



Некоторые утверждения в публикуемом материале могут показаться дискуссионными, и автор будет рад встрече с оппонентами для более глубокого обсуждения проблемы.

Г. Г. Шломчак /д. т. н./

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: Shlomchak@i.ua

Состояние и перспективы теории прокатки

G. G. Shlomchak /Dr. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine
e-mail: Shlomchak@i.ua

State and prospects of the theory of rolling

Цель. На основе анализа состояния теории прокатки, с учетом фундаментальных исследований автора, показать актуальность развития нового научного направления – пластического формоизменения реологически сложных (РС) металлов.

Методика. Рассматриваются основополагающие постулаты классической теории Т. Кармана. Анализируются возможности математических теорий пластичности. Выводы подтверждаются результатами новейших теоретически обоснованных экспериментов.

Результаты. Показано, что постулаты теории прокатки ошибочны или устарели. Теория не способствует созданию принципиально новых технологий XXI в. Перспективным является развитие нового научного направления – пластического формоизменения РС металлов. Его основа – физическая теория пластичности и всесторонне обоснованный эксперимент.

Научная новизна. Обнаруженные автором неизвестные ранее явления и закономерности пластического течения металла при больших деформациях. Впервые за 150 лет исследований раскрыт «секрет» высокого прокатного очага деформации.

Практическая значимость. Впервые в мировой практике создан уникальный процесс прокатки РС металлов (пионерский патент). Он реализован в лабораторных условиях и рекомендуется к промышленному освоению. (Библиогр.: 27 назв.)

Ключевые слова: теория прокатки; устаревшие постулаты; фундаментальный эксперимент; новое научное направление; реологически сложные металлы; новые процессы.

Введение. Благодаря успехам в фундаментальных науках, прежде всего в физике металлов, прошлое столетие завершилось созданием новейших революционных технологий в металлургии. Наиболее важные из них – способы непрерывной разливки металлов и уникальные агрегаты для их осуществления. В сталеплавильном производстве удалось, наконец, избавиться от чрезвычайно трудоемких и малопроизводительных процессов разливки металлов в изложницы. Значительно сократилось число сложных операций в прокатно-обжимном производстве. Открылась благоприятная перспектива создания высокопроизводительных бесконечных процессов. Но на пути эффективной их реализации оказалась устаревшая идеология науки о прокатке металлов, становление и развитие которой базировалось на ряде упрощающих концепций: геометрической, «внешнего» трения, «теории» жестких концов, «гипотезе» плоских сечений и др.

Цель статьи: на основе анализа состояния теории прокатки и с учетом результатов многолетних фундаментальных авторских исследований показать необходимость развития нового научного направления – пластического формоизменения реологически сложных металлов.

1. Обзорный анализ теории

1.1. На начальном этапе становления прокатного производства вполне естественным был геометрический подход к построению технологических процессов. Главной фигурой в их разработке был практик - «держатель секретов» деформирования металла - калибровщик. Отсутствие теории компенсировалось пробными прокатками профиля с многократными корректировками калибровки валков.

Геометрическая концепция явилась исходной в создании ряда положений теории прокатки. В ее рамках были разработаны, к примеру, десятки эмпирических формул для вычисления

уширения деформируемого металла, установлена зависимость между характеристическими углами очага деформации при прокатке – α – β – γ и др.

1.2. Выведенное Т. Карманом в 1925 г. уравнение прокатки содержало две неизвестные величины – касательное (τ) и нормальное (σ) напряжения. Оно долгое время оставалось нерешенным. Только в 1929 г. К. Губер, наряду с другими грубыми допущениями, приравнял неизвестные τ и σ с точностью до некоторого коэффициента, т. е. привел уравнение к одному неизвестному и решил его. В результате этого отношение τ к σ оказалось некоторой постоянной « f ». Впоследствии решение совершенствовалось Е. Зибелем, А. Надаи, А. И. Целиковым, А. Гелеи, А. П. Чекмаревым и многими другими, но при этом же, главном, допущении.

Перенесение отношения $f = T/P$, полученного при изучении контакта упругих тел и названного когда-то Амонтоном коэффициентом трения, применительно к условиям упруго-пластического контакта неправомерно. Как бы « f » ни назывался – «истинным», «интегральным», «средним», «показателем трения» и т. п. – по исходной своей сущности это искусственно принятое отношений двух зависимых (искомых) параметров – компонентов тензора напряжений τ_{xy} и σ_y . Как указывает Г. Хантли в работе [1], «... такие, формально получаемые, отношения двух перпендикулярно действующих (неколлинеарных) векторных величин лишаются физического смысла...». Они превращаются в коэффициенты нашего незнания. С точки зрения анализа размерностей « f » – незаконнорожденное дитя, откуда и неудобства в его формулировке и трудности в вычислениях зависимых переменных τ_{xy} и σ_y параметров. Они тождественны трудностям в решении задач о напряженно-деформированном состоянии металла при прокатке. И главное: коэффициент трения определяется только опытным путем. В свою очередь, экспериментальные методы определения « f » в различных процессах прокатки не обоснованы и не могут в принципе давать достоверных результатов. Они вынужденно построены на нарушении кинематики очага деформации [2].

В рамках концепции «внешнего» (точнее: контактного) трения развитие теории прокатки выполнялось через установление влияния каждого из параметров процесса на коэффициент трения. Такой, фракционно-обратный, подход сыграл определенную положительную роль в развитии теории тонколистовой прокатки, но носил часто парадоксальный характер. Например, в искусственно создаваемых условиях экспериментально изучалось влияние удельных

давлений на коэффициент трения с тем, чтобы потом определять влияние коэффициента трения на удельные давления... К сожалению, в теоретических решениях исследователи и сейчас формулируют граничные условия на основе концепции контактного трения не только в виде простых симплексов, но и в виде функциональных зависимостей. Это не только усложняет, но и обедняет решения, исключая из поля актуальности важные для развития теории ОМД исследования локальных макро- и микро-реологических процессов, происходящих с металлом в очаге деформации при высоких степенях деформации и сложном нагружении. При положительном влиянии на начальных этапах становления теории прокатки сейчас концепция «внешнего» трения сдерживает ее развитие.

1.3. Распространение уравнения прокатки на описание более сложных процессов (например, прокатка высокой полосы) приводило к принятию ряда дополнительных допущений. Возникла «теория» жестких концов и «гипотеза» плоских сечений. Реологическим свойствам деформируемого металла и здесь отводилась второстепенная роль. Граничные условия, как и прежде, определялись в рамках концепции «внешнего» трения [3–5].

1.4. Разработки математических моделей металлов на атомарном или молекулярном уровне не увенчались успехом из-за трудностей, а точнее, из-за невозможности, определения физических констант реальных металлов [6]. Перспектива изучения физико-пластических свойств металлов для развития теории обработки давлением открылась лишь с развитием реометрии (пластометрии) [7]. К настоящему времени опубликовано большое количество научных, в том числе фундаментальных, работ по пластометрии металлов. Их конечной целью является определение зависимости сопротивления деформации металлов от степени деформации, скорости деформации и температуры.

Развитие этого направления [8–11] инициировало и теоретические разработки. Опубликовано множество работ (А. Ф. Головин, В. В. Витман, М. А. Златин, М. А. Зайков, В. И. Зюзин, М. Я. Бровман, А. И. Целиков, В. А. Персиянцев, Л. Н. Соколов, К. Saito, S. Joshijaki, С. В. Охрименко, А. А. Поздеев, В. И. Тарновский, В. И. Еремеев, В. С. Баакашвили и многих других), в которых предложены различные математические модели металлов. В модели И. Я. Шварцбарта, например, полученной в рамках теории упрочнения-отдыха [12], уже учитывается наличие максимума на кривых $\sigma - \bar{\epsilon}$, т. е. математическая сложность моделей реальных сталей и сплавов, которая впервые была экспериментально

обнаружена П. М. Куком еще в 1948 г. Авторы работы [13], используя принципы Больцмана – Вольтерра и исследования Ю. Н. Работнова, методами теории ползучести разработали математические модели, учитывающие не только сложность кривых $\sigma = f(\bar{\epsilon}, \dot{\epsilon}, t)$ металлов, но и историю их нагружения. В качестве исходных данных для реализации этих непростых математических моделей нужны были эксперименты, что в свою очередь требовало развития методов пластометрии. На основе ее совершенствования и систематического использования Н. Suzuki установил, что многие реальные металлы и сплавы (Cu, Al и др.) отличаются наличием нескольких экстремумов на кривых $\sigma - \bar{\epsilon}$ [11]. J. B. Ballance обнаружил сплавы, которые при малых скоростях деформирования начинают интенсивно разупрочняться, едва получив 2...3 % степени деформации [14]. Работами Л. Н. Соколова впервые показано, что после горячего деформирования металла необходима значительная по времени выдержка до полного его разупрочнения [10]. Однако эти важные результаты экспериментальных исследований не использовались для развития теории прокатки. Металлы идеализировались. В теории продолжал властвовать постулат Друккера, из которого вытекало, что «продолжение пластической деформации тела требует приложения дополнительных энергий», т. е. все металлы рассматривались как монотонноупрочняющиеся. Иные металлы, согласно анализу Л. М. Качанова, считались «неустойчивыми» и в рамках используемых математических теорий пластичности «нереальными» [15].

В 1980-е годы автором статьи введено понятие «реологически сложные металлы», естественно вытекающее из анализа имеющихся в мировой научной и справочной литературе огромного массива результатов пластометрических испытаний в виде семейств кривых $\sigma = f(\bar{\epsilon}, \dot{\epsilon}, t)$. Это металлы, аномально динамически разупрочняющиеся (и вторично упрочняющиеся) при деформировании, что на кривых $\sigma - \bar{\epsilon}$ наблюдается в виде экстремумов.

1.5. Математические модели и трудности использования некоторых теорий пластичности в трактовке теоретиков. Прорыв в теории прокатки наступил с началом привлечения теорий пластичности и вычислительных методов. Интенсивное развитие вычислительной техники приоткрыло перспективу решения сложных технологических задач создания процессов пластической обработки металлов: асимметричных, нестационарных, объемных с робкими попытками учета температурных полей и др. Однако, несмотря на развитие методов мате-

матического моделирования, граничные (контактные) условия не претерпели принципиальных изменений, а идеализация реологических свойств металлов продолжалась, поэтому достоверность результатов многих теоретических исследований весьма сомнительна.

Математическая теория пластичности, несомненно, является основным стратегическим достижением науки. Однако обратимся к анализу, выполненному одним из ведущих специалистов в области математической теории пластичности профессором В. Д. Ключниковым. Среди теорий регулярной пластичности (в концепции гладких поверхностей нагружения) особое место, указывает он, занимает теория течения для возможности описания процессов сложного нагружения. Логическое ее построение позволило причислить ее к разряду классических, а относительная простота обеспечила возможность ее практического применения. Определенный класс процессов деформирования металлов с гладкими путями нагружения (по данным исследователей-расчетчиков – авт.) удовлетворительно ею описывается. Вместе с тем, замечает он, в большинстве случаев классическая теория течения оказывается неприемлемой, так как «...в ней неличествует жесткая связь глобального объекта – поверхности нагружения в целом – с дифференциальным элементом – приростом пластической деформации. На коротких участках пути изменить направление этого прироста невозможно. Не находят своего применения для описания реальных процессов ОМД и «физические» теории (например, теория скольжения Батдорфа – Будянского), созданные в рамках направления «сингулярная пластичность», а также теории, базирующиеся на гипотезе Ильюшина об изотропии пространства девиаторов, объединенные в направление «аналитическая пластичность». Такое же положение наблюдается и с «макродетерминистическими», «термодинамическими» и другими теориями. «Как будет выглядеть теория пластичности сложного нагружения в терминах больших деформаций пока не ясно...», – заключает В. Д. Ключников [16]. Нельзя не согласиться. Вспомним о знаменитых опытах А. А. Ильюшина со сложным нагружением тонкостенной трубы. Они закладывались в основу теорий пластичности, разрабатываемых в рамках гипотезы «траекторий деформаций малой кривизны» В. С. Ленского. В этих опытах степени деформации металла, естественно, не могли быть большими – $\epsilon \leq 8\%$.

Даже такой краткий фрагментарный анализ приводит, к сожалению, к неутешительному выводу: вряд ли в обозримом будущем может быть создана теория пластичности реологиче-

ски сложных (реальных) металлов, локальные макрообъемы которых могут разупрочняться и вновь упрочняться при прохождении через прокатный очаг деформации.

Что же касается точности результатов сложных расчетов, полученных, при помощи упомянутых теорий, то она может оказаться мнимой, так как обесценивается нагромождением начальных и дополнительных допущений. По мнению профессора А. Л. Воронцова, трудно усложнять и без того сложную математическую теорию пластичности [17]. Нельзя также забывать, что за определенной чертой нагромождения допущений математизация бесплодна [18]. Кроме того, результаты решения задач пластического деформирования, как правило, экспериментально не проверяются, а усеченное теоретическое (само) тестирование в каждом случае может быть подвергнуто обоснованной критике. С течением времени реальные, физические, процессы и их математические модели все более расходятся. Теоретически не было предсказано никаких новых явлений или закономерностей в пластическом формоизменении металлов. Даже возведенная в ранг классической теория течения чаще выступает лишь в роли математического статиста, описывая уже созданные технологические процессы, или используется для расчетов технологий, подобных уже известным.

Изложенное выше свидетельствует о серьезных, требующих решения, проблемах в теории.

2. Физическая теория пластичности

Физическая теория пластичности в настоящее время бурно развивается методами металлофизики. Ее задачи сформулированы академиком О. А. Кайбышевым: «Физическая теория пластичности должна выявить не только новые механизмы деформаций, обеспечивающих пластическое течение..., но и устанавливать граничные параметры, при которых наблюдается смена одного механизма другим либо одних комбинаций действующих механизмов другими. Поскольку настоящий уровень развития теории не позволяет решать задачи в такой постановке, то на первый план выдвигаются результаты экспериментального исследования механизмов деформации металлов в различных условиях» [19]. Он не без основания утверждает, что «...истинные диаграммы растяжения $\sigma - \epsilon$ в интегральной форме содержат информацию о всех структурных изменениях в металле при его деформировании».

Если учесть, что семейства реологических кривых, получаемых на пластометрах, содержат несравненно больший объем информации о металлах, то их использование следует считать

предпочтительным для развития физической теории пластичности.

Новые открытия в области физической теории пластичности показали, что деформировать металлы можно вообще без воздействия механических сил [20].

Создание принципиально новых технологий должно базироваться на всесторонних знаниях о металле и использовании их не по принципу «давить металл», а помогать ему пластически течь, но... в нужном направлении.

3. Проблемы эксперимента

Решение проблем эксперимента было остро актуальным на новом витке спирали получения знаний о реальных металлах и о неизвестных ранее закономерностях пластического их течения при различных видах нагружения, при больших и сверхбольших деформациях, при изучении асимметричных и нестационарных процессов.

Первая проблема состояла в создании новой, современной, идеологии научных исследований и работоспособных законов эксперимента для изучения сложных процессов пластического формоизменения металлов.

Вторая проблема заключалась в специализированном развитии техники экспериментальных методов механики твердого деформируемого тела: фотоупругости, фотопластичности, муар, пластометрии, тензометрии и др.

Третья проблема заключалась в создании нового лабораторного оборудования, научных приборов, измерительной аппаратуры и множества различных приспособлений для обеспечения возможностей реализации сложных экспериментов.

В результате комплексного решения указанных проблем в Национальной металлургической академии Украины впервые в мировой практике на основе требований теории подобия создана нового поколения лаборатория современных методов исследования сложных процессов пластического формоизменения металлов.

4. «Пластическое формоизменение реологически сложных металлов» как новое научное направление

Разработка этого направления начиналась автором с поиска ответа на впервые поставленный вопрос: «Как будут деформироваться образцы металлов различной реологической сложности при пластическом нагружении растяжением, сжатием, прокаткой?».

Для того чтобы найти ответ, потребовалось: создать новую теорию научных исследований [21], новые лабораторные технические средства

и материалы для выполнения сложных экспериментов [22–24], выполнить обширные фундаментальные исследования [25].

Результаты исследований принципиально изменили традиционные взгляды на закономерности, а порою и на механизмы пластических деформаций.

Были обнаружены ранее неизвестные явления и закономерности течения реологически сложных (РС) металлов:

- явление деформационных аномалий высших порядков при пластическом растяжении образцов реологически сложных металлов, заключающееся в ускорении формирования шейки на образцах за счет локального динамического разупрочнения металла в ней или в последующем замедлении этого процесса с формированием равномерно удлиненной шейки в случае вторичного упрочнения металла согласно ходу пластометрической кривой $\sigma - \varepsilon$;

- явление анизотропии динамического разупрочнения реологически сложных металлов, выражающееся в преимущественном их пластическом течении в направлении большей главной деформации;

- явление интерференции спонтанных нерегулярных автоколебаний напряженного состояния очага деформации в ядре максимальной напряженности поля валков при прокатке реологически сложных металлов.

Впервые за 150-летнюю историю изучения процессов прокатки раскрыты тайны высокого очага деформации в его развитии от начала его формирования до установившейся стадии.

На основе изучения обнаруженных явлений впервые разработан и реализован в лабораторных условиях уникальный процесс прокатки реологически сложного металла, отличающийся недостижимыми ранее высокими значениями параметров очага деформации: величинами разовых обжатий $\varepsilon \approx 98\%$, углами захвата $\alpha \approx 70^\circ$. Процесс реализуется преимущественно сдвиговыми деформациями и характеризуется равномерностью распределения их по высоте раската [26; 27].

Создание реологической (физической) теории прокатки исключительно актуально, так как преобладающее большинство сталей и сплавов черных металлов при горячей деформации, а многие цветные металлы и при комнатных температурах, являются реологически сложными, а неучтенность этой сложности приводит к огромным потерям материальных и энергетических ресурсов.

Выводы. Выполнен анализ концепций, гипотез, допущений в теории прокатки и некоторых

положений математической теории пластичности. Показано, что ряд идеологических постулатов теории устарели или ошибочны. Рассмотрены перспективы развития нового научного направления: пластическое формоизменение реологически сложных металлов. В нем разработаны принципиально новые технологии базируются на физической теории пластичности реальных – неидеализированных – металлов.

Библиографический список / References

1. Хантли Г. Анализ размерностей: пер. с англ. / Г. Хантли. – М.: Мир, 1969. – 174 с.

Huntley G. Dimensional Analysis: Transl. of angl. Moscow, Mir, 1969, 174 p.

2. Shlomchack G. G. Optical modelling of non-stationary rolling process / G. G. Shlomchack, I. Mamuzic, F. Vodopivec // Material Science and technology. Vol. 11. A publ. of the Institute of Materials. – London, 1995. – № 3. – P. 312–316.

Shlomchack G. G., Mamuzic I., Vodopivec F. Optical modelling of non-stationary rolling process. Material Science and technology. Vol. 11. A publ. of the Institute of Materials, № 3. London, 1995, pp. 312–316.

3. Гун Г. Я. Теоретические основы обработки металлов давлением / Г. Я. Гун. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.

Gong G. Y. Theoretical bases of metal forming. Moscow, Metallurgy, 1980, 456 p.

4. Никайдо Х. Моделирование по методу конечных элементов нестационарной деформации при прокатке с обжатием боковых кромок / Х. Никайдо, Т. Наои, К. Сибата [и др.]; ЦООНТИ. – КИ-73789; пер. с яп. из журн. // Со-сей то како. – 1983. – Т. 24, № 268. – С.109–113.

Nikaido H., Naoi T., Shibata, K. et al. Modeling by the finite element method of non-stationary deformation during rolling with a reduction of the side edges. Zh kako. 1983, vol. 24, no. 268, pp. 109–113.

5. Данченко В. Н. Производство профилей из алюминиевых сплавов / В. Н. Данченко, А. А. Миленин, А. Н. Головки // Теория и технология. – Д.: Системные технологии, 2002. – 448 с.

Danchenko V. N., Milenin A. A., Golovko A. N. Production of profiles of aluminum alloys. Theory and technology. Dnipro, System Technology, 2002, 448 p.

6. Метод подобия в теории прокатки / В. С. Смирнов, А. К. Григорьев, А. Д. Карачунский, О. Я. Мельничук. – Л.: Наука, 1971. – 178 с.

Smirnov V. S., Grigoriev A. K., Karachunsky A. D., Melnichuk O. Ya. Similarity method in the theory of rolling. Leningrad, Science, 1971, 178 p.

7. Orowan E. Report MW/F/22/50/ Forming Committee in the Mech. Working Division / E. Orowan. – 1950. – 68 p.

Orowan E. Report MW/F/22/50/ Forming Committee in the Mech. Working Division. 1950, 68 p.

8. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

Tretyakov A. V., Zuzin V. I. *The mechanical properties of metals and alloys by pressure treatment*. Moscow, Metallurgy, 1973, 224 p.

9. Зюзин В. И. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке / В. И. Зюзин, М. Я. Бровман, А. Ф. Мельников. – М.: Металлургия, 1964. – 270 с.

Zuzin V. I., Brovman M. J., Melnikov A. F. *Deformation resistance of steel in hot rolling*. Moscow, Metallurgy, 1964, 270 p.

10. Полухин П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. И. Галкин. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

Poluhin P. I., Gong G. Y., Galkin A. I. *Resistance to plastic deformation of metals and alloys*. Moscow, Metallurgy, 1983, 352 p.

11. Suzuki H. Report of the industrial science / H. Suzuki // University of Tokyo. – 1968. – Vol. 18. – № 3. – 240 p.

Suzuki H. *Report of the industrial science*. University of Tokyo. 1968, vol. 18, no. 3, 240 p.

12. Шварцбарт Я. С. Состояние и перспективы развития теории расчета высокотемпературных напряжений течения металла / Я. С. Шварцбарт // Теория прокатки: тр. Всесоюз. науч. техн. конф. «Теоретические проблемы прокатного производства. – М.: Металлургия, 1975. – С. 50–56.

Shvartsbart Y. S. *State and prospects of development of the theory of calculation of high-voltage current metal rolling*. Theory of rolling. "Theoretical problems of rolling mills". Moscow, Metallurgy, 1975, pp. 50–56.

13. Применение теории ползучести при обработке металлов давлением / А. А. Поздеев, В. И. Тарновский, В. И. Еремеев, В. С. Бакашвили. – М.: Металлургия, 1973. – 192 с.

Pozdeev A. A., Tarnovsky V. I., Eremeev V. I., Bakaashvili V. S. *Application of the theory of creep with the metal forming*. Moscow, Metallurgy. 1973, 192 p.

14. The Hot Deformation of Austenite / Edited by J. B. Ballance. – New-York: AIME, 1977. – 631 p.

Ballance J. B. (ed.). *The Hot Deformation of Austenite*. New-York, AIME. 1977, 631 p.

15. Качанов Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с.

Kachanov L. M. *Fundamentals of the theory of plasticity*. Moscow, Nauka. 1969, 420 p.

16. Ключников В. Д. Теория пластичности: современное состояние и перспективы / В. Д. Ключников // Изд. РАН Мех. тверд. тела. – 1993. – № 2. – С. 102–116.

Klyushnikov V. D. *Plasticity theory: current state and prospects*. Ed. RAS Meh. tverd. tela. 1993, no. 2, pp. 102–116.

17. Воронцов А. Л. К вопросу о контактном трении, кривых упрочнения, эффекте Баушингера / А. Л. Воронцов // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. – М, 2011. – № 3. – С. 39–47; № 4. – С. 38–44.

Vorontsov A. L. *On the question of contact friction, the hardening curves, Baushinger effect*. Forging and stamping production. OMD. Moscow. 2011, no. 3, pp. 39–47; no. 4, pp. 38–44.

18. Макушок Е. М. Самоорганизация деформационных процессов / Е. М. Макушок. – Минск: Наука и техника, 1991. – 272 с.

Makushok E. M. *Self-organization of deformation processes*. Minsk, Science and Technology. 1991, 272 p.

19. Кайбышев О. А. Пластичность и сверхпластичность металлов / О. А. Кайбышев. – М.: Металлургия, 1975. – 280 с.

Kaybishev O. A. *Plasticity and superplasticity of metals*. Moscow, Metallurgy. 1975, 280 p.

20. Шаповалов В. И. Легирование водородом / В. И. Шаповалов // Жур-Фонд. – 2013. – 385 с.

Shapovalov V. I. *Doping vodorodom*. Jour-Fond. 2013, 385 p.

21. Шломчак Г. Г. Основы наукових досліджень. Теорія експерименту в обробці металів тиском: навч. посіб. / Г. Г. Шломчак. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 159 с.

Shlomchak G. G. *Basics of Naukova doslidzhen. Teoriya eksperimentu in obrobtsi metaliv vise*. Dnipro, Thresholds. 2005, 159 p.

22. Пат. 2655 Україна, МКИ B21 B1/00. Лабораторный прокатный стан / Шломчак Г. Г. (Україна). – № 932907.59; заявл. 19.03.93, 4930 929/SU 23.04.91. Опубл. 26.12.94. Бюл. 5–1. – 4 с.

Pat. 2655 Ukraine, MКИ B21 B1/00. *Laboratory mill*. Shlomchak G. G. (UKRAINE). No. 932907.59; Stated. 19.03.93, 4930 929 / SU 23.04.91. Publ. 12.26.94. Bull. 5-1. 4 p.

23. Пат. 10094 Україна, 7 G 01 N 3/28. Пластомер / Шломчак Г. Г., Пройдак Ю. С., Мироненко М. А., Фірсова Т. І. (Україна). Заявл. 22.11.04., № 20041109539 от 22.11.04; опубл. 15.11.2005. Бюл. № 11. – 4 с.

Pat. 10094 Ukraine, 7 G 01 N 3/28. *Plastometer*. Shlomchak G. G., Proydak Y. S., Mironenko M. A., Firsova T. I. (Ukraine). Stated. 22.11.04, no. 20041109539 on 22.11.04.; publ. 15.11.2005. Bull. № 11. 4 p.

24. Пат. 20358 Україна, МКИ G 01 N 3/28, 11/00. Матеріал для моделювання деформаційних аномалій вищих порядків реологічно складних металів та сплавів / Шломчак Г. Г. (Україна). – № 95062682; заявл. 06.06.95; опубл. 27.02.98. Бюл. № 1. – 4 с.

Pat. 20358 Ukraine, ICI G 01 N 3/28, 11/00. *Material for modeling deformation anomalies of higher orders of rheologically complex metals and alloys*. Shlomchak G. G. (Ukraine). No. 95062682; stated. 06.06.95; publ. 02.27.98. Bull. № 1. 4 p.

25. 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. – Днепропетровск, 2000. – 343 с.

Shlomchak G. G. *Establishment of laws of deformation of metals with complex rheology methods of physical modeling*: Dis ... Dr. Technical Sciences. Dnipro, 2000, 343 p.

26. Пат. № 97413 Україна, B21B 3//00. Спосіб деформування реологічно складних металів та сплавів / Шломчак Г. Г., Фірсова Т. І., Сошневіч І. Ю. (Україна). Заявл. 14.04.10. № a201104356 від 14.04.11; опубл. 10.02.2012. Бюл. № 3, 2012. – 4 с.

Pat. No. 97413 Ukraine, V21B 3//00. *Sposib deformuvannya reologichno folding metaliv that splaviv*. Shlomchak G. G., Firsova T. I., Sosnev I. Yu. (Ukraine). Stated. 14.04.10, no. a201104356 from 14.04.11; publ. 10.02.2012. Bull. no. 3, 2012. 4 p.

27. Пат. № 107415, Україна, B21B 3//00. Спосіб прокатки реологічно складних металів і пристрій для його здійснення / Шломчак Г. Г.,

Пройдак Ю. С., Фірсова Т. І. (Україна). Опубл. 22.10.2014.

Pat. No. 107415, Ukraine, V21B 3//00. *Sposib rolling reologichno folding metaliv pristirii i for yogo zdiysnennya* / Shlomchak G. G. Proydak Y. S., Firsova T. I. (UKRAINE). Publ. 22.10.2014.

Purpose. On the basis of the rolling theory state, taking into account basic researches of the author, to show relevance of development of the new scientific direction – plastic forming of the rheological difficult (RD) metals.

Methodology. Fundamental postulates of the classical theory of T.Karman. It is analyzed the possibility of mathematical theories of plasticity. Conclusions are confirmed by results of the latest theoretically reasonable experiments.

Findings. It is shown that postulates of the theory of rolling are wrong or became outdated. The theory doesn't promote creation of essentially new XXI centuries technologies. Development of the new scientific direction – plastic forming of RD metals is perspective. Its basis: physical theory of plasticity and comprehensively reasonable experiment.

Originality. Discovered by the author previously unknown phenomena and laws of the metal plastic flow at the large deformations. The "secret" of high-rolling deformation zone is disclosed for the first time by the last 150 years of researches.

Practical value. For the first time in world practice unique process of rolling of RD of metals (the pioneer patent) is created. It is realized in laboratory conditions and is recommended to industrial development.

Key words: theory of rolling; outdated postulates; fundamental experiment; new scientific direction; rheological complex metals; new processes.

Поступила 04.10.2016

