

УДК 621.771

Г. В. БЕРГЕМАН, А. А. САМСОНЕНКО, О. А. РЕМЕЗ, Ю. Ю. ЗУБКО

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ
НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА**

В работе проведено экспериментальное исследование совместного влияния температуры начала прокатки и различных режимов деформации на изменение силы и момента прокатки для условий горячей прокатки квадратных образцов с пониженной температурой нагрева из стали Ст3пс на гладких валках. Размеры заготовки 25×25×200 мм. Диаметр валков 205 мм. Длина бочки валка 400 мм. Получены данные о распределении температуры раската, силы и момента прокатки по проходам. Получены качественные зависимости измерения температуры, силы и момента прокатки по проходам. Результаты измерения силы прокатки показали наименьшие значения силы прокатки для убывающего режима деформаций. Приведенные в статье данные могут быть использованы для расчета энергосиловых параметров при проектировании или усовершенствовании клетей прокатных станов.

Ключевые слова: горячая прокатка, температура нагрева, режим деформаций, сила прокатки, момент прокатки.

Постановка задачи: Важным направлением развития современного сортопрокатного производства является расширение сортамента производимой продукции. Одним из направлений повышения механических свойств фасонного проката является внедрение процессов регулируемой прокатки за счет изменения температурных и деформационных режимов прокатки. Теория и технология использования регулируемой прокатки в сортовом производстве требуют дальнейшего развития, поскольку на данный момент не существует четкого представления о комплексном влиянии температурных и деформационных параметров процесса на технологические параметры производства и механические свойства проката [1].

При разработке новых температурных и деформационных режимов прокатки фасонных профилей существенное значение имеет их влияние на энергосиловые параметры процесса, в частности на силу и момент прокатки. Большинство исследователей при этом рассматривают отдельно влияние температурных и деформационных режимов прокатки [2–9]. Исследованиям совместного влияния вышеуказанных факторов для условий многопроходной прокатки уделялось недостаточное внимание.

Цель работы: экспериментальное исследование комплексного влияния температуры начала прокатки и распределения деформаций по проходам на энергосиловые параметры процесса.

Метод исследования: экспериментальный.

Исследование проводилось на лабораторном стане 200 кафедры обработки металлов давлением НМетАУ. Нагрев образцов перед прокаткой осуществлялся в лабораторной камерной электропечи СНОЛ-2,5.4.1,4/11-И1.

При разработке плана эксперимента были рассмотрены следующие режимы деформации (рис. 1): 1) прокатка заготовок с одинаковой вытяжкой в каждом проходе; 2) с уменьшением вытяжки; 3) с увеличением вытяжки. Наиболее характерными для технологий, применяемых в современном производстве, являются режимы 1 и 2.

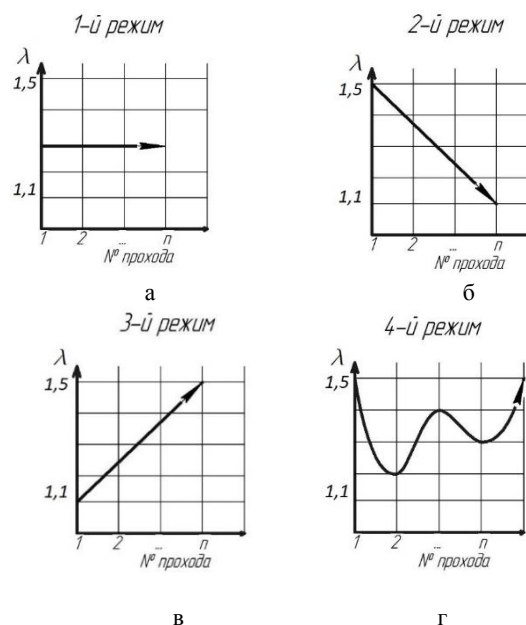


Рис. 1 – Схемы режимов прокатки в несколько проходов: а – прокатка с постоянными вытяжками; б – прокатка с уменьшением вытяжек; в – прокатка с увеличением вытяжек; г – прокатка с переменными вытяжками

Передача данных на ПК осуществлялась через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) WAD-AIK-BUS-Tenso. Правка образцов осуществлялась на двухколонном гидравлическом прессе 2ПГ-125. В качестве измерительного инструмента использовались электронный штангенциркуль Mitutoyo с точностью измерения до 0,01 мм (DIN 862: 1988), а также измерительная линейка. Измерения температуры раската во время прокатки производились с помощью ручного пирометра «Термоскоп-300-2С-ВТ0». Измерение силы и момента прокатки производились с использованием датчиков сопротивления.

Изменение температурного режима прокатки было реализовано путем изменения температуры нагрева заготовок перед прокаткой. Следует отметить, что изменение температурного режима прокатки может быть реализовано также путем подсуживания проката на воздухе или в охлаждающей среде в междеформационных

периодах. Указанные технологии требуют глубокого теоретического и экспериментального обоснования, а реализация на действующих производствах связана с усовершенствованием существующего и установкой нового оборудования. В свою очередь изменение температуры начала прокатки, как способ изменения температурного режима, не требует существенного изменения технологии и оборудования, и может быть реализован в условиях существующих производств без каких-либо капитальных вложений.

Проведены эксперименты по прокатке квадратной заготовки на гладких валках без кантовки. Материал заготовки – Ст3пс. Размеры заготовки 25×25×200 мм. Диаметр валков 205 мм. Длина бочки валка 400 мм. Частота вращения 12,5 об/мин.

Деформация образцов осуществлялась в 4 прохода по режимам, приведенным в таблице 1. Реализация того или иного режима деформаций осуществлялась во 2 и 3 проходе.

Первый проход предназначался для выравнивания высоты проката и имитировал обжимной калибр (в режимах с уменьшением и возрастанием обжатий). Четвертый проход являлся чистовым. Во всех проходах возникали высокие и средние очаги деформации ($l_d/h_{cp} = 0,7 \dots 1,8$), характерные для сортовой прокатки.

Прокатка проводилась для трех температур начала прокатки: 1200°C, 1100°C и 1000°C. По каждому режиму прокатывалось 3 образца. Фиксировались: температура образца перед каждым проходом, сила прокатки по проходам, момент прокатки на верхнем и нижнем валках. Полученные данные обрабатывались методами статистического анализа. Анализ полученных результатов приведен на рис. 2–4.

Влияние на температуру конца прокатки (рис. 2) оказывает как температура начала прокатки, так и режим деформаций. Разница в температурах конца прокатки при различных режимах составляет 11–75 °С.

Таблица 1 – Деформация по проходам для различных режимов прокатки

Режим деформации	Степень деформации, %				Зазор между валками, мм			
	1 пр.	2 пр.	3 пр.	4 пр.	1 пр.	2 пр.	3 пр.	4 пр.
С уменьшением обжатий	30	30	10	10	17	12	10	9
С возрастанием обжатий	30	10	30	10	17	15	10	9
С равными обжатиями	10	30	30	10	22	15	10	9

Причем наибольшая разница наблюдается при температуре начала прокатки 1200 °С, а наименьшая – при 1000°C (рис. 2, а–в). Также при температуре 1200°C наблюдается существенное влияние деформационного разогрева. При температуре 1000°C влияние режима деформаций в последних

проходах отсутствует. При одинаковых режимах деформации температура начала прокатки не оказывает влияния на качественный характер кривых (рис. 2, г–е). Наименьшую разницу в температурах конца прокатки показывает режим с уменьшением деформаций (38°C), а наибольшую – с возрастанием деформаций (109°C).

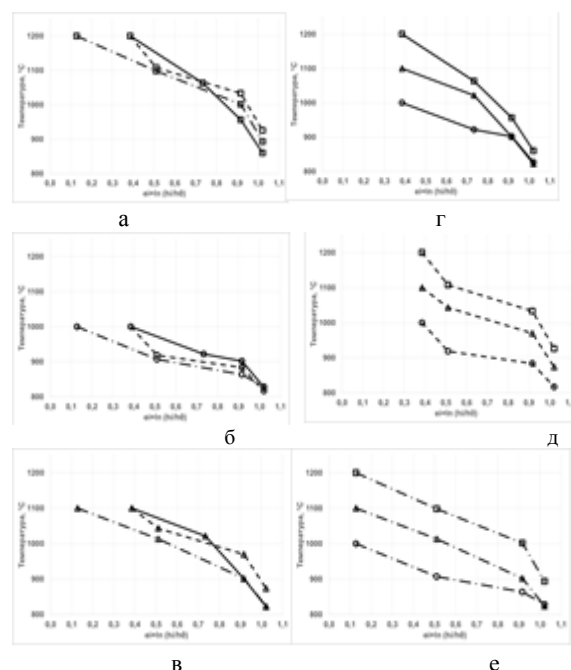
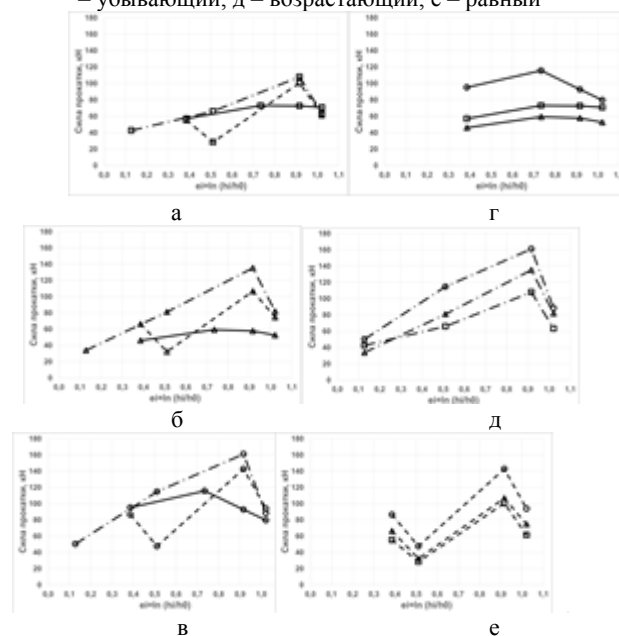


Рис. 2 – Изменение температуры прокатки по проходам: температура начала прокатки: а – 1200°C, б – 1100°C, в – 1000°C; режим деформаций: – убывающий, д – возрастающий, е – равный



Рис/ 3 – Изменение силы прокатки по проходам: температура начала прокатки: а – 1200°C, б – 1100°C, в – 1000°C; режим деформаций: г – убывающий, д – возрастающий, е – равный

Результаты исследования: Результаты измерения силы прокатки показали наименьшие значения силы прокатки для убывающего режима

деформацій (рис. 3, а–в). Наиболее невыгодным с позиций возрастания силы прокатки является режим с равными деформациями: происходит увеличение силы прокатки на 20–50% (по сравнению с убывающим режимом). При режиме с возрастанием деформаций в первых проходах наблюдается снижение силы, а в последних возрастание силы прокатки. Обращает на себя внимание то, что площади под кривыми сил для убывающего и возрастающего режима примерно равны. Эти площади можно интерпретировать как качественный показатель значения суммарной работы прокатки. То есть, работы прокатки при убывающем и возрастающем режиме равны. При режиме равных деформаций работа прокатки больше. Для всех деформационных режимов прокатки наибольшие силы проявляются в проходах с максимальными обжатиями (рис. 3, г–е). Качественный характер кривых при каждом деформационном режиме одинаков. При режиме деформаций с возрастанием обжатий наблюдается сближение кривых, соответствующих температурам начала прокатки 1200°C и 1100°C. При двух других режимах для этих кривых наблюдается одинаковый характер (практически параллельность) и максимальная разница в значении силы прокатки составляет 18–27 кН. Разница в значениях максимальных сил для различных значений температуры начала прокатки для одинаковых деформационных режимов колеблется в пределах 40...60 кН.

Для построенных по результатам эксперимента зависимостей изменения момента прокатки (рис. 4) качественно справедливы те же выводы что и для сил прокатки.

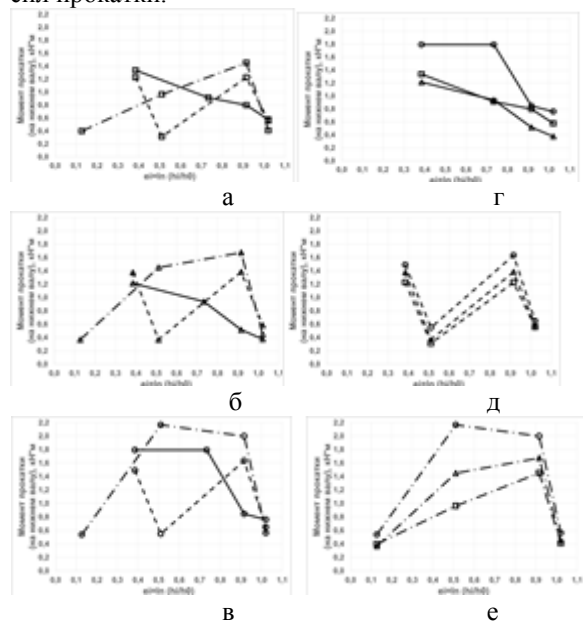


Рис. 4 – Изменение момента прокатки по проходам: температура начала прокатки: а – 1200°C, б – 1100°C, в – 1000°C; режим деформаций: г – убывающий, д – возрастающий, е – равный

Выводы. Проведены лабораторные исследования энергосиловых параметров для

условий прокатки заготовок из стали СтЗпс с пониженной температурой нагрева и с различными схемами деформации. Получены качественные зависимости измерения температуры, силы и момента прокатки по проходам. Анализ результатов исследований силы и момента прокатки показывает, что максимальные величины силы и момента возникают при температуре нагрева заготовки 1000 °С и использовании режима с равными деформациями. При использовании возрастающего режима возможно снижение температуры начала прокатки до 1100 °С без существенного повышения энергосиловых параметров прокатки. Приведенные в статье данные могут быть использованы для расчета энергосиловых параметров при проектировании или усовершенствовании клетей прокатных станов.

Список літератури: 1. Бергеман Г. В. Способы повышения механических свойств фасонных профилей из углеродистых сталей обыкновенного качества / Бергеман Г. В. // Пластическая деформация металлов: коллективная монография. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – С. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0. 2. Валквист Г. Исследование энергосиловых параметров при горячей прокатке металла / Г. Валквист. – М.: Металлургия, 1957. – 112 с. 3. Чекмарев А. П. Исследование энергосиловых параметров при прокатке экономичных фланцевых профилей / А. П. Чекмарев, Р. А. Машковцев, Г. Г. Шломчак // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – М.: Металлургия, 1965. – № 49. – С. 255–278. 4. Чекмарев А. П. Исследование среднесортного стана 550 / А. П. Чекмарев, Р. А. Машковцев, Г. Г. Шломчак // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – М.: Металлургия, 1965. – № 49. – С. 279–294. 5. Режимы нагружения и прочность прокатных станов / Клименко В. М., Коновалов Ю. В., Горелик В. С. [и др.]. – К.: Издательство «Техніка», 1976. – 173 с. 6. Исследование энергосиловых и технологических параметров прокатки профилей на сортовом стане 550 металлургического завода им. Петровского / Ю. М. Юхновский, В. С. Медведев, Ю. Е. Кулак [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 6. – С. 25–31. 7. Данько В. М. Низкотемпературная прокатка швеллеров на стане 600 / В. М. Данько // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2004. – Вып. 18. – С. 225–230. 8. Ноговицин О. В. Эффективність переводу сортових станів на прокатку з низкотемпературним нагрівом заготовок / Ноговицин О. В., Сталінський Д. В., Вакула Л. А. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 38–42. 9. Современные технологии производства швеллеров с применением развернутой калибровки валков. Монография / Г. В. Бергеман, С. М. Антонюк, М. В. Краев [и др.]. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. – 64 с. – ISBN 978-966-348-123-4.

Bibliography (transliterated): 1. Bergeman G. V. Spособы povysheniya mehanicheskikh svoystv fasonnykh profilej iz uglerodistykh staley obyknovennogo kachestva / Bergeman G. V. // Plasticheskaja deformacija metallov: kolektivnaja monografija. – Dnepropetrovsk: Akcent PP, 2014. – P. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0. 2. Valkvist G. Issledovanie jenergosilovykh parametrov pri gorjachej prokatke metalla / G. Valkvist. – Moscow: Metallurgija, 1957. – 112 p. 3. Chekmarev A. P. Issledovanie jenergosilovykh parametrov pri prokatke jekonomichnykh flancevykh profilej / A. P. Chekmarev, R. A. Mashkovcev, G. G. Shlomchak // Obrabotka metallov davleniem: sbornik nauchnyh trudov. – Moscow: Metallurgija, 1965. – No 49. – P. 255–278. 4. Chekmarev A. P. Issledovanie srednesortnogo stana 550 / A. P. Chekmarev, R. A. Mashkovcev, G. G. Shlomchak // Obrabotka metallov davleniem: sbornik nauchnyh trudov. – Moscow: Metallurgija, 1965. – No 49. – P. 279–294. 5. Rezhimy nagruzenija i prochnost' prokatnyh stanov / Klimentko V. M., Konovalov Ju. V., Gorelik V. S. [i dr.]. – Kiev: Izdatel'stvo «Tehnika», 1976. – 173 p. 6. Issledovanie jenergosilovykh i tehnologicheskikh parametrov prokatki profilej na sortovom stane 550

metallurgicheskogo zavoda im Petrovskogo / Ju. M. Juhnovskij, V. S. Medvedev, Ju. E. Kulak [i dr.] // Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'. – 2000. – No 6. – P. 25-31. 7. Dan`ko V.M. Ny`z`koterperaturna prokatka shveleriv na stani 600 / V.M. Dan`ko // Sborny`k nauchny`x trudov DonGTU. – Alchevsk, 2004. – Vyp. 18. – P. 225–230. 8. Nogovicy`n O.V. Efekty`vnist` perevodu sortovy`x staniv na prokatku z ny`z`koterperaturny`m nagrивom zagotovok / Nogovicy`n O.V., Stalins`ky`j D.V., Vakula L.A. // Metallurgy`cheskaya y` gornorudnaya

promyshlennost`. – 2006. – No 2. – P. 38-42. 9. Sovremennye tehnologii proizvodstva shvellerov s primeneniem razvernutoj kalibrovki valkov. Monografija / G. V. Bergeman, S. M. Antonjuk, M. V. Kraev [i dr.]. – Dnepropetrovsk: ART-PRESS, 2007. – 64 p. – ISBN 978-966-348–123-4.

Поступила (received) 31.10.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Бергеман Геннадий Владимирович, кандидат технических наук, генеральный директор, ПАО «ЕВРАЗ – Днепропетровский металлургический завод им. Петровского», г. Днепропетровск,

Bergeman Gennady Vladimirovich, Ph.D., CEO of PJSC "EVRAZ – Dnepropetrovsk Metallurgical Plant Petrovsky, Dnepropetrovsk.

Самсоненко Андрей Анатоліевич, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением им. акад. А.П. Чекмарёва, г. Днепропетровск,

Samsonenko Andrey Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences Associate Professor of Department of metal forming them. Acad. A.P. Chekmaryov, Dnepropetrovsk.

Ремез Олег Анатоліевич, заведующий лабораторией кафедры обработки металлов давлением им. акад. А. П. Чекмарева, НМетАУ, г. Днепропетровск,

Remez Oleg Anatolyevich, Head of the Laboratory of the Department of metal forming them. Acad. A.P. Chekmareva, NMetAU, Dnepropetrovsk.

Зубко Юрий Юриевич, аспирант первого года обучения при кафедре обработки металлов давлением им. акад. А.П. Чекмарёва, г. Днепропетровск.

Zubko Yuri Yuriyevich, PhD first year student at the Department of metal forming them. Acad. AP Chekmaryov Dnepropetrovsk.