания технологий в обработке металлов давлением. Она возникла на основе фундаментальных экспериментальных исследований закономерностей пластического течения металлов в зависимости от свойств обрабатываемых материалов [1, 2]. Сейчас совершенно очевидно, что без учета реальных свойств металлов невозможно создание новых перспективных технологий [3].

Цель статьи – проследить основные вехи становления реологической концепции и перспективы развития на ее основе теории обработки металлов давлением.

На начальных этапах развития теории ОМД (в рамках геометрической концепции) были заложены основы калибровки деформирующих инструментов, получены десятки эмпирических формул для определения уширения и опережения, установлена зависимость между характеристическими углами $\alpha - \beta - \gamma$ очага деформации при прокатке и др.

Наиболее существенной в развитии теории прокатки представляется концепция внешнего (контактного) трения. Именно она и явилась началом теории прокатки. В рамках этой концепции анализ процессов проводился через экспериментальное установление закономерностей влияния на коэффициент трения самых разных параметров, а реологических – ограничено через «хим. состав». В рамках «теории» жестких концов и гипотезы плоских сечений уравнения прокатки распространены на описание и более сложных процессов с принятием ряда дополнительных допущений [2].

Реологическим свойствам деформируемого металла во всех этих концепциях отводилась в лучшем случае второстепенная роль. И даже в самых последних теоретических разработках не учитывается влияние реологической сложности реальных металлов (динамического деформационного разупрочнения) на закономерности их пластического течения.

Мощный импульс в становлении реологической концепции был дан с привлечением и развитием экспериментальных методов механики деформируемых твердых тел: поляризационно-оптического, муаровых полос и в особенности пластометрии. Полученные семейства реологических кривых $\sigma - \bar{\epsilon}$ послужили основой для разработки математических моделей металлов. Долгое время огромный экспериментальный материал служил только для определения интегральных параметров процессов ОМД. А каковы закономерности течения металлов, имеющих сложные реологические характеристики, то так задача даже не ставилась. Потребовалась разработка новой теории эксперимента, создание принципиально нового типа лаборатории, создание новых легкодеформируемых сплавов-моделей с различными по сложности реологическими свойствами, новой пластометрии и др. В процессе решения этой проблемы был обнаружен ряд неизвестных ранее явлений и закономерностей течения реологически сложных металлов [1]: – явление деформационных аномалий при пластическом их растяжении, которое заключается в локализации шейки на образцах и возможном дальнейшем формировании равномерной шейки с появлением вторичной шейки; – явление динамической деформационной анизотропии разупрочнения, проявляющееся в преимущественном течении металла в направлении большей главной деформации; явление интерференции нерегулярных автоколебаний напряжений в областях максимальной разности их главных значений. Был решен ряд важных для практики задач: раскрыть сложнейшие механизмы формирования концевых накатов при прокатке высоких полос; механизм двухбочкообразности

уширения и др. Но самым главным результатом исследований стала очевидность зависимости закономерностей течения реальных металлов от их реологических свойств. Благодаря становлению и развитию реологической концепции возникло новое научное направление: пластическое формоизменение реологически сложных металлов и сплавов.

В рамках реологической концепции металлы и сплавы классифицированы по их реологической сложности: реологически простые – неупрочняющиеся и монотонно упрочняющиеся (I и II классы); реологически сложные металлы – динамически аномально разупрочняющиеся, кривые $\sigma - \bar{\varepsilon}$ которых, имеют один (III класс) или более экстремумов (IV и V классы) [4].

Основными характеристиками реологических кривых являются: характеристическая степень деформации $\bar{\varepsilon}_x$ – параметр, соответствующий максимуму сопротивления деформации на кривой $\sigma - \bar{\varepsilon}$, например, III–го класса металлов; степень реологической сложности металла $\chi = 1/\bar{\varepsilon}_x$ – величина, обратная характеристической степени деформации. Чем выше степень реологической сложности металла χ , тем при меньших деформациях начнется разупрочнение.

Так как преобладающее большинство сталей и сплавов черных металлов при температурах горячей деформации, а цветных – при комнатных, обладают сложной реологией (аномальным динамическим разупрочнением), то нетрудно оценить важность развития теории обработки металлов давлением на основе реологической концепции). Опыт ее использования позволяет утверждать, что при разработке новых технологий каждому конкретному случаю должен предшествовать тщательный анализ реологических свойств обрабатываемых металлов. Несоблюдение этого требования обязательно скажется, в конечном счете, на уровне технологий.

Расширение классов исследуемых металлов, с включением в их число малопластичных сплавов, требует разработки методик учета пластических свойств.

Общепринятой мерой пластичности является степень деформации сдвига [5], накопленная материалом в течение некоторого отрезка времени к моменту разрушения. Этот параметр определяется вдоль траектории движения частицы по формуле:

$$\Lambda_p = \int_0^t H \cdot d\tau, \quad (1)$$

где H – интенсивность скоростей деформации сдвига является характеристикой скорости пластической деформации процесса, поле распределения которой по очагу деформации в существенной мере зависит от степени реологической сложности металла.

Напряженное состояние оценивается с помощью показателя напряженного состояния:

$$k = \sigma / T, \quad (2)$$

где σ – среднее (гидростатическое) давление в точке; T – интенсивность касательных напряжений, также зависящая от реологических свойств материала.

Для выявления параметров, влияющих на пластичность в зависимости от реологических свойств металла необходимо располагать диаграммами пластичности, устанавливающими связь между степенью деформации в момент разрушения Λ_p и показателем напряженного состояния $k = \sigma / T$. Диаграммы пластичности различных металлов и сплавов обычно строят по результатам одноэтапных испытаний на разрушение, например, при осадке [6]. Они позволяют разрабатывать обоснованные режимы деформирования с учетом реологических свойств, обеспечивающих получение изделий, свободных от внутренних и поверхностных дефектов.

Для экспериментального решения задач пластического формоизменения металлов уже создан ряд легкодеформируемых сплавов на основе свинца. Для исследования комплексного влияния реологических характеристик и пластических (прочностных) свойств необходимо расширить этот ряд с целью получения моделей малопластичных и хрупких металлов.

На рис. 1–4 приведены семейства пластометрических кривых металлов различной реологической сложности ($\bar{\epsilon}_x = 0,1 \dots 1,0$), которые позволяют анализировать особенности каждого из представленных металлов. Магний, например, в зависимости от режима деформаций и температуры хрупкий при комнатной и высокопластичный при повышенных температурах, его можно отнести к III или IV классу реологической сложности.

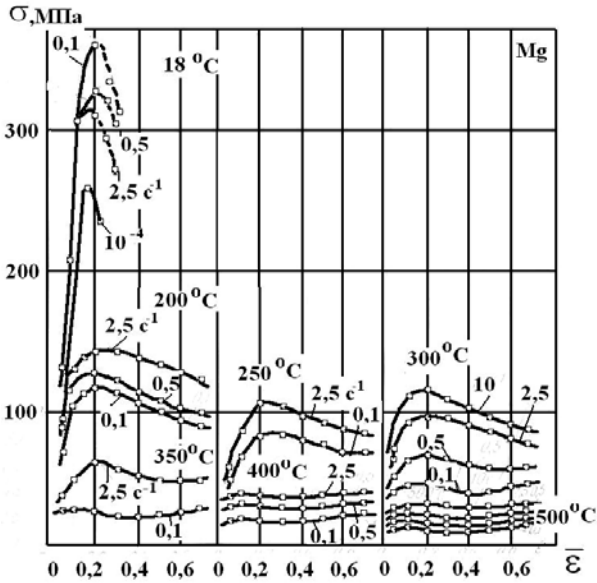


Рис. 1. Реологические кривые магния (99,9 %) после прессования, холодного волочения и отжига [7]

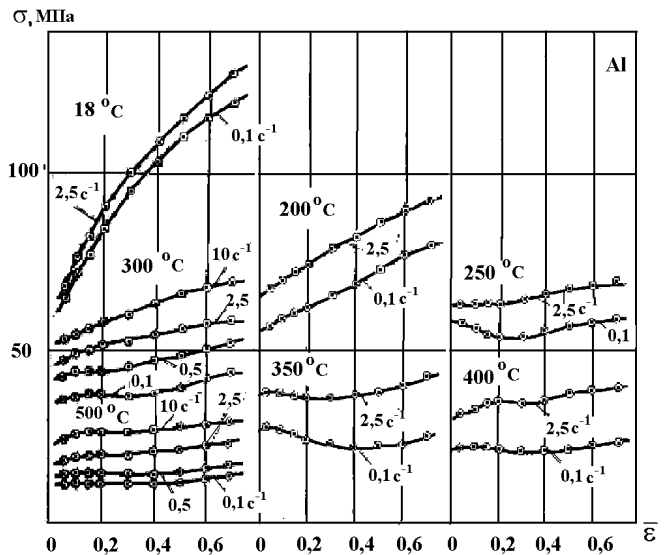


Рис. 2. Реологические кривые алюминия (99,5 %) после волочения и отжига [7]

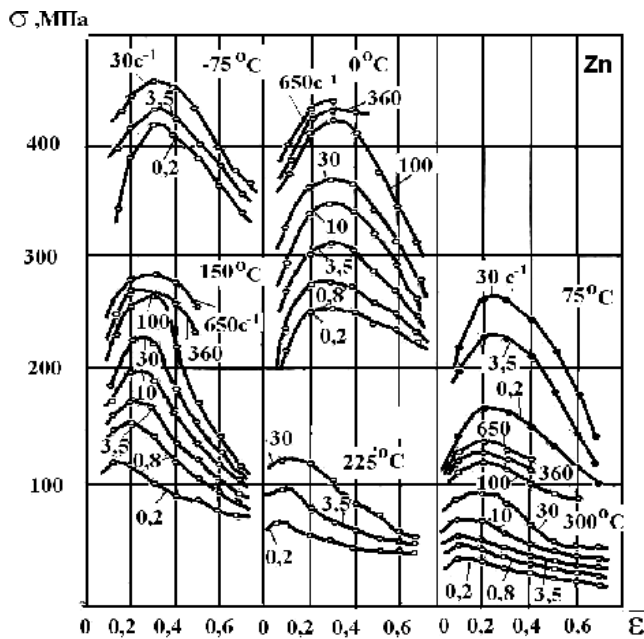


Рис. 3. Реологические кривые цинка (99,99 %) после горячей прокатки [7]

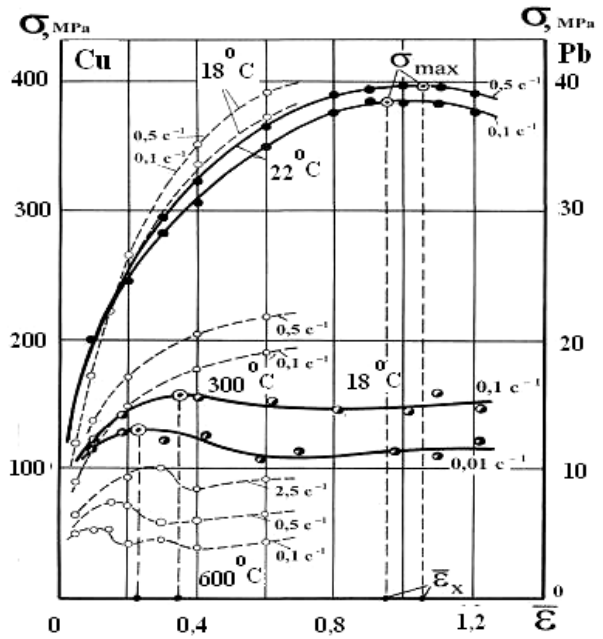


Рис. 4. Реологические кривые чистых металлов: меди и свинца [3]

Цинк является металлом хрупким в литом состоянии и пластичным после горячей деформации. Он уникальный представитель III реологического класса с характеристической степенью деформации $\bar{\varepsilon}_x \approx 0,2$ при любых температурах (от -75 °С до $+300$ °С).

Медь отличается разнообразием реологических свойств в зависимости от температурно-скоростных режимов: от II до V классов. Нами впервые было установлено, что медь даже при комнатной температуре может быть реологически сложной. Разупрочнение в этом случае начинается при $\bar{\varepsilon}_x \approx 1$.

Из этих примеров вполне очевидно, что традиционная идеализация реологических свойств реальных металлов при создании новых технологий недопустима. А ввиду отсутствия математической теории пластичности реологически сложных металлов основным в создании принципиально новых технологий является экспериментальный путь, но на научно обоснованных физических моделях, создаваемых с учетом вновь обнаруженных и изучаемых явлений и закономерностей их протекания при различных видах обработки металлов давлением.

ВЫВОДЫ

1. Некоторые концепции в теории ОМД устарели, а применительно к обработке большинства реальных материалов – ошибочны.

2. Обнаружение современными физическими методами неизвестных ранее явлений и закономерностей пластического течения реологически сложных металлов требует новых теоретических предпосылок и новой идеологии эксперимента, фундаментом которых в настоящее время предлагается реологическая концепция.

3. Для дальнейшего развития реологической концепции необходимо расширить диапазон исследуемых свойств металлов и сплавов, например, при включении в область исследований малопластичных металлов необходимо наряду с реологическими характеристиками рассматривать и их пластические свойства.

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. металл. академия Украины. – Днепропетровск, 2000. – 343 с.
2. Шломчак Г. Г. Реологическая концепция в теории прокатки металлов / Г. Г. Шломчак / Теория и практика металлургии. – 2005. – № 3 (52). – С. 39–43.
3. Шломчак Г. Г. Исследование закономерностей развития деформаций металлов разной реологической сложности на основе создания новых методов пластометрии (отчет по НИР. Закл.) / Г. Г. Шломчак. – Днепропетровск, 2004. – 231 с.
4. Шломчак Г. Г. Реологические классы металлов / Г. Г. Шломчак // Матер. 2-й МК «Материалы для строительства» (ICMB'93). – Днепропетровск, 1993. – С. 69–70.
5. Пластичность и разрушение / В. Л. Колмогоров, А. А. Богатов и др. – М. : Металлургия, 1977. – 336 с.
6. Воронцов В. К. Построение диаграммы пластичности / В. К. Воронцов, Т. А. Михин, Н. А. Чиченев // Теория и технология : науч. тр. № 103 МИСиС. – М. : Металлургия, 1977. – С. 34–38.
7. Suzuki H. Report of the industrial science / H. Suzuki // University of Tokyo. – 1968. – Vol. 18. – № 3. – 240 p.

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: firta@bk.ru