

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ МЕЖДУ НЕПРИВОДНЫМИ И ПРИВОДНЫМИ РАБОЧИМИ ВАЛКАМИ

Добряк С. К., Котушенко Е. С.

Одним из способов повышения качества холоднокатанных лент, в том числе и снижения их продольной разнотолщинности, является совмещение процесса прокатки между неприводными и приводными рабочими валками. Реализация данного процесса характеризуется наличием дополнительной функциональной связи между исходной разнотолщинностью и межклетьевым натяжением. Разработана конечно-элементная модель данного процесса применительно к тонким лентам и полосам. С использованием полученной модели дана оценка напряженно-деформированного состояния металла предложенной схемы совмещения. Анализ результатов численной реализации свидетельствует о том, что с увеличением обжатия в клети с неприводными рабочими валками увеличивается сила прокатки в первой клети, увеличивается межклетьевое натяжение и снижается значение силы прокатки во второй рабочей клети.

Одним із способів підвищення якості холоднокатаних стрічок, у тому числі і зниження їх повздовжньої різнотовщинності, є суміщення процесу прокатки між неприводними і приводними робочими валками. Реалізація даного процесу характеризується наявністю додаткового функціонального зв'язку між вихідною різнотовщинністю і міжклетьовим натяженням. Розроблена кінцево-елементна модель даного процесу стосовно до тонких стрічок та смуг. З використанням отриманої моделі дана оцінка напружено-деформованого стану металу запропонованої схеми суміщення. Аналіз результатів чисельної реалізації свідчить про те, що зі збільшенням обтиснення в кліті з неприводними робочими валками збільшується сила прокатки у першій кліті, збільшується міжклетьове натяження і знижується сила прокатки у другій робочій кліті.

One way to improve the quality of cold-rolled strips, including a reduction of their longitudinal polythickness, is the overlapping of the rolling process between non-driven and driven rolls. The realization of this process is characterized by the presence of additional functional connection between the original polythickness and tension. The mathematical finite element model of this process is developed. Using the obtained model estimation of the mode of deformation of metal of the proposed scheme is given. Analysis of the results of numerical realization of testifies to the fact that the increase of the reduction in non-driven working rolls increases the power of rolling in the first mill, increases tension and reduced the power of rolling in the second mill.

Добряк С. К.

канд. техн. наук, ассистент каф. ОПМ ДГМА

Котушенко Е. С.

канд. техн. наук, ассистент каф. ОПМ ДГМА
katrusja.ko@gmail.com

УДК 621.771.01

Добряк С. К., Котушенко Е. С.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ МЕЖДУ НЕПРИВОДНЫМИ И ПРИВОДНЫМИ РАБОЧИМИ ВАЛКАМИ

Основные способы по снижению продольной разнотолщинности холоднокатаных лент и полос, являющейся одним из основных показателей их качества, заключаются в широком использовании различного рода систем автоматического регулирования [1] и в применении многовалковых узлов с рабочими валками малого диаметра [2]. Вместе с тем, реализация данных технических решений связана со значительными удельными капитальными затратами и повышенными эксплуатационными расходами.

Одним из альтернативных технических решений указанным выше способам является использование различных процессов асимметричной прокатки, обеспечивающих снижение подпирającego эффекта сил внешнего трения, уменьшение модуля жесткости прокатываемых лент и, как следствие, снижение наследственной составляющей их продольной разнотолщинности [3, 4]. В то же время такой недостаток, как передача момента прокатки, в основном, только ведущим рабочим валком, снижает технологические возможности процессов асимметричной прокатки с точки зрения интенсификации режимов обжатия, а это, в свою очередь, ограничивает диапазон их возможного использования.

Для достижения требуемого качества прокатываемых лент и полос, и требуемых объемов производства готового металлопроката, представляет интерес совмещение процесса деформации между неприводными рабочими валками (процесса ДНРВ) с процессом симметричной прокатки (процессом СП) (рис. 1) [5–7]. Данное техническое решение отличается от других своей максимальной конструктивной, технологической и эксплуатационной простотой. Для его реализации не требуется установки дополнительных приводов, также не требуется использования весьма сложных систем кинематической синхронизации работы двух, совмещенных в рамках одного прокатного стана, рабочих клетей. Реализация данного процесса характеризуется наличием дополнительной функциональной связи между исходной разнотолщинностью и межклетьевым натяжением, при этом во второй рабочей клети сохраняются преимущества симметричной прокатки по интенсификации технологических режимов обжатий. Однако, при реализации данного процесса возникают повышенные уровни межклетьевых натяжений, определяемые соотношением обжатий в клетях, а также исходной разнотолщинностью прокатываемой полосы. В настоящее время отсутствует опыт промышленной реализации указанного совмещенного процесса, нет научно обоснованных подходов к оценке как энергосиловых параметров при реализации совмещенных процессов, напряженно-деформированного состояния металла и степени использования запаса пластичности, а также основных показателей качества готовой металлопродукции, к которым в данном случае следует отнести продольную разнотолщинность. Отмеченное делает актуальным проведение исследований, направленных на совершенствование технологических режимов и конструктивных параметров оборудования для реализации процессов совмещенной прокатки.

Целью работы является оценка напряженно-деформированного состояния предложенной схемы совмещения, разработка математической модели, основанной на использовании метода конечных элементов.

Данный метод позволяет корректно учесть весь комплекс граничных условий очага деформации, механические свойства и условия внешнего трения [8]. Данная модель позволяет определить полную информацию о распределениях основных компонент напряженно-

деформированного состояния металла по длине очага деформации, который состоит из трех основных участков: участка деформации в клети с неприводными рабочими валками, межклетьевого пространства и участка деформации в клети с приводными валками.

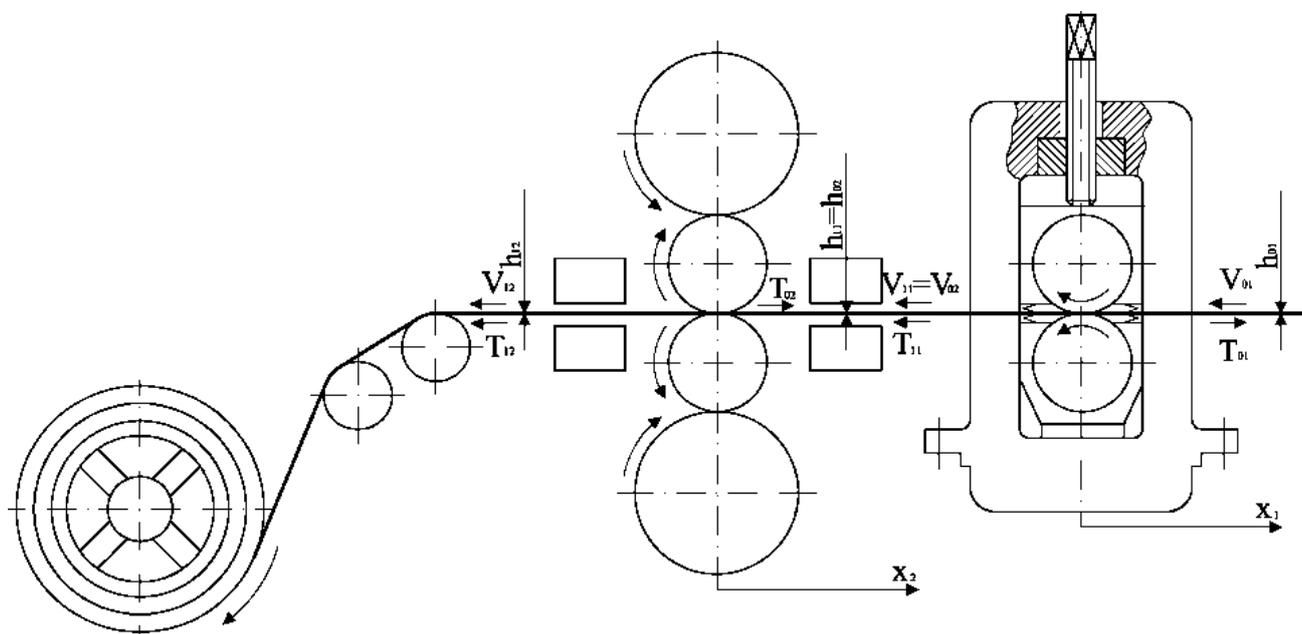


Рис. 1. Схема реализации совмещенного процесса деформации между неприводными рабочими валками с процессом симметричной прокатки

Сама математическая модель была реализована в пакете конечно-элементного моделирования Abaqus\Standart. При расчете рабочие валки моделировались недеформируемыми аналитическими поверхностями, а металл – четырехузловыми элементами с плоской деформацией. Быстрое формирование исходных данных для расчета, вплоть до генерации сетки конечных элементов, было обеспечено за счет создания параметризованной модели. Механические свойства материала ленты задавались путем аппроксимации соответствующей кривой упрочнения.

Моделирование процесса осуществлялось за два шага: в первом шаге происходила осадка полосы рабочими валками первой и второй клети, во втором шаге происходило вращение валков клети симметричной прокатки, и, соответственно, перемещение ленты вдоль технологической линии, то есть непосредственная реализация процесса прокатки. Схема решения данного процесса представлена на рис. 2.

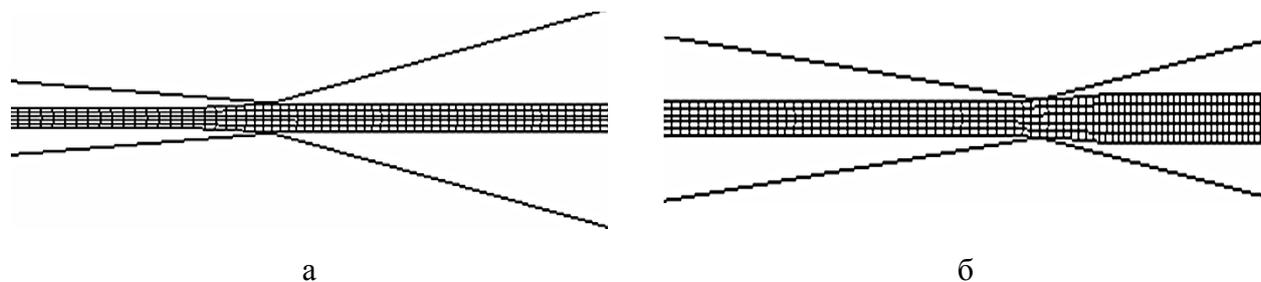


Рис. 2. Реализация совмещенного процесса деформации между неприводными рабочими валками (а) и симметричной прокатки (б) в пакете конечно-элементного моделирования Abaqus\Standart

В качестве результатов математического моделирования были получены распределения эквивалентных напряжений по длине и толщине ленты в очаге деформации как в клети с неприводными рабочими валками, так и в клети симметричной прокатки (рис. 3).

Также был произведен анализ распределений нормальных контактных и касательных напряжений на валки клети с неприводными, а также на валки с приводными рабочими валками, распределения указанных характеристик представлены на рис. 4 в зависимости от координаты x_1 или x_2 , то есть по длине очага деформации в первой или второй клети соответственно. С использованием описанной математической модели произвели расчет различных технологических режимов процесса прокатки. Начальная толщина, то есть толщина ленты перед первой клетью, составляла $h_{01} = 1,0$ мм, конечная толщина (толщина ленты после прокатки во второй клети) была равна $h_{12} = 0,5$ мм. В качестве варьируемого параметра была выбрана толщина ленты после прокатки в клети с неприводными валками $h_{11} = h_{02}$ и составляла для различных случаев расчета 0,7 мм, 0,8 мм и 0,9 мм.

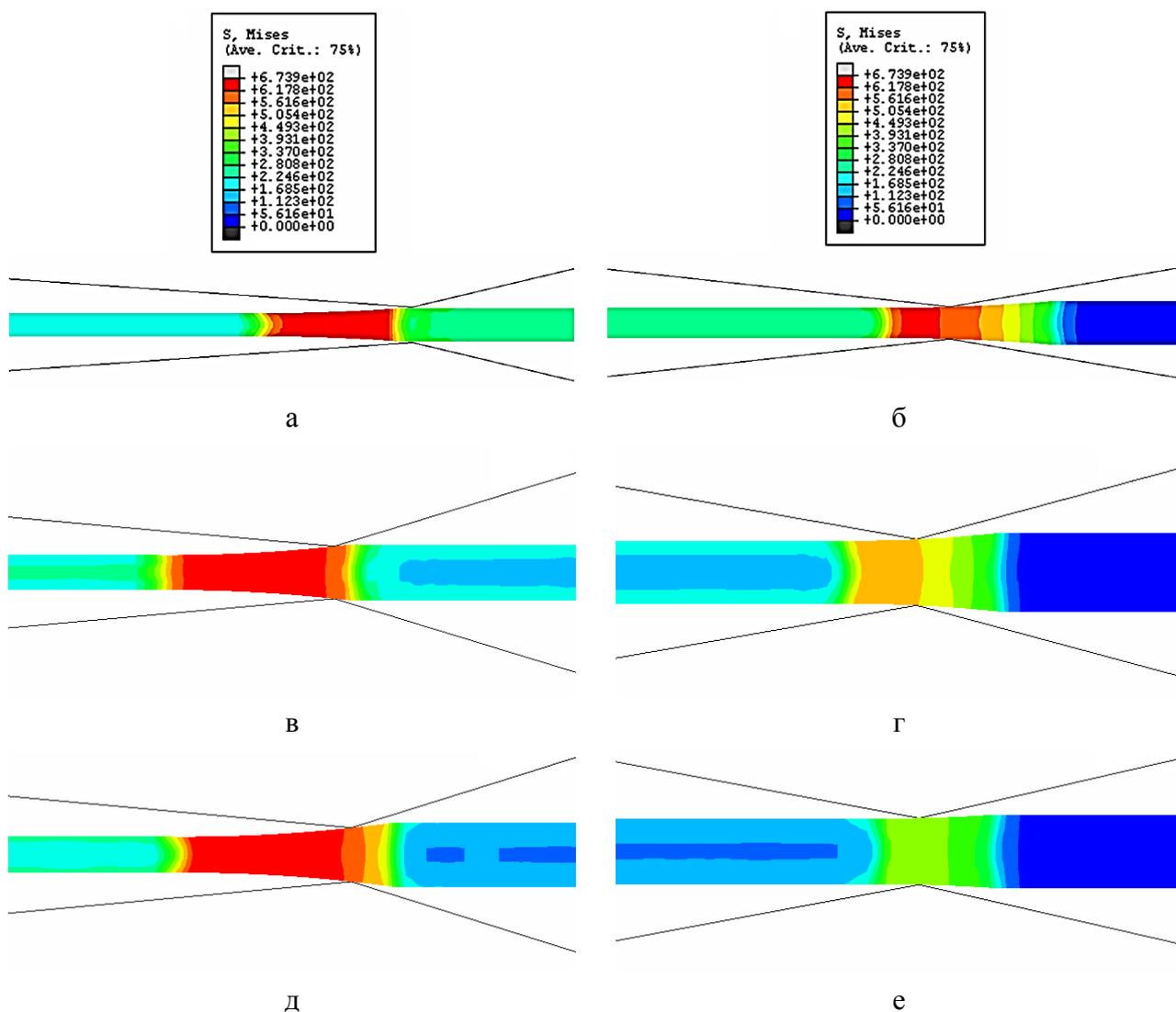


Рис. 3. Расчетные распределения эквивалентных напряжений в клети с приводными (а, в, д) и неприводными валками (б, г, е) при реализации режима прокатки $\bar{h}_{01} \rightarrow \bar{h}_{11} \rightarrow \bar{h}_{12} = 1,0 \rightarrow 0,7 \rightarrow 0,5$ (мм) (а, б), $\bar{h}_{01} \rightarrow \bar{h}_{11} \rightarrow \bar{h}_{12} = 1,0 \rightarrow 0,8 \rightarrow 0,5$ (мм) (в, г), $\bar{h}_{01} \rightarrow \bar{h}_{11} \rightarrow \bar{h}_{12} = 1,0 \rightarrow 0,9 \rightarrow 0,5$ (мм) (д, е)

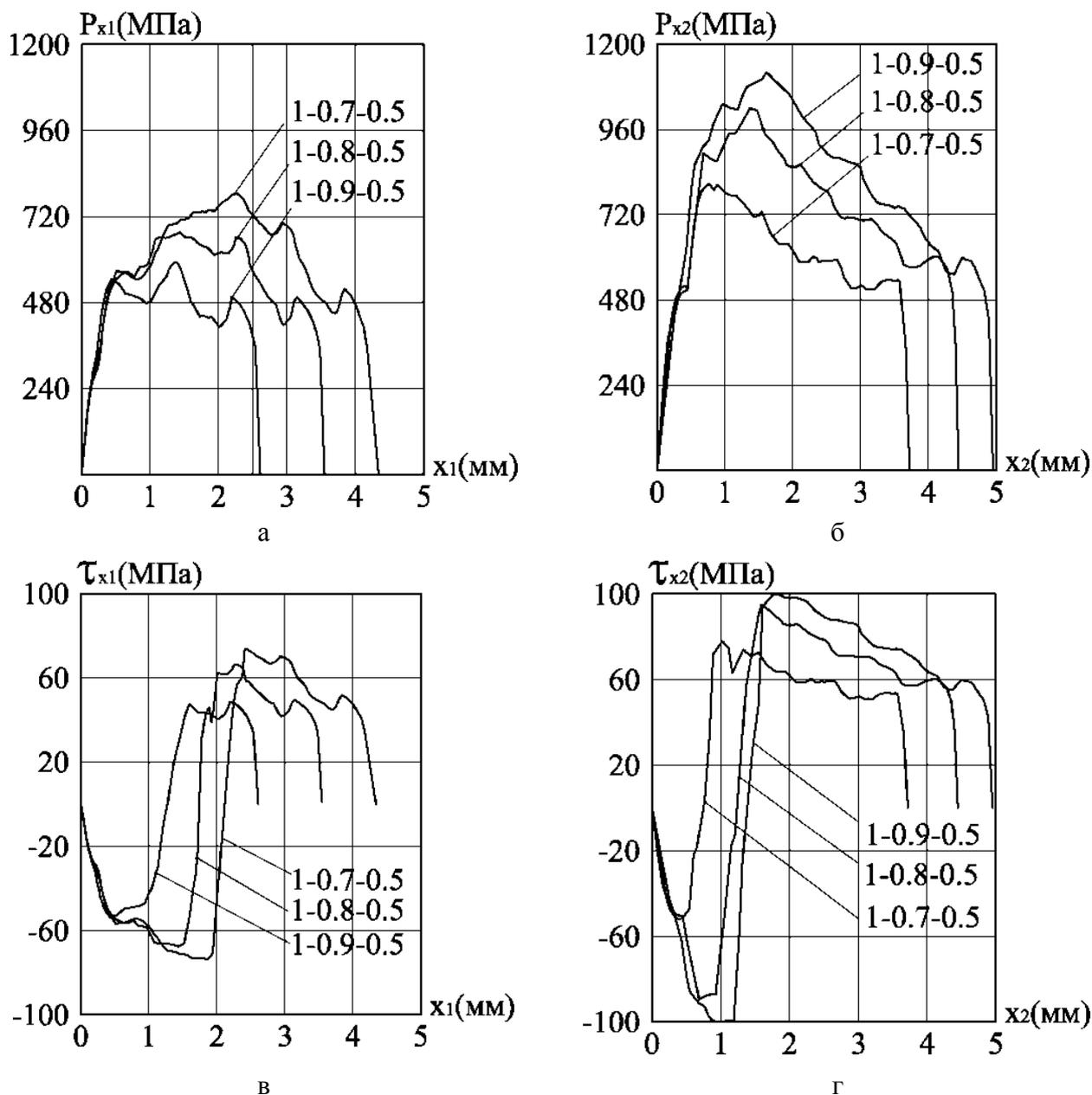


Рис. 4. Распределение нормальных контактных напряжений по длине очага деформации в клети с неприводными (а) и приводными рабочими валками (б) и касательных напряжений, также для неприводных (в) и приводных валков (г)

Результаты математического моделирования интегральных показателей совмещенного процесса прокатки относительно тонких лент, а именно значения суммарной силы прокатки в первой неприводной P_1 и второй приводной P_2 рабочей клети, а также межклетьевого натяжения σ_{11} в зависимости от перераспределения обжатий между клетями (относительно обжатия в первой клети) представлены на рис. 5. С увеличением обжатия в неприводной рабочей клети увеличивается сила прокатки в данной клети, уменьшается сила прокатки в клети с приводными рабочими валками и увеличивается межклетьевого натяжения. Как следует из технологических особенностей реализации совмещенного процесса прокатки, увеличение межклетьевого натяжения ведет к уменьшению значения силы прокатки в приводной рабочей клети.

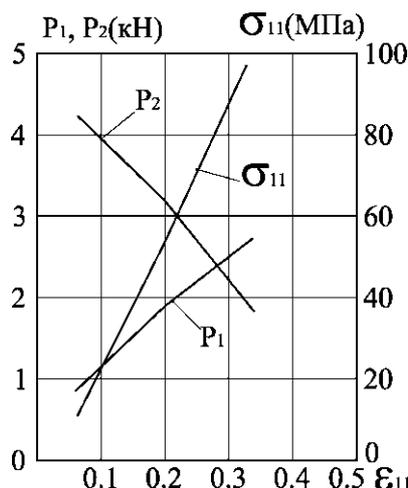


Рис. 5. Зависимость суммарной силы прокатки в первой и второй рабочей клетях, а также межклетьевого натяжения в зависимости от перераспределения обжатий в клетях с неприводными валками и симметричной прокатки

ВЫВОДЫ

Разработана конечно-элементная модель совмещенного процесса деформации между неприводными и приводными рабочими валками, которая корректно учитывает весь комплекс граничных условий очага деформации. Данная модель позволяет дать количественную оценку напряженно-деформированного состояния металла, при реализации процесса совмещенной прокатки. Анализ результатов численной реализации свидетельствует о том, что с увеличением обжатия в клетях с неприводными рабочими валками увеличивается сила прокатки в первой клетях, увеличивается межклетьевого натяжение и снижается значение силы прокатки во второй рабочей клетях. Результаты расчета подтверждают целесообразность использования схемы совмещенной прокатки для повышения качества холоднокатаных лент и полос, а представленная математическая модель может быть использована в качестве критерияльной оценки условий реализации процесса на стадии проектирования его технологических режимов или разработки рекомендаций по совершенствованию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов А. С. Автоматические системы стабилизации толщины полосы при прокатке / А. С. Филатов, А. П. Зайцев, А. А. Смирнов. — М. : Металлургия, 1982. — 128 с.
2. Прокатка на многовалковых станах / П. И. Полухин, В. П. Полухин, А. Ф. Пименов и др. — М. : Металлургия, 1981. — 248 с.
3. Сеницын В. Г. Несимметричная прокатка полос и лент / В. Г. Сеницын. — М. : Металлургия, 1984. — 249 с.
4. Федоринов В. А. Процесс ДНПВ: теория, технология, конструкции / В. А. Федоринов. — Краматорск : ДГМА, 2003. — 316 с.
5. Точность геометрических характеристик при реализации совмещенных процессов симметричной и асимметричной прокатки / В. А. Федоринов, С. К. Добряк, Е. С. Давыденко, В. В. Плеханова // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. — Краматорськ : ДДМА, 2003. — С. 41–45.
6. Совмещение процессов симметричной и асимметричной прокатки как способ повышения точности металлопродукции / В. А. Федоринов, Ю. К. Доброносков, Е. С. Давыденко, В. В. Плеханова // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. — Дніпропетровськ : Системні технології, 2005. — С. 199–203.
7. Моделирование точности геометрических характеристик при реализации совмещенных процессов асимметричной и симметричной прокатки / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Е. С. Давыденко, В. В. Плеханова // Теория и практика производства листового проката : сб. науч. тр. — Липецк : ЛГТУ, 2005. — Часть 2. — С. 48–54.
8. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением / В. Н. Данченко, А. А. Миленин, В. И. Кузьменко, В. А. Гриневич. — Днепропетровск : Системные технологии, 2005. — 448 с.