

УДК 621.771

Огинский И. К.
Таратута К. В.
Востоцкий С. Н.

СОВМЕЩЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Совмещение различных способов обработки металлов давлением в одном производственном процессе является достаточно распространенным технологическим приемом в металлургии и смежных отраслях. Каждая новая разработка сопряжена с необходимостью создания новых технологических и проектно-конструкторских решений. Недостаток апробированных решений вызывает необходимость развития и создания новых научных подходов и делает работы в этих направлениях актуальными.

Все существующие процессы обработки металлов давлением могут быть представлены как прямые (простые) и совмещенные. К первой группе относятся: прокатка, волочение, прессование, гибка, ковка и штамповка. Вторая группа, в свою очередь, может быть представлена двумя подгруппами, в одной из них металлургические процессы совмещены преимущественно с прокаткой [1–4], во второй совмещаются различные виды обработки металлов давлением [5–25]. Наиболее характерным примером первых является совмещение процессов непрерывной разливки и последующей прокатки [1–2]. Металлургические и металлоперерабатывающие предприятия широко используют сочетания процессов прокатки, ковки, прессования, волочения, гибки и другие комбинации [3–25].

Целью и задачей настоящей работы является анализ существующих способов и имеющих работ, посвященных совмещенным и комбинированным процессам обработки металлов давлением, выявление эффективных методов и приемов совмещения процессов, оценку трудоемкости их реализации, перспективность применения.

Совмещения процессов при обработке металлов давлением могут быть представлены следующими основными видами: прокатка-волочение, прокатка-прессование, прокатка-ковка, прокатка-гибка, прокатка-штамповка, прокатка-разделение, прессование-волочение, валковая разливка-прокатка. Больше внимание в работе уделено процессам, где основой является прокатка, а второй процесс в паре является зависимым. Во всех случаях процессы в парах имеют деформационную основу, способом, с наименее выраженной деформационной основой, можно считать прокатку-разделение (имеется в виду проход, в котором происходит первичное разделение). В части определения технологических признаков и отнесения способов к той или другой группе отсутствует единство мнений. Один и тот же способ, например, прокатка-волочение разными авторами характеризуется по-своему, или вызывает появление альтернативного термина «волочение-прокатка».

Созданию совмещенных процессов (или операций) могут способствовать различные основообразующие предпосылки: снижение энергозатрат и материалоемкости, сокращение производственных площадей, создание возможности автоматизации и эффективного управления, повышение качества продукции и другие. Некоторые предпосылки имеют достаточно объективные и однозначные оценочные характеристики, другие являются более труднопрогнозируемыми, к последним может относиться, например, снижение энергозатрат. Если, к примеру, процесс прокатки дополнить операцией прессования, то общий и удельный расход электроэнергии возрастет, при всем том, что в целом способ может оказаться более технологичным. (Возрастет по той причине, что процесс прессования является более энергоемким по сравнению с другими видами обработки металлов давлением, например, если сравнивать с волочением). В этом случае оценку оптимизации следует производить по комплексному критерию. Единая и достаточно признанная классификация принципов совмещения

процессов отсутствует. Одна из причин в том, что все случаи весьма разнообразны по своим задачам и постановке, отсутствует единый постановочный признак и в различных случаях возникает своя, индивидуальная потребность в оценочных критериях. Во всех случаях необходимо руководствоваться такими понятиями как практическая полезность, целесообразность и эффективность и каждый автор вправе создавать свои оценочные критерии.

Кроме вышеназванных работ последнего периода времени продолжают вызывать интерес и сохранять актуальность аналогичные работы более раннего периода. Совмещенные процессы активно создавали исследователи Челябинского политехнического института (ЧПИ), где разработаны и доведены до практической реализации процессы прокатки-ковки, прокатки-прессования, и прокатки-волочения. Сущность процесса прокатки-ковки [15–18] заключается в периодическом обжатии деформируемого металла бойками специальной формы с образованием конуса деформации, длина которого значительно превышает наибольшую длину мгновенного очага деформации. Оси бойков находятся в плоскости, перпендикулярной оси прокатки. Бойки совершают одновременно возвратно-поступательное и качательное движение. Бойки совершают рабочий ход, при котором происходит деформация металла, и обратный, где обжатие отсутствует. Число бойков – два или четыре, работают они попарно, одна пара используется для прокатки-ковки широких полос, две пары – для многогранных. Во втором случае заготовка деформируется в раскат с формой близкой к цилиндрической. Процесс ковки, как известно, сопровождается схемой напряженного состояния, близкой к всестороннему сжатию, что способствует достаточно глубокой (объемной) проработке деформируемого металла и получению качественной структуры практически во всем объеме металла. Это качество процесса ковки явилось одним из основообразующих и было положено в основу предложенного процесса, предназначенного преимущественно для деформации специальных марок сталей и сплавов. Процесс прокатки-ковки одной парой валков имеет менее выраженную объемную схему всестороннего сжатия и у его продукции несколько другая область применения.

Сотрудниками ЧПИ проведены исследования и выполнены разработки в направлении создания новых технологий и оборудования, основанных на совмещении процессов прокатки и прессования [19–21]. Базовая технология, получившая название «прокатка-прессования» основывалась на способе по авторскому свидетельству СССР №23629, суть способа заключалась в поочередной деформации металла в три этапа. Впоследствии способ приобрел различные преобразования и модификации. В работе [19] выполнены разработки и проведены исследования процесса прошивки заготовки на стане продольной прокатки с круглым калибром. Заготовка квадратного сечения проталкивается механизмом заднего подпора через вводную коробку в круглый калибр рабочей клетки дуо. Симметрично по отношению к калибру и по оси заготовки установлена оправка. Рабочие валки и задающий механизм обеспечивают продольное перемещение заготовки и ее прошивку, на выходе из очага деформации раскат приобретает в поперечном сечении круглую форму. При прошивке продольной прокаткой-прессованием в очаге деформации создается схема всестороннего сжатия, что позволяет, по утверждению авторов, прошивать труднодеформируемые металлы. В качестве одного из достоинств, авторы приводят возможность прошивки гильзы значительной длины, этому способствует, по утверждению авторов, меньшее усилие на оправку, чем при прошивке на прессе. Вероятно, так должно произойти вследствие ожидаемой большей продольной устойчивости оправки. Более глубокого объяснения своему предположению авторы, к сожалению, не приводят. В работе [21] разработан метод определения энергосиловых параметров прошивки прокаткой-прессованием, основу метода составляет баланс энергии в очаге деформации.

В ЧПИ выполнен комплекс работ, связанных с прокаткой-волочением [22–25]. Выполнены оригинальные разработки, построенные, преимущественно, на основе прокатки с охватом валка деформируемой полосой. Существуют модификации процесса, например, он может происходить в режиме непрерывной прокатки-волочения на многовалковом стане с промежуточными неприводными валками [23]. Предпринимались попытки применить

процесс прокатки-волочения для производства катанки с целью повышения вытяжной способности чистовой группы проволочного стана и уменьшения диаметра готовой продукции [24]. Использование принципа прокатки-волочения позволило получить тончайшую (по терминологии авторов) ленту (0,04 мм) из цветных сплавов [25]. Лента такой толщины получена при прокатке полосы из латуни Л90 на стане дуо 200 способом прокатка-волочение взамен традиционной технологии прокатки на двадцативалковом стане.

Процессы прокатки-прессования, наряду с ЧПИ, разрабатывались и в других коллективах, где ставились разные задачи, цели и, соответственно, создавались различные способы реализации. Разрабатываемые технологии, будучи построенными на процессе прокатки, порой отличались весьма сильно в той части, которая относилась к прессованию, но это не мешало придать новым технологиям обобщенный термин «прокатка-прессование». Процесс прокатки-прессования в общем случае представляет собой деформацию металла, по меньшей мере, в двух очагах деформации, отстоящим друг относительно друга на некотором расстоянии. Причем деформация в одном из очагов обеспечивается силой заднего подпора, который создается клетью или специальным задающим устройством. Не все исследователи придерживаются единой терминологии, встречаются и альтернативные термины, например, для случая деформации металла в неприводных валках (за счет заднего подпора) в работе [20] приводится ссылка, где авторы используют термин «прессование через валковую матрицу», авторы [26] аналогичный процесс называют проталкиванием. Авторы [8] в близком по некоторым признакам случае (прокатка в четырехвалковом модуле с парой неприводных валков) избегают пользования неоднозначной терминологией, склоняются к термину «проталкивание». Характерной особенностью практически всех случаев прокатки-прессования является отсутствие контейнера, его роль иногда выполняют вспомогательные узлы и элементы. Имеются работы, где признаки прессования отражены в большей степени (если не принимать во внимание отсутствие контейнера). Например, в разработке авторов [19] имеются достаточно выраженные признаки обратного прессования, впечатление усилится, если принять при этом, что задачу контейнера выполняет вводная коробка. Существуют процессы с менее выраженными признаками прессования, например, в некоторых разработках автора [11].

Несколько групп совмещенных процессов, где базой является прокатка, основаны на использовании резерва тянущих и/или вталкивающих сил в системе валки-металл [8–11, 13, 14]. Автор [11] с этих позиций исследует процессы продольного разделения неприводным делительным инструментом, деформирование через матрицу, обеспечение работоспособности системы «очаг деформации – валковая арматура». В работе [13] исследованы закономерности силового и энергетического взаимодействия рабочих клеток комплекса приводная-неприводная клетки, преимущественно, при прокатке двутавровых балок. Подобные разработки в более ранний период времени были выполнены для стана 250-6 комбината «Криворожсталь» [8], где был реализован процесс прокатки в четырехвалковом модуле, образованном парой приводных горизонтальных и парой неприводных вертикальных валков. В рамках этой же работы на стане 250-6 была реализована схема бескалибровой прокатки. В других работах исследованы вопросы прокатки-гибки [9] в горячем состоянии, прокатки-волочения [10] в холодном состоянии. Для целей прокатки-волочения разработаны технология и технологическое обоснование конструкции прокатно-волочильной клетки. Выполненные разработки являются принципиально отличающимися от других процессов с таким же термином [22–25].

Одним из наиболее перспективных направлений в металлургии и металлоперерабатывающих отраслях является процесс валковой разливки-прокатки (существует и другой термин «беслитковая прокатка») [3–4]. Процесс содержит ряд положительных качеств: меньшая энергоемкость и материалоемкость оборудования, экологичность, меньшие производственные площади, ниже себестоимость. Процесс динамично развивается, для его реализации создаются новые технологические схемы и виды оборудования, по оценкам экспертов, в мировой индустрии эксплуатируется около 600 агрегатов для получения тонких полос непосредственно из расплава, половина из которых работает в КНР. Процесс является весьма

наукоемким, это создает определенные трудности на пути к его развитию, необходимыми являются новые научные знания и технические решения. Процесс валковой разливки-прокатки заслуживает отдельного и более глубокого освещения.

Научную основу создания совмещенных процессов составляют труды отечественных и зарубежных ученых. При этом наряду с базовыми знаниями необходимыми становятся сведения из смежных областей знаний: материаловедения, физики твердого тела, трибологии и других. В совмещенных процессах, основу которых составляет прокатка, затрагиваются вопросы трибологии и физики твердого тела с задачей выяснения осуществимости нового технологического решения. Совмещение процессов создает дополнительные сложности в формулировании граничных условий и оценке в целом вновь созданного технологического объекта. Ситуация усугубляется тем, что каждый из совмещаемых процессов является недостаточно исследованным, совмещение процессов создает новые дополнительные задачи. В частности, в теории прокатки существуют спорные и противоречивые положения, которые, будучи примененными в таком неразрешенном виде к вновь создаваемым процессам, способствуют созданию дополнительных неточных выводов и решений. Например, автор [11] считает, что при прокатке, помимо основных функций становится возможным выполнение дополнительных за счет использования скрытых возможностей очага деформации: «...совмещенные методы ОМД, благодаря более полному использованию сил трения в очаге деформации прокатной клетки, выполняют дополнительные операции, такие как деформирование в неприводной клетке, продольное разделение неприводным делительным инструментом, деформирование через матрицу, обеспечение работы системы очаг деформации – валковая арматура».

Автор [11], справедливо отмечая нереализованные возможности прокатной клетки в части дополнительной деформации, одновременно в части физического обоснования допускает серьезную неточность. Автор скрытые возможности сводит к «более полному использованию сил трения в очаге деформации», то есть, наделяет их несвойственными им функциями. Силам трения присваивается роль втягивающих или вталкивающих (активных) сил, в то время как они являются реактивными по определению [27], в результате возникает термин «резервные силы трения», который не согласуется с принципами механики. Термин «резервные силы трения» закрепился в научно-технической литературе и у него имеется своя история возникновения. Термин зародился на этапе создания основ теории прокатки, в частности, этому поспособствовало утверждение И. М. Павлова при объяснении кинематической картины на контакте металла с валком и природы образования опережения. И. М. Павлов высказывал мнение, что опережение является следствием избыточных сил трения [28, с. 388]: «...около половины развиваемой силы трения оказывается излишней, и должно расходоваться каким-то иным образом. Подробный анализ вопроса показывает, что избыточное трение идет на создание увеличенной сравнительно со скоростью валков скорости выхода металла из валков, дающей соответствующую величину опережения...». Мнение, которое не согласуется с утверждением И. М. Павлова, высказывает автор [29, с. 88]: «...никаких избыточных сил, необходимых для создания зоны опережения, не создается, т. е. в процессе прокатки отсутствуют всякие резервные силы трения». Кроме работы [29] имеются и другие [8], в которых роль трения при прокатке оцениваются с позиций механики, включающей понятие «резервные силы трения». Стандарт [27] своим определением исключает какое-либо двойственное толкование силы трения: «Сила трения» – сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, тангенциально направленная к общей границе между двумя этими телами». В научно-технической литературе встречается термин «полезные силы трения», который также недопустим, если оценивать его с позиций механики.

Весьма важным фактором при создании новых видов оборудования для совмещенных и комбинированных процессов является определение энергосиловых параметров. Сказанное относится ко всем видам обработки металлов давлением и относящимся к ним процессам и операциям. Существующие подходы к определению названных параметров нуждаются

в серьезном пересмотре. Определение энергосиловых параметров прокатки представляет собой нелегкую задачу даже для сравнительно простых случаев, для сложных процессов достаточно глубоких теоретических решений не создано, недостаток теории компенсируется достижениями практики, основу которых составляет экспериментальный материал. Еще в большей степени проблемной становится ситуация для случаев создания совмещенных процессов, где показатели незнания суммируются. Причина отсутствия достаточно надежных методов определения энергосиловых параметров, в частности, состоит и в том, что не созданы единые концептуальные подходы к оценке пластического трения.

Вопросы пластического трения при прокатке заслуживают отдельного и достаточно глубокого рассмотрения. Трение лежит в основе процесса прокатки и необходимым условием успешного решения теоретической или прикладной задачи прокатки является удачный выбор и использование имеющихся научных достижений в области пластического трения. Процесс прокатки, будучи построенным на трении, является зависимым от него вне зависимости от назначения, формы калибра или числа валков, его образующих. Общие закономерности пластического трения, пригодные для решения достаточно широкого класса задач теории прокатки, не выявлены, об этом свидетельствует различие взглядов по отдельным вопросам, дискуссионность и прямо противоположные точки зрения. Существуют различные точки зрения на природу внешнего трения при прокатке, по-разному воспринимается применимость законов и моделей трения. Единство мнений по вопросам контактного взаимодействия не достигнуто, более того, обсуждение порой носит острый дискуссионный характер. По мнению одного из авторов дискуссии: «...в понимании пластического трения все еще возможны сильные различия». Отсутствие единства мнений по основным положениям пластического трения усложняет решение задач, делает их результаты неоднозначными в оценках.

В случаях совмещения процессов необходимым становится определение кинематических параметров. В значительной мере это относится, например, к непрерывной прокатке. В части теории кинематического взаимодействия металла с инструментом по ряду положений не создано законченных решений, об этом свидетельствует различие взглядов по отдельным вопросам, дискуссионность и прямо противоположные точки зрения. Одной из причин является неоднозначность мнений по вопросам пластического трения, о чем сказано выше.

Следует безусловно согласиться с автором [11] в части его утверждения о том, что в значительной мере совмещенные методы ОМД находятся на начальном этапе разработки. Необходимо развивать и совершенствовать начатые технологические решения, создавая для этих целей теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные предпосылки. Необходимым условием является также создание новых видов технологического оборудования.

В настоящей работе глубоко не затронуты получившее массовое распространение в мировой металлургии совмещение процессов непрерывной разливки и последующей прокатки. Особенности технологии и технологического оборудования достаточно широко освещены в научно-технической литературе и это одна из причин, по которой названная тема авторами не затрагивается, и основное внимание было сосредоточено на процессах обработки металлов давлением. В ограниченных рамках настоящей работы трудно более глубоко затронуть процессы прокатки-волочения и прокатки-прессования, они заслуживают дальнейшего рассмотрения, анализа и отдельного обсуждения.

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ существующих и получивших наибольшую известность методов и приемов совмещения процессов. Практически все они сохраняют перспективность использования и развития. Для более полной оценки их эффективности и перспективности необходимы дополнительные теоретические и экспериментальные исследования. Сохраняется недостаточная изученность технологических особенностей базовых и совмещаемых процессов. Для реализации технологических разработок практически всегда требуется создание дополнительного оборудования, разработки которого должны базироваться на уточненных

положениях теории прокатки в части энергосиловых и кинематических параметров. Для создания новых видов оборудования необходимы уточненные методы их расчета и новые проектно-конструкторские решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минаев А. А. *Совмещенные металлургические процессы* / А. А. Минаев. – Донецк : Унитех, 2008. – 552 с.
2. Коновалов Ю. В. *Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов* / Ю. В. Коновалов // *Производство проката*. – 2009. – № 9. – С. 37–43.
3. Grydin O. Yu. *Experimental twin-roll casting equipment for production of thin strips* / O. Yu. Grydin, Y. K. Ogins'kyu, V. M. Danchenko, F.-W. Bach // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2010. – № 5 (2). – P. 348–354.
4. Гридин А. Ю. *Технологический литейно-прокатный комплекс для экспериментальных исследований процесса валковой разливки-прокатки* : кол. монограф. / Ю. А. Гридин, И. К. Огинский, М. Шапер. – Днепр : Акцент ПП Пластическая деформация металлов, 2017 – С. 210–220.
5. Лежнев С. Н. *Анализ влияния нового совмещенного процесса «равноканальное угловое прессование-волочение» на микроструктуру и свойства деформируемой медной проволоки* / С. Н. Лежнев // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*, 2016. – Т. 16. – № 1. – С. 59–65.
6. Тарасов А. Ф. *Развитие комбинированных методов обработки с использованием интенсивного пластического деформирования* / А. Ф. Тарасов, А. В. Алтухов, О. С. Литвин // *Пластична деформация металів : Колективна монографія*. – 2017. – С. 282–288.
7. Алиева Л. И. *Процессы комбинированного пластического деформирования и выдавливания* / Л. И. Алиева // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 100–108. – ISSN 2076-2115.
8. *Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров* / Огинский И. К., Данченко В. Н., Самсоненко А. А., Бояркин В. В. – Днепропетровск : Пороги, 2011. – 355 с.
9. *Разработка технологии и оборудования для производства шпунтовых профилей с увеличенной межзамковой базой* / И. К. Огинский, С. С. Бродский, Э. С. Салацинский [и др.] // *Металлургическая и горно-рудная промышленность : Труды V международной конференции «Теоретические проблемы прокатного производства»*. – Днепропетровск, 2000. – № 8–9. – С. 217–218.
10. Огинский И. К. *Прокатка-волочение в трехвалковых калибрах при производстве проволоки и арматурных профилей* / И. К. Огинский, Г. А. Слупов // *Сучасні проблеми металургії*. – Дніпропетровськ : Системні технології, 2005. – Т. 8. – С. 353–355.
11. Фастыковский А. Р. *Совмещенные процессы, использующие резервные силы трения в очаге деформации при прокатке* : монография / А. Р. Фастыковский. – Новокузнецк : Изд-во НПК, 2007. – 246 с.
12. Сидельников С. Б. *Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов* : монография / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, Н. Н. Загиров. – М. : МАКС Пресс, 2005. – 344 с.
13. *Непрерывная прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей* / [Лохматов А. П., Жучков С. М., Кулаков Л. В. и др.]. – К. : Наукова думка, 1998. – 242 с.
14. *Анализ условий реализации процесса сортовой прокатки в трехочаговом прокатном модуле* / [Жучков С. М., Горбанев А. А., Токмаков П. В. и др.] // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні* : сб. науч. тр. – Краматорськ : ДДМА, 2004 р. – С. 520–525.
15. *Опытный прокатно-ковочный стан ПК 120 × 4* / В. Н. Выдрин, О. И. Тищенко, Е. Н. Березин, Е. Г. Дремин, Г. И. Коваль // *Теория и технология прокатки* : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1979. – № 230. – С. 77–82.
16. *Выдрин В. Н. Геометрические параметры прокатки-ковки широких полос* / В. Н. Выдрин, Е. Н. Березин, Г. И. Коваль // *Теория и технология прокатки* : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1979. – № 230. – С. 82–96.
17. *Дремин В. Г. Геометрия конуса деформации при прокатке-ковке заготовок в четырехвалковом калибре* / В. Г. Дремин // *Теория и технология прокатки* : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1984. – С. 55–65.
18. *Березин Е. Н. Совмещение станов прокатки-ковки с МНЛЗ* / Е. Н. Березин, Г. И. Коваль, В. С. Нестеренко // *Теория и технология прокатки* : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1984. – С. 80–92.
19. *Сычев П. М. Экспериментальное исследование процесса прошивки продольной прокаткой-прессованием* / П. М. Сычев, Ф. М. Шубик, С. И. Долгов // *Теория и технология прокатки* : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1984. – № 165. – С. 139–148.
20. *Берзин В. Н. Экспериментальное исследование деформации малопластичных сплавов при прокатке-прессовании* / Е. Н. Берзин, Г. З. Серебрянников // *Прокатное производство*. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1974. – № 130. – С. 68–74.
21. *Сычев П. М. Определение энергосиловых параметров прошивки прокаткой-прессованием* / П. М. Сычев // *Теория и технология прокатки* : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1979. – № 230. – С. 137–141.

22. Выдрин В. Н. Производство листов и ленты способом «прокатка-волочение» / В. Н. Выдрин, Л. М. Агеев. – М. : Черметинформация, 1971. – 21 с.
23. Судаков Н. В. Процесс непрерывной прокатки-волочения на многовалковом стане с промежуточными неприводными валками / Н. В. Судаков, В. А. Густов // Теория и технология прокатки : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1979. – № 230. – С. 44–52.
24. О получении стальной проволоки способом прокатки-волочение / В. Н. Выдрин, Ю. Н. Попов, В. Г. Шеркунов, А. П. Евдокимов // Теория и технология прокатки : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1979. – № 230. – С. 134–137.
25. Опыт прокатки тончайшей ленты из латунных сплавов способом прокатка-волочение / Л. М. Агеев, А. П. Пелленен, Б. А. Чаплыгин, Г. П. Морозов // Теория и технология прокатки : сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Выдрина. – Челябинск : Челябинский политехнический институт, 1979. – № 230. – С. 13–17.
26. Поляков М. Г. Деформация металла в многовалковых калибрах / М. Г. Поляков, Б. А. Никифоров, Г. С. Гун. – М. : Металлургия, 1979. – 242 с.
27. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. – Дата введения 01. 01. 89. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 20 с.
28. Павлов И. М. Теория прокатки / И. М. Павлов. – М. : Metallurgizdat, 1950. – 610 с.
29. Санько Н. М. Зона прилипания и роль ее в процессе прокатки / Н. М. Санько // Обработка металлов давлением / Под ред. акад. АН СССР А. П. Чекмерева. – М. : Metallurgizdat, 1970. – № LIV. – С. 75–89.

REFERENCES

1. Minaev A. A. *Sovmeshhennye metallurgicheskie processy* / A. A. Minaev. – Doneck : Unitech, 2008. – 552 s.
2. Konovalov Ju. V. *Nastojashhee i budushhee litejno-prokatnyh agregatov* / Ju. V. Konovalov // *Proizvodstvo prokata*. – 2009. – № 9. – С. 37–43.
3. Grydin O. Yu. *Experimental twin-roll casting equipment for production of thin strips* / O. Yu. Grydin, Y. K. Ogins'kyu, V. M. Danchenko, F.-W. Bach // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2010. – № 5 (2). – P. 348–354.
4. Gridin A. Ju. *Tehnologicheskij litejno-prokatnyj kompleks dlja jeksperimental'nyh issledovanij processa valkovej razlivki-prokatki : kol. monograf.* / Ju. A. Gridin, I. K. Oginskij, M. Shaper. – Dnepr : Akcent PP Plasticheskaja deformacija metallov, 2017 – S. 210–220.
5. Lezhnev S. N. *Analiz vlijanija novogo sovmeshhennogo processa «ravnokanal'noe uglovoe pressovanie-волочение» na mikrostrukturu i svojstva deformiruemoj mednoj provoloki* / S. N. Lezhnev // *Vestnik JuUr-GU. Serija «Metallurgija»*, 2016. – Т. 16. – № 1. – С. 59–65.
6. Tarasov A. F. *Razvitie kombinirovannyh metodov obrabotki s ispol'zovaniem intensivnogo pla-sticheskogo deformirovanija* / A. F. Tarasov, A. V. Altuhov, O. S. Litvin // *Plastichna deformacija metaliv : Kolektivna monografija*. – 2017. – S. 282–288.
7. Aliieva L. I. *Processy kombinirovannogo plasticheskogo deformirovanija i vydavlivanija* / L. I. Aliieva // *Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr.* – Kramatorsk : DGMA, 2016. – № 1 (42). – С. 100–108. – ISSN 2076-2115.
8. *Processy deformacii metalla na osnove mnogovalkovykh kalibrov* / Oginskij I. K., Danchenko V. N., Samsonenko A. A., Bojarkin V. V. – Dnepropetrovsk : Porogi, 2011. – 355 s.
9. *Razrabotka tehnologii i oborudovanija dlja proizvodstva shpuntovyh profilej s uvelichennoj mezhzhamkovej bazoj* / I. K. Oginskij, S. S. Brodskij, Je. S. Salacinskij [i dr.] // *Metallurgicheskaja i gorno-rudnaja promyshlennost' : Trudy V mezhdunarodnoj konferencii «Teoreticheskie problemy prokatnogo proizvodstva»*. – Dnepropetrovsk, 2000. – № 8–9. – С. 217–218.
10. Oginskij I. K. *Prokatka-волочение v trehvalkovykh kalibrah pri proizvodstve provoloki i arma-turnykh profilej* / I. K. Oginskij, G. A. Slupov // *Suchasni problemi metalurgii*. – Dnipropetrovsk : Sistemni tehnologii, 2005. – Т. 8. – С. 353–355.
11. Fastykovskij A. R. *Sovmeshhennye processy, ispol'zujushhie rezervnye sily trenija v ochage deformacii pri prokatke* : monografija / A. R. Fastykovskij. – Novokuzneck : Izd-vo NPK, 2007. – 246 s.
12. Sidel'nikov S. B. *Kombinirovannye i sovmeshhennye metody obrabotki cvetnyh metallov i splavov* : monografija / S. B. Sidel'nikov, N. N. Dovzhenko, N. N. Zagirov. – М. : MAKS Press, 2005. – 344 s.
13. *Nepreryvnaja prokatka sortovoj stali s ispol'zovaniem neprivodnyh rabochih kletej* / [Lohmatov A. P., Zhuchkov S. M., Kulakov L. V. i dr.]. – К. : Naukova dumka, 1998. – 242 s.
14. *Analiz uslovij realizacii processa sortovoj prokatki v trehochagovom prokatnom module* / [Zhuchkov S. M., Gorbanev A. A., Tokmakov P. V. i dr.] // *Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobki tiskom v metalurgii i mashinobudivanni : sb. nauch. tr.* – Kramatorsk : DDMA, 2004 r. – С. 520–525.
15. *Opytnyj prokatno-kovochnyj stan PK 120 × 4* / V. N. Vydrin, O. I. Tishhenko, E. N. Berezin, E. G. Dremine, G. I. Koval' // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr.* / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1979. – № 230. – С. 77–82.
16. Vydrin V. N. *Geometricheskie parametry prokatki-kovki shirokikh polos* / V. N. Vydrin, E. N. Berezin, G. I. Koval' // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr.* / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1979. – № 230. – С. 82–96.

17. Dremin V. G. *Geometrija konusa deformacii pri prokatke-kovke zagotovok v chetyrehvalkovom kalibre* / V. G. Dremin // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1984. – S. 55–65.*
18. Berezin E. N. *Sovmeshhenie stanov prokatki-kovki s MNLZ* / E. N. Berezin, G. I. Koval', V.S. Nesterenko // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1984. – S. 80–92.*
19. Sychev P. M. *Jeksperimental'noe issledovanie processa proshivki prodol'noj prokatkoj-pressovaniem* / P. M. Sychev, F. M. Shubik, S. I. Dolgov // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1984. – № 165. – S. 139–148.*
20. Berzin V. N. *Jeksperimental'noe issledovanie deformacii maloplastichnyh splavov pri prokatke-pressovanii* / E. N. Berzin, G. Z. Serebrjannikov // *Prokatnoe proizvodstvo. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1974. – № 130. – S. 68–74.*
21. Sychev P. M. *Opredelenie jenergosilovyh parametrov proshivki prokatkoj-pressovaniem* / P. M. Sychev // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1979. – № 230. – S. 137–141.*
22. Vydrin V. N. *Proizvodstvo listov i lenty sposobom «prokatka-volochzenie»* / V. N. Vydrin, L. M. Ageev. – M. : *Chermetinformacija, 1971. – 21 s.*
23. Sudakov N. V. *Process nepreryvnoj prokatki-volochzenia na mnogovalkovom stane s promezhutochnymi neprivodnymi valkami* / N. V. Sudakov, V. A. Gustov // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1979. – № 230. – S. 44–52.*
24. *O poluchenii stal'noj provoloki sposobom prokatki-volochzenie* / V. N. Vydrin, Ju. N. Popov, V. G. Sherkunov, A. P. Evdokimov // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1979. – № 230. – S. 134–137.*
25. *Opyt prokatki tonchajshej lenty iz latunnych splavov sposobom prokatka-volochzenie* / L. M. Ageev, A. P. Pellenen, B. A. Chaplygin, G. P. Morozov // *Teorija i tehnologija prokatki : sb. nauch. tr. / Pod red. V. N. Vydrina. – Cheljabinsk : Cheljabinskij politehnicheskij institut, 1979. – № 230. – S. 13–17.*
26. Poljakov M. G. *Deformacija metalla v mnogovalkovykh kalibrah* / M. G. Poljakov, B. A. Nikiforov, G. S. Gun. – M. : *Metallurgija, 1979. – 242 s.*
27. *GOST 27674-88. Trenie, iznashivanie i smazka. Terminy i opredelenija. – Data vvedenija 01. 01. 89. – M. : Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, 1988. – 20 s.*
28. Pavlov I. M. *Teorija prokatki* / I. M. Pavlov. – M. : *Metallurgizdat, 1950. – 610 s.*
29. San'ko N. M. *Zona prilipaniya i rol' ee v processe prokatki* / N. M. San'ko // *Obrabotka metallov davleniem / Pod red. akad. AN SSSR A. P. Chekmereva. – M. : Metallurgizdat, 1970. – № LIV. – S. 75–89.*

Огинский И. К. – д-р техн. наук, зав. каф. ЗГИА;

Таратуга К. В. – канд. техн. наук, доц. ЗГИА;

Востоцкий С. Н. – ст. преп. ЗГИА.

ЗГИА – Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье.

E- mail: oginskyu@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.03.2018 г.