

# Знаменательные даты. Люди. События Significant dates. People. Events

Научная статья  
УДК 669.05  
DOI: 10.14529/met240301

## К 70-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ ОМД (ПРОКАТКИ). СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

**А.В. Выдрин**, [vydrinav@susu.ru](mailto:vydrinav@susu.ru)  
**Г.И. Коваль**, [koval.gi@mail.ru](mailto:koval.gi@mail.ru)  
**Б.А. Чаплыгин**, [chaplyginba@susu.ru](mailto:chaplyginba@susu.ru)

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** Теоретической основой для разработки новых технологических процессов прокатки на кафедре процессов и машин обработки металлов давлением является энергетическая теория. С ее помощью за 70 лет существования кафедры разработаны более десятка новых технологических процессов холодной и горячей прокатки листов, прокатки точных профилей, в том числе фасонных, профилей из труднодеформируемых металлов и сплавов, проволоки, труб. В настоящее время энергетическая теория прокатки успешно применяется и за пределами кафедры, помогает решать новые проблемы, диктуемые современными условиями.

**Ключевые слова:** энергетическая теория, прокатка, новые технологические процессы, холоднокатаный лист, фасонные профили, трубы

**Для цитирования:** Выдрин А.В., Коваль Г.И., Чаплыгин Б.А. К 70-летию кафедры ОМД (прокатки). Состояние и перспективы развития энергетической теории прокатки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2024. Т. 24, № 3. С. 5–11. DOI: 10.14529/met240301

Original article  
DOI: 10.14529/met240301

## TO THE 70th ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF PROCESSES AND MACHINES FOR METAL FORMING (ROLLING). THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE ENERGY THEORY OF ROLLING

**A.V. Vydrin**, [vydrinav@susu.ru](mailto:vydrinav@susu.ru)  
**G.I. Koval**, [koval.gi@mail.ru](mailto:koval.gi@mail.ru)  
**B.A. Chaplygin**, [chaplyginba@susu.ru](mailto:chaplyginba@susu.ru)

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** The theoretical basis for the development of new rolling processes at the Department of Processes and Machines for Metal Forming is the energy theory. With its help, over the 70 years of the department's existence, more than a dozen new technological processes of cold and hot sheet rolling, rolling of precise profiles, including shaped ones, profiles from difficult-to-deform metals and alloys, wire, and pipes have been developed. At present, the energy theory of rolling is successfully applied outside the department, helping to solve new problems dictated by modern conditions.

**Keywords:** energy theory, rolling, new technological processes, cold-rolled sheet, shaped profiles, pipes

**For citation:** Vydrin A.V., Koval G.I., Chaplygin B.A. To the 70th anniversary of the Department of Processes and Machines for Metal Forming (Rolling). The state and prospects of development of the energy theory of rolling. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2024;24(3):5–11. (In Russ.) DOI: 10.14529/met240301

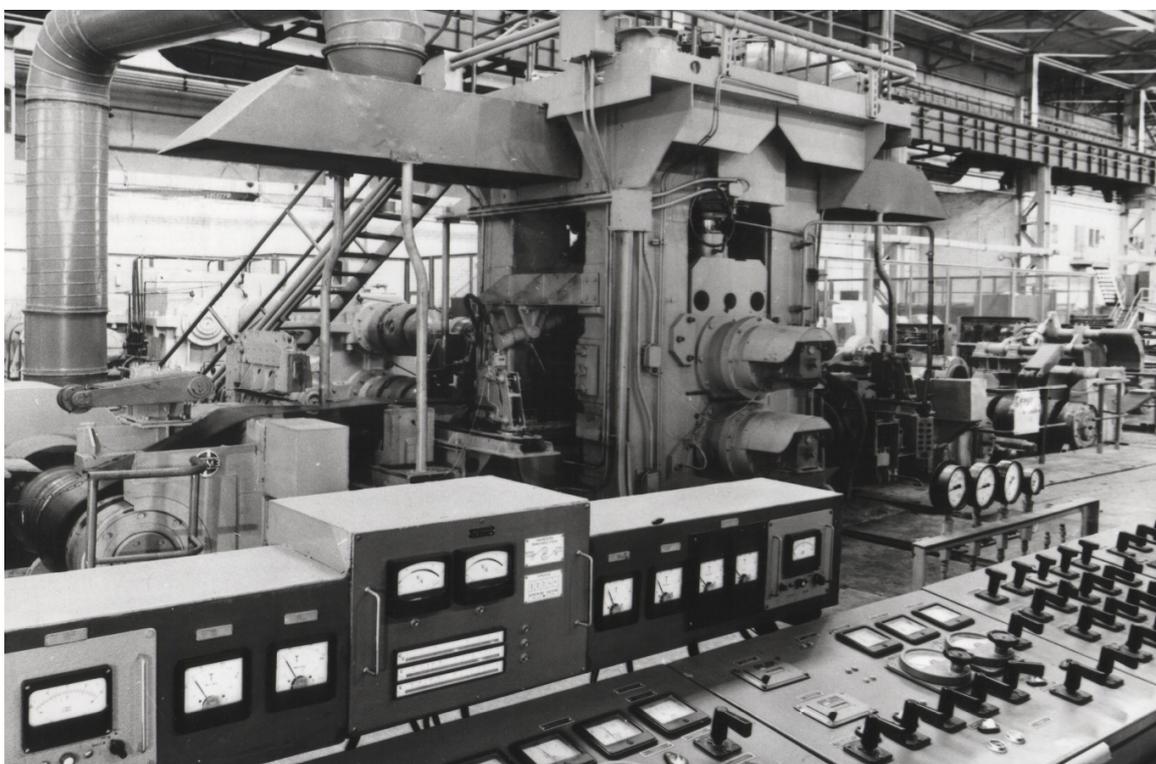
Идея применения фундаментальных энергетических законов для анализа процессов обработки металлов давлением принадлежит выдающемуся металлургу, основателю кафедры обработки металлов давлением Уральского политехнического института Акиму Филиповичу Головину (1880–1949 гг.). Однако наиболее масштабное развитие она получила в Челябинском политехническом институте, когда в 1955 г. кафедру обработки металлов давлением возглавил ученик А.Ф. Головина Владимир Николаевич Выдрин (1920–1988 гг.). Основы энергетической теории были в обобщенном виде представлены в докторской диссертации В.Н. Выдрин в 1961 г.

Энергетическая теория прокатки сначала была основана на двух фундаментальных физических законах – законе сохранения энергии и законе наименьшей энергии. Несколько позже система уравнений была дополнена интегральными уравнениями равновесия, в результате чего был разработан энергостатический метод расчета технологических параметров.

Такой подход оказался очень продуктивным как с точки зрения развития теории обработки металлов давлением, так и в качестве основы для создания новых, высокоэффективных технологических процессов [1].

Начало использования основных положений энергетической теории для разработки новых технологических процессов может быть отнесено к 1966 г., когда на основе теоретических разработок был предложен принципиально новый процесс, названный прокатка-волочение. Это изобретение, признанное пионерским, дало начало новому большому направлению, в ходе реализации которого разработан комплекс технических решений, около 100 из них признаны изобретениями и запатентованы в США, Германии, Японии, Англии, Франции и Швеции. Для освоения процесса прокатки-волочения ВНИИМЕТМАШем был спроектирован и установлен на площадке Новосибирского металлургического завода опытно-промышленный стан ПВ-800 (рис. 1).

Кроме этого, энергетическая теория взаимодействия деформируемой полосы и валков позволила решить ряд проблем производства фасонных профилей высокой точности как при прокатке, так и при волочении в роликовых волоках. Определенные успехи были достигнуты в области производства периодических профилей, в частности, впервые на отечественных предприятиях было освоено производство винтового периодического профиля, профилей с внутренними каналами, про-



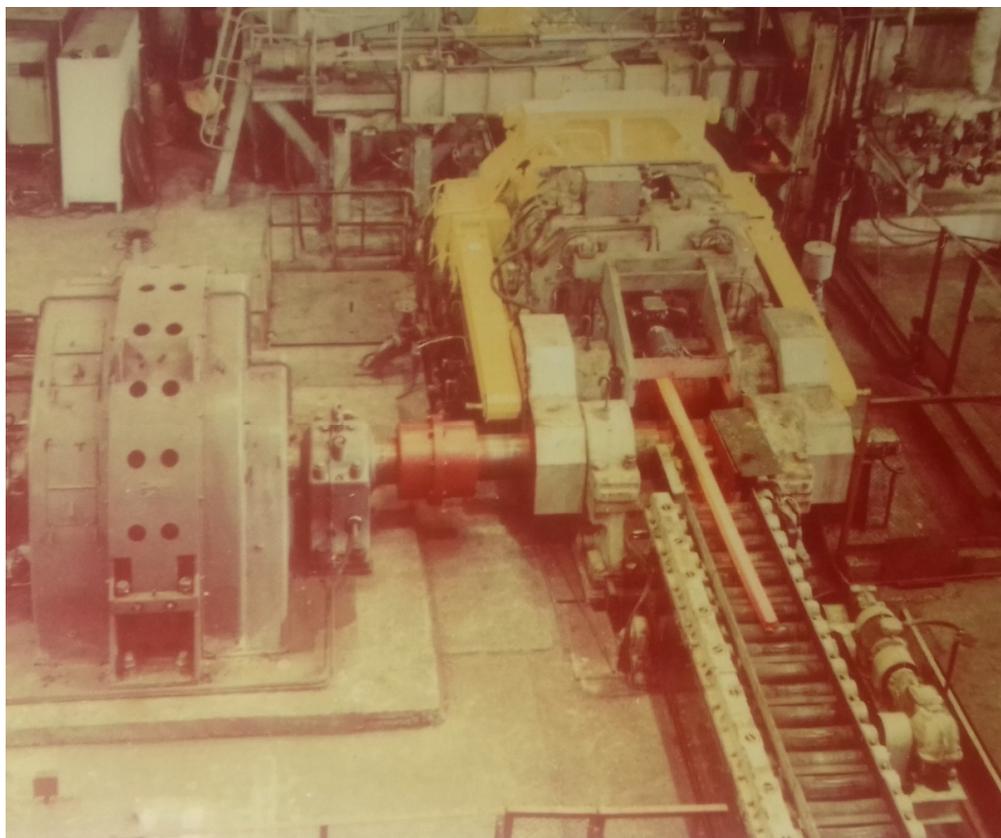
**Рис. 1. Опытно-промышленный стан ПВ-800**  
**Fig. 1. Pilot-industrial mill PV-800**

филей для малолистовых рессор. Широкое применение нашел процесс горячего калибрования на сортовых станах с использованием калибрующих блоков. Было сформулировано энергетическое условие захвата полосы валками. Масштабные исследования позволили создать новую технологию и оборудование для прокатки труднодеформируемых материалов, в том числе порошковых.

На основе энергетической теории разработан новый способ шаговой прокатки, названный прокатка-ковка (ПК), обобщение результатов исследований в данном направлении приведено в работе [2]. На первом опытно-промышленном стане ПК-600, установленном на Челябинском металлургическом комбинате (рис. 2), в 1988 г. начато производство продукции [3]. В дальнейшем были разработаны и нашли применение в промышленности станы ПК 175, ПК-200, ПК-280. Развитием научных идей В.Н. Выдрина явилось создание новых принципов в технологии и оборудовании для шаговой прокатки, защищенных десятками патентов РФ, которые использованы при создании перспективных промышленных технологий и оборудования [4].

В период с 1960 по 1969 г. на основе энергетической теории было защищено 17 кандидатских диссертаций, в 1970–1979 гг. защищено 30 кандидатских диссертаций, в 1980–1989 гг. защищено 23 кандидатские диссертации. К сожалению, в период с 1990 по 2010 г. из-за кардинальных экономических перемен в стране научно-техническое развитие существенно затормозилось и в этот период кандидатские диссертации защитили только пять соискателей.

В 2005 г. энергетическая теория прокатки получила новый импульс к развитию в научно-исследовательском институте трубной промышленности, где благодаря поддержке Трубной металлургической компании начали возрождаться научные исследования. В первую очередь можно отметить ряд работ, посвященных применению энергетической теории к анализу процессов непрерывной раскатки гильз. При этом рассмотрены все применяемые в настоящее время варианты осуществления процесса непрерывной раскатки. В частности, на основе энергетической теории разработана математическая модель и программный продукт для ее реализации, позво-



**Рис. 2. Опытно-промышленный стан ПК-600  
Fig. 2. Pilot-industrial mill PK-600**

лившие разработать методику расчета скоростного режима непрерывного раскатного стана, оснащенного двухвалковыми клетями и работающего с использованием плавающей оправки [5]. Результаты работы были использованы для анализа скоростного режима непрерывного раскатного стана компании IPSCO Koppel Tubulars (г. Эмбридж, США). Энергетическая теория прокатки нашла применение для анализа работы наиболее современного в настоящее время непрерывного раскатного стана – стана, оснащенного клетями с трехвалковыми калибрами и контролируемо-перемещаемой оправкой [6]. При этом впервые выявлены зависимости, описывающие влияние скорости перемещения оправки на энергосиловые параметры процесса деформации. В результате скорректированы скоростные режимы действующего непрерывного стана, что позволило снизить риск возникновения аварийных ситуаций. Также энергетическая теория прокатки применена при исследовании закономерностей процесса непрерывной раскатки гильз на стане, оснащенный клетями с двухвалковыми калибрами и контролируемо-перемещаемой оправкой [7]. Итогом выполненной работы стала технология получения товарных труб из нержавеющей марки стали на трубопрокатном агрегате с непрерывным раскатным станом, позволившая создать реальную альтернативу процессу производства подобных труб прессованием.

Применение энергетической теории позволило развить разработанное ранее условие захвата при прокатке сплошных профилей [8] на случай деформирования полых профилей на оправке [9]. Особенностью полученного условия является учет сопротивления продвижению металла со стороны оправки как в очаге деформации, так и в промежутке между клетями. Применение данного условия в системе ограничений позволило разработать технологию непрерывной раскатки гильз на стане с клетями, оснащенными трехвалковыми калибрами и контролируемо-перемещаемой оправкой, позволившую получать сверхточные трубы по толщине стенки.

Энергетическая теория прокатки также нашла применение при анализе процесса непрерывной безоправочной прокатки труб [10]. Это дало возможность разработать новый подход к повышению эффективности процесса редуцирования труб за счет снижения расхода металла в результате уменьшения длин

утолщенных концов труб на основе усовершенствования скоростного режима редуцированного стана.

Об универсальности энергетической теории свидетельствует то, что с ее помощью разработана математическая модель процесса вальцевой формовки труб большого диаметра, который по своей кинематике существенно отличается от традиционных процессов прокатки [11].

По работам, выполненным с использованием энергетической теории в области трубного производства, в период с 2011 по 2022 г. защищено пять диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В настоящее время энергетическая теория прокатки развивается ее последователями не только в Челябинске. Интересные работы выполнены специалистами Выксунского металлургического завода, которые посвящены анализу процесса прошивки на одном из самых современных прошивных станах, оснащенных приводными удерживающими дисками Дишера [12].

Развитие энергетической теории в современных условиях продолжается на кафедре процессов и машин обработки металлов давлением Южно-Уральского государственного университета. В основном исследуются процессы непрерывной прокатки как наиболее сложные для теоретического анализа. На основе этой теории разработана имитационная модель процесса горячей непрерывной прокатки полос, позволяющая рассчитывать скоростной режим чистовой группы клетей широкополосного стана [13]. К разработке уже проявил интерес Челябинский металлургический комбинат. Полученная имитационная модель и программный продукт для ее реализации находятся в постоянном совершенствовании и уточнении для учета как можно большего количества факторов и соответствующего повышения достоверности модели. Кроме этого, на стадии выполнения находятся работы по созданию имитационных математических моделей на основе энергетической теории применительно к таким процессам холодной пластической деформации, как волочение и прокатка тонких и тончайших лент. В обоих направлениях рассматривается пластическое деформирование как металлов, так и различных композитов.

Энергетическая теория использована также при анализе процесса радиальнойковки,

по результатам которого разработан ряд новых постоянно используемых на практике технических решений по горячей и холодной радиальной ковке труб, шестигранных, полосовых и фасонных профилей [2, 14]. Указанные разработки защищены более 20 патентами РФ.

В заключение следует отметить, что энергетическая теория может быть использована не только для анализа непосредственно процессов пластической деформации при обработке металлов давлением, но и при анализе

сопутствующих процессов. Так, например, в работе [15] с помощью энергетической теории рассмотрена задача по описанию процесса течения линейно-вязкой жидкости, сжимаемой плоскими плитами с противонаправленным скольжением на контакте с этими плитами. Результаты решения задачи могут быть полезными при анализе условий контактного взаимодействия между деформирующим инструментом и деформируемым металлом в условиях жидкостного трения.

### Список литературы

1. Научные школы ЮУрГУ. История развития / под ред. д.т.н., проф. А.Л. Шестакова, д.х.н., члена-корр. РАН Г.П. Вяткина. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. 600 с.
2. Закарлюкин С.И., Коваль Г.И. Получение труб горячим редуцированием на радиально-ковочной машине SKK-14 // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75, № 2. С. 242–246.
3. Коваль Г.И. Теоретические основы и технология новых высокоэффективных процессов шаговой прокатки: дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск, 1990. 474 с.
4. Агеев Л.М., Дукмасов В.Г. Энергетическая теория как метод разработки новых технологических процессов прокатки // Обработка металлов давлением: межвузовский сборник научных трудов. Свердловск, 1988. С. 139–142.
5. Выдрин А.В., Широков В.В. Исследование деформационных, кинематических и энергосиловых параметров процесса непрерывной прокатки бесшовных труб // Черные металлы. 2012. № 2. С. 14–19.
6. Аль-Джумаили М.Ж.М., Выдрин А.В., Шкуратов Е.А. Влияние условий непрерывной раскатки гильз на технологические параметры процесса // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2020. Т. 20, № 1. С. 60–67. DOI: 10.14529/met200107
7. Красиков А.В. Основы технологии прокатки товарных труб специального назначения из труднодеформируемых марок стали на агрегатах с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2023. Т. 23, № 2. С. 14–22. DOI: 10.14529/met230202
8. Выдрин В.Н., Федосиенко А.С., Крайнов В.И. Процесс непрерывной прокатки. М.: Металлургия, 1970. 456 с.
9. Особенности захватывающей способности трехвалковых клетей непрерывных раскатных станов продольной прокатки / А.В. Выдрин, Е.А. Шкуратов // Черные металлы. 2018. № 8. С. 39–44.
10. Выдрин А.В., Храмов Е.В., Буняшин М.В. Энергетический баланс процесса прокатки труб нефтяного сортамента на редуциционном стане // Металлург. 2016. № 1. С. 21–25.
11. Выдрин А.В., Залавин Я.Е. Деформационные и кинематические параметры вальцевой формовки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2021. Т. 21, № 2. С. 51–57. DOI: 10.14529/met210205
12. Король А.В., Мунтин А.В., Кавицян Л.М. Применение энергостатического метода определения усилий и моментов, действующих на инструмент при прошивке на двухвалковых станах поперечно-винтовой прокатки с приводными направляющими дисками // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2020. Т. 20, № 1. С. 18–26. DOI: 10.14529/met200102
13. Выдрин А.В., Широков В.В., Соседкова М.А. Имитационная математическая модель процесса прокатки на непрерывном листовом стане // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2023. Т. 23, № 2. С. 43–54. DOI: 10.14529/met230204
14. Закарлюкин С.И., Коваль Г.И. Совершенствование и развитие технологии радиальной ковки шестигранных профилей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2023. Т. 79, № 12. С. 991–998. DOI: 10.32339/0135-5910-2023-12-991-998

15. Выдрин А.В., Кузнецов В.И., Ананян В.В. Моделирование поведения смазки в очаге деформации при обработке металлов давлением // *Сталь*. 2010. № 5. С. 100–102.

### References

1. Shestakov A.L., Vyatkin G.P. (Eds.). *Nauchnye shkoly YuUrGU. Istoriya razvitiya* [Scientific schools of SUSU. History of development]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2008. 600 p. (In Russ.)
2. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I. [Production of pipes by hot reduction on a radial forging machine SKK-14]. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2019;75(2):242–246. (In Russ.)
3. Koval' G.I. *Teoreticheskie osnovy i tekhnologiya novykh vysokoeffektivnykh protsessov shagovoy prokatki: dis. d-ra tekhn. nauk* [Theoretical foundations and technology of new highly efficient step rolling processes. Doct. sci. diss.]. Chelyabinsk; 1990. 474 p. (In Russ.)
4. Ageev L.M., Dukmasov V.G. [Energy theory as a method for developing new rolling technological processes]. In: *Obrabotka metallov davleniem: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Metal forming: interuniversity collection of scientific papers]. Sverdlovsk; 1988. P. 139–142. (In Russ.)
5. Vydrin A.V., Shirokov V.V. [Study of deformation, kinematic and energy-power parameters of the process of continuous rolling of seamless pipes]. *Stahl und eisen*. 2012;2:14–19. (In Russ.)
6. Al-Jumaili M.J.M., Vydrin A.V., Shkuratov E.A. Influence of the Conditions of the Continuous Capture of the Sleeves on the Technological Parameters of the Process. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2020;20(1):60–67. (In Russ.) DOI: 10.14529/met200107
7. Krasikov A.V. Basics of the technology of rolling commercial pipes of special purpose from hard to deform steel grades on units with continuous mills with a controlled-movable mandrel. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2023;23(2):14–22. (In Russ.) DOI: 10.14529/met230202
8. Vydrin V.N., Fedosienko A.S., Kraynov V.I. *Protsess nepreryvnoy prokatki* [Process of continuous rolling]. Moscow: Metallurgiya; 1970. 456 p. (In Russ.)
9. Vydrin A.V., Shkuratov E.A. [Features of the gripping capacity of three-roll stands of continuous rolling mills for longitudinal rolling]. *Chernye metally*. 2018;8:39–44. (In Russ.)
10. Vydrin A.V., Khramkov E.V., Bunyashin M.V. Energy balance of rolling process of OCTG produced on reducing mill. *Metallurg*. 2016;(1):21–25. (In Russ.)
11. Vydrin A.V., Zalavin Ya.E. Deformation and Kinematic Parameters of Roll Forming. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2021;21(2):51–57. (In Russ.) DOI: 10.14529/met210205
12. Korol A.V., Muntin A.V., Kavitsyan L.M. Application of the Energy-Static Method for Determining the Forces and Torques Acting on the Tool when Two-Roll Helical Piercing with Drive Guide Wheels. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2020;20(1):18–26. (In Russ.) DOI: 10.14529/met200102
13. Vydrin A.V., Shirokov V.V., Sosedkova M.A. Simulation mathematical model of the rolling process on a continuous sheet mill. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2023;23(2):43–54. (In Russ.) DOI: 10.14529/met230204
14. Zakarlyukin S.I., Koval' G.I. Improvement and development of technology for radial forging of hexagonal profiles. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2023;79(12):991–998. (In Russ.) DOI: 10.32339/0135-5910-2023-12-991-998
15. Vydrin A.V., Kuznetsov V.I., Ananyan V.V. Lubricant behavior in the deformation source during the pressure treatment of metals. *Steel Transl.* 2010;40:488–490. DOI: 10.3103/S0967091210050177

***Информация об авторах***

**Выдрин Александр Владимирович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; vydrinav@susu.ru.

**Коваль Григорий Иванович**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; koval.gi@mail.ru.

**Чаплыгин Борис Александрович**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; chaplyginba@susu.ru.

***Information about the authors***

**Aleksandr V. Vydrin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; vydrinav@susu.ru.

**Grigoriy I. Koval**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof. of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; koval.gi@mail.ru.

**Boris A. Chaplygin**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof. of the Department of Processes and Machines for Forming Metals, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; chaplyginba@susu.ru.

***Статья поступила в редакцию 12.05.2024***

***The article was submitted 12.05.2024***