

УДК 621.771.01: 621.771.06

Сатонин А. В.
Коренко М. Г.
Староста Н. В.
Найденов В. С.
Зверева И. Э.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕТОДОВ РАСЧЕТА И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА МЕЛКОСОРТНЫХ СТАНАХ

В мировой металлургии в настоящее время идет четвертый этап реструктуризации, основные цели и задачи которого отражены Проектом Национальной программы развития ГМК Украины [1, 2].

Перевод на непрерывнолитую заготовку типовых мелкосортных станов, работающих в настоящее время на заготовке производства обжимных цехов, может быть осуществлен по двум различным направлениям. Одно из направлений предусматривает демонтаж обжимного цеха и реконструкцию мелкосортного стана под перекаат непрерывнолитой заготовки размерами $150 \times 150 \dots 180 \times 180$ мм. Второе направление позволяет сохранить частично непрерывно-заготовочный стан при условии его реконструкции для переката непрерывнолитой заготовки большого сечения в заготовку размерами $80 \times 80 \dots 100 \times 100$ мм.

В своем большинстве непрерывные мелкосортные станы, работающие в настоящее время на металлургических предприятиях Украины, ориентированы на катаную заготовку размерами 80×80 мм длиной до 12 м. Стремление к снижению выхода немерных длин и к увеличению выхода годного ведет к необходимости увеличения сечения исходной заготовки. Вместе с тем эффективность увеличения сечения исходной заготовки необходимо рассматривать в целом для всего комплекса прокатных станов одного предприятия, поскольку размер сечения зависит от характеристик оборудования прокатных цехов.

Среди всех существующих в настоящее время перспектив развития мелкосортных станов основными являются повышение выхода годного и снижение энергетических затрат за счет перевода стана на непрерывно-литую заготовку, а также повышение эффективности прокатного производства на основе совершенствования калибровок и технологических режимов процессов горячей прокатки [3].

Целью работы является анализ основных направлений по совершенствованию технологических режимов работы, состава и конструктивных параметров оборудования типовых мелкосортных станов 250, развитие методов расчета, а также разработка научно-обоснованных практических рекомендаций по их совершенствованию.

На рис. 1 в качестве примера представлена схема расположения оборудования типового мелкосортного стана 250, а наиболее широко используемые в этом случае калибровки рабочих валков иллюстрированы рис. 2. Для повышения производительности и сокращения парка валков стан специализирован на производстве следующих видов сортового проката: профиль круглый $\varnothing 14\text{--}32$ мм; профиль квадратный со стороной $14\text{--}22$ мм; профиль арматурный №№ $14\text{--}32$ мм; профиль шестигранный $14\text{--}27$ мм. Исходной для данного стана является квадратная заготовка номинальным сечением 80×80 мм и длиной от 10,5 м до 11,8 м [4].

Реконструкцию мелкосортного стана 250 предлагается проводить в два этапа. Новая схема расположения оборудования стана представлена на рис. 3, при этом предполагается совершенствование технологии производства путем применения процесса бескалибровой прокатки в черновой группе клетей и, как следствие, повышения качества готовой металлопродукции при одновременном снижении удельных эксплуатационных расходов.

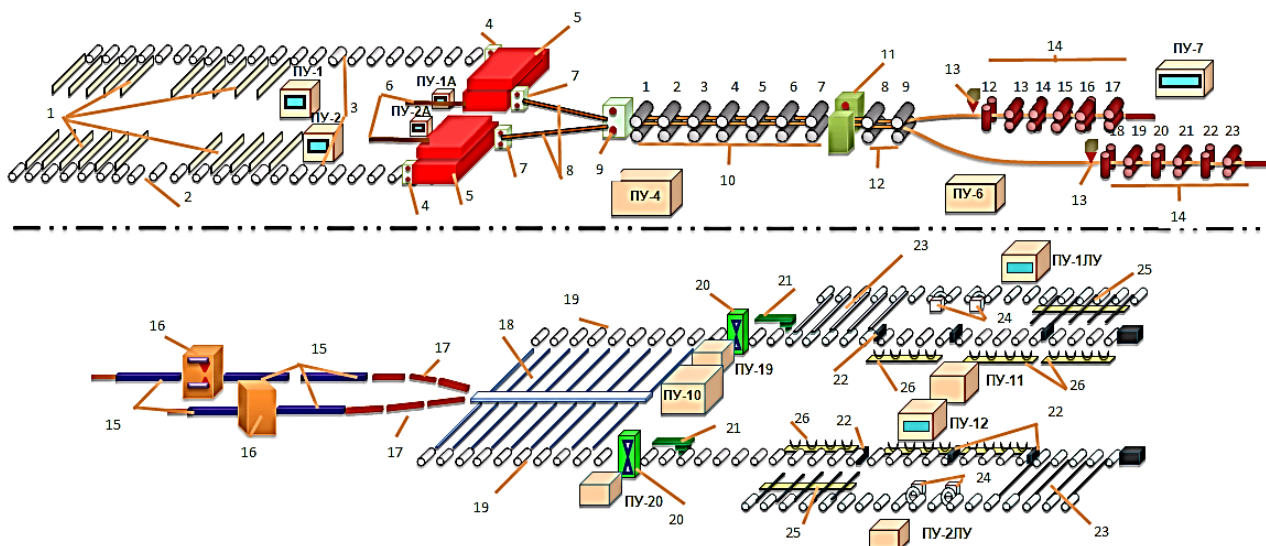


Рис. 1. Существующая схема расположения оборудования мелкосортного стана 250:

1 – загрузочные шлепперы; 2 – подводный ролик; 3 – роликовые весы; 4 – втаскивающее устройство; 5 – нагревательная печь с монолитным подом; 6 – выталкивающее устройство; 7 – вытаскивающее устройство; 8 – соединительный ролик; 9 – трайб-аппарат; 10 – черновая группа клетей; 11 – ножницы для обрезки концов; 12 – промежуточная группа клетей; 13 – аварийные ножницы; 14 – левая и правая чистовые группы клетей; 15 – термоустановка; 16 – двухбарабанные ножницы; 17 – ролик за термоустановкой; 18 – холодильник; 19 – отводящий ролик; 20 – ножницы холодной резки; 21 – передвижной упор; 22 – поворотный упор; 23 – накопитель прутков; 24 – обвязочный стол; 25 – разгрузочный конвейер; 26 – весы с карманами

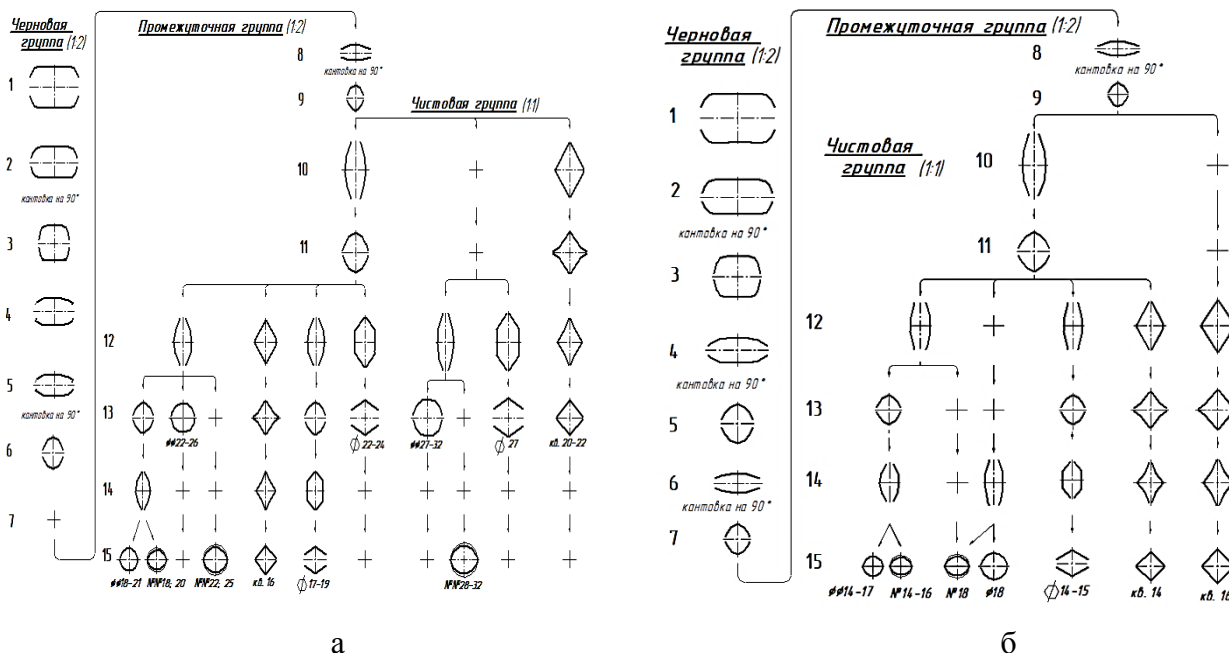


Рис. 2. Схемы калибровок рабочих валков мелкосортного стана 250 для производства среднего (а) и мелкого (б) сорта готового металлопроката

Первый этап реконструкции включает в себя замену двух существующих методических рекуперативных печей на одну нагревательную печь с шагающими балками, предназначенную для нагрева заготовок квадратным сечением 150 × 150 мм, длиной до 11,8 м, производительностью 220–250 тонн/час.

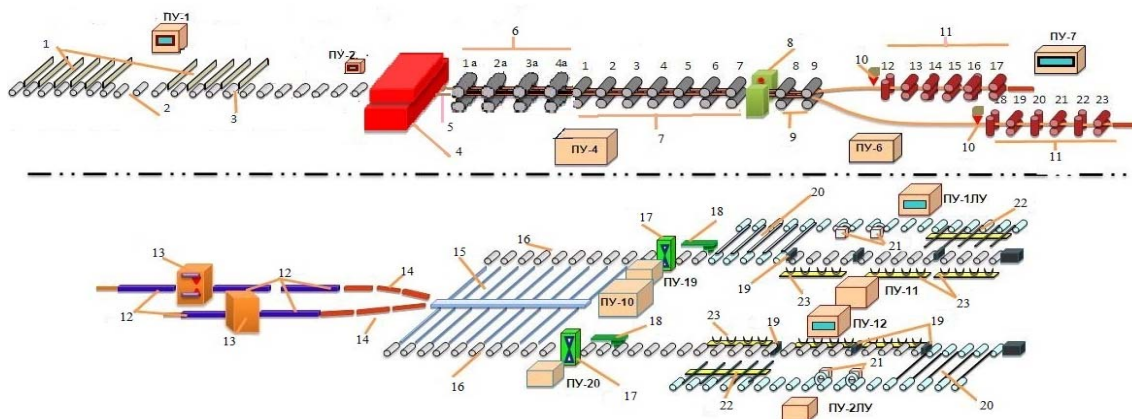


Рис. 3. Схема расположения оборудования мелкосортного стана 250 после его реконструкции:

1 – загрузочный шлеппер; 2 – подводящий рольганг, 3 – рольганговые весы; 4 – комбинированная нагревательная печь с шагающими балками и шагающим подом; 5 – соединительный рольганг; 6 – новые черновые клетки; 7 – черновая группа клетей; 8 – ножницы для обрезки концов; 9 – промежуточная группа клетей; 10 – аварийные ножницы; 11 – левая и правая чистовые группы клетей; 12 – термоустановка; 13 – двухбарабанные ножницы; 14 – рольганг за термоустановкой; 15 – холодильник; 16 – отводящий рольганг; 17 – ножницы холодной резки; 18 – передвижной упор; 19 – поворотный упор; 20 – накопитель прутков; 21 – обвязочный стол; 22 – разгрузочный конвейер; 23 – весы с карманами

Второй этап реконструкции предполагает совершенствование состава черновой группы рабочих клетей, технологических режимов их работы и используемых калибровок рабочих валков. При этом планируется установка дополнительных четырех клетей с диаметрами рабочих валков 600–620 мм, оснащенных системами автоматического подсоединения и отсоединения шпинделей. С точки зрения совершенствования технологических режимов работы данных клетей предполагается широкое использование технологии бескалибровой прокатки, обеспечивающей расширение сортамента готового металлопроката при одновременном снижении удельных эксплуатационных расходов за счет уменьшения парка рабочих валков и количества их переточек [5–7].

Основной технологической особенностью процесса бескалибровой прокатки является пластическая деформация исходной заготовки с поперечным сечением близким к квадратному между двумя приводными рабочими валками, имеющими гладкие бочки. При этом в отличие от традиционных схем продольной прокатки имеет место не двухмерное, а трехмерное пластическое течение металла, что предопределяет специфику используемых в этом случае методов расчета.

В работе [7] задача по математическому моделированию напряженно-деформированного состояния металла при бескалибровой прокатке решена на основе вариационных подходов с использованием разбиения зоны пластического формоизменения на конечное множество выделенных элементарных объемов и последующего численного рекуррентного решения конечно-разностной формы условия баланса энергетических затрат, рассматриваемого в рамках каждого из них. При этом в качестве варьируемого был принят показатель результирующей вытяжки, в зависимости от которого производили расчет текущего значения толщины и ширины прокатываемой заготовки, расчет напряженно-деформированного состояния металла в рамках каждого отдельного выделенного элементарного объема, расчет суммарной мощности пластического формоизменения с последующей критериальной оценкой полученного решения по условию обеспечения ее минимума. Кроме того, данная математическая модель предполагает учет упругого сплющивания рабочих валков деформируемой заготовки, а также организацию численного интегрирования, имеющего своей целью определение силы и моментов прокатки.

С точки зрения критериальной оценки степени достоверности полученной конечно-разностной математической модели процесса бескалибровой прокатки сортовых профилей на основе конечно-элементного подхода QForm [8] разработан программный продукт, обеспечивающий возможность моделирования всех стадий рассматриваемой технологической схемы, начиная с анализа условий захвата раската рабочими валками, его пластическую деформацию по переходам и кантовку между ними.

В качестве примера результатов численной реализации рассмотренного конечно-элементного программного продукта на рис. 4 и 5 представлены расчетные распределения напряжений и деформаций, полученные применительно к условиям реализации процесса бескалибровой прокатки в рабочих валках диаметром 400 мм исходных сортовых профилей из стали 3кп сечением 80×80 мм до конечных толщин 68 мм и 64 мм. Температура прокатываемого металла в обоих случаях соответствовала 1000°C . Степень несоответствия результатов конечно-разностного и конечно-элементного математического моделирования по интегральным характеристикам энергосиловых параметров исследуемой технологической схемы не превысила 8 %, а по величине уширения – 6,5 %. Отмеченное, наряду с результатами соответствующих экспериментальных исследований [7], подтверждает возможность использования конечно-разностного подхода применительно к расчету энергосиловых параметров процесса бескалибровой прокатки, в то время как использование более трудоемких конечно-элементных решений является целесообразным с точки зрения более детальной оценки деформированного состояния металла и вероятности наличия внутренних и внешних дефектов сплошности.

На основе полученных теоретических решений разработаны перспективные технологические схемы условий реализации процесса бескалибровой прокатки сортовых профилей на мелкосортных станах, иллюстрируемые рис. 6.

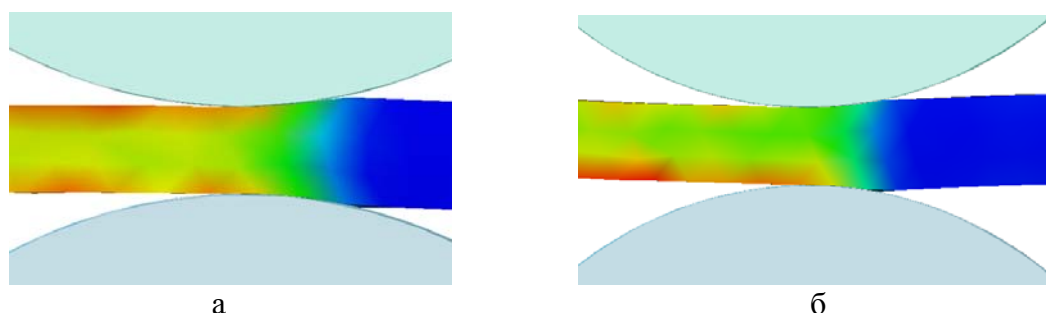


Рис. 4. Расчетные, полученные на основе конечно-элементного подхода, распределения основных показателей напряженного состояния металла при бескалибровой прокатке в рабочих валках диаметром 400 мм исходных сортовых заготовок из стали 3кп сечением 80×80 мм до конечных толщин 68 мм (а) и 64 мм (б)

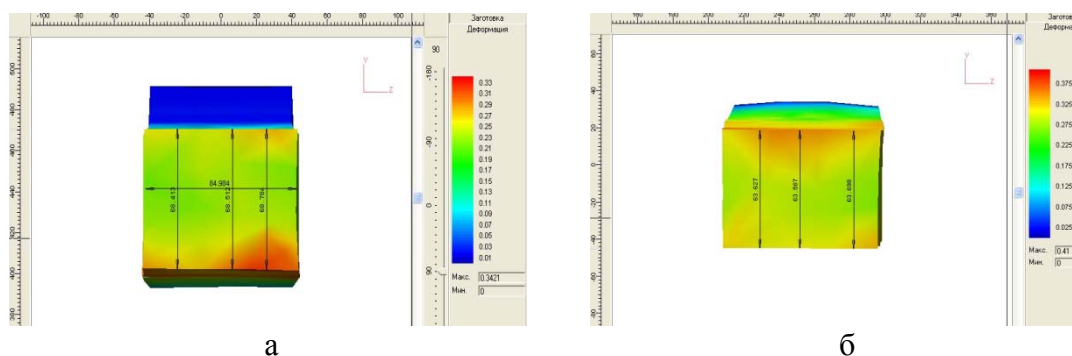


Рис. 5. Расчетные, полученные на основе конечно-элементного подхода, распределения основных показателей деформированного состояния металла при бескалибровой прокатке в рабочих валках диаметром 400 мм исходных сортовых заготовок из стали 3кп сечением 80×80 мм до конечных толщин 68 мм (а) и 64 мм (б)

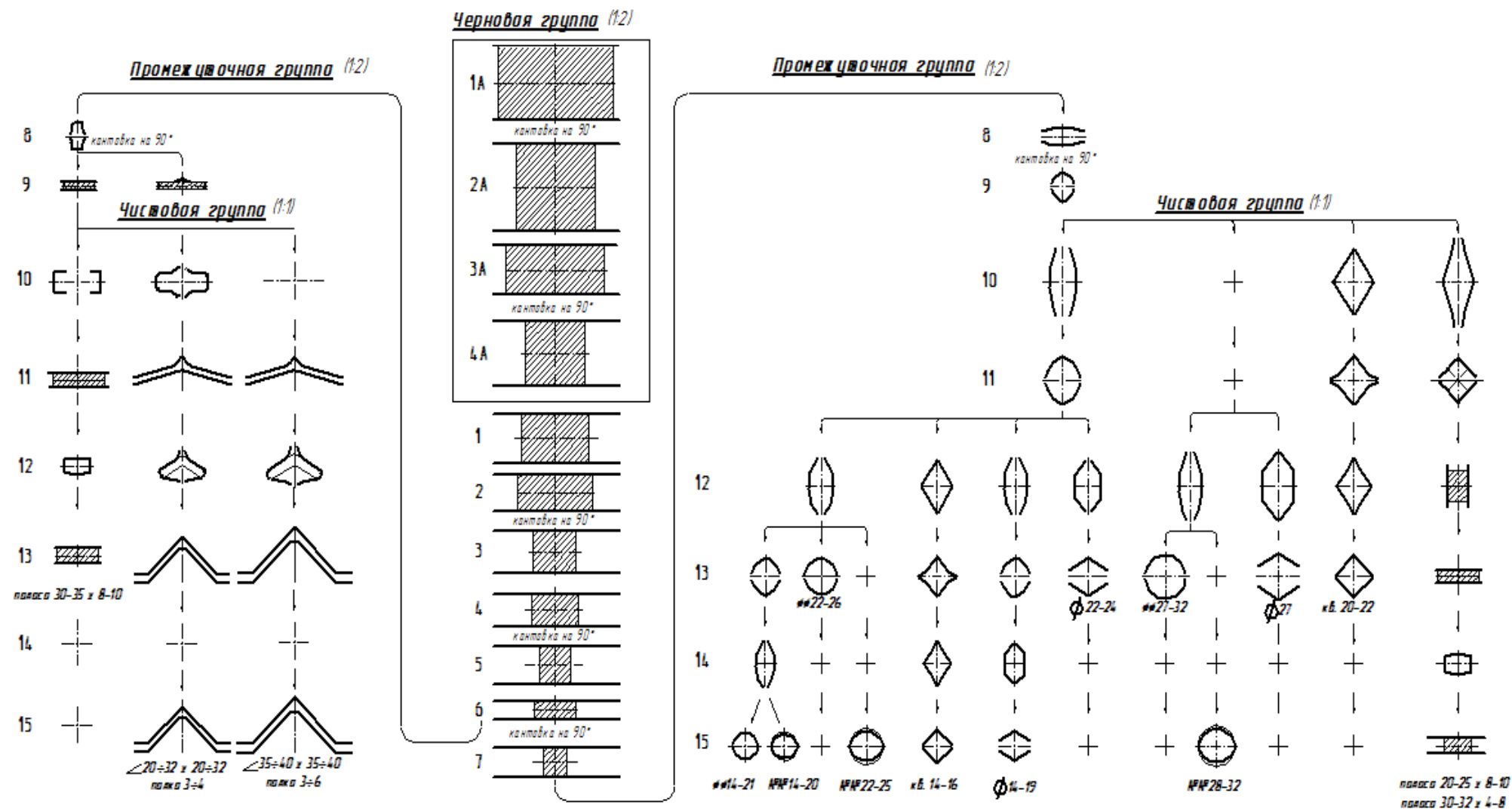


Рис. 6. Возможные схемы калибровок валков мелкосортного стана 250 с применением бескалибровой прокатки и после реконструкции черновой группы клетей

В результате технико-экономического анализа было показано, что внедрение бескалибровой прокатки на мелкосортных станах позволит обеспечить:

- сокращение расхода рабочих валков вследствие более эффективного использования длины их бочек и меньшего износа контактных поверхностей;
- повышение коэффициента использования стана и увеличение выхода годного вследствие упрощения настройки рабочих валков и привалковой арматуры, а также отсутствия дефектов, вызванных переполением калибров и их повышенного износа;
- расширение сортамента готового металлопроката, обусловленное существенным упрощением специфических калибровок в черновой группе рабочих клетей.

ВЫВОДЫ

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований предложены варианты по техническому совершенствованию технологических режимов работы, состава и конструктивных параметров мелкосортных станов горячей прокатки. Показана целесообразность широкого использования бескалибровой прокатки в черновой группе рабочих клетей данных станов, на основе численных вариационных подходов и метода конечных элементов разработаны математические модели локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при бескалибровой прокатке, выполнен сопоставительный анализ результатов их численной реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сталь на рубеже столетий / Кол. авт. : под науч. ред. Ю. С. Карабасова.* – М. : «МИСИС», 2001. – 664 с.
2. *Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы : монография / А. А. Минаев.* – Донецк : Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
3. *Актуальные направления развития конструкций мелкосортных прокатных станов и технологий прокатки на них / С. А. Воробей, С. И. Бадюк, Д. Г. Паламарь, А. П. Лохматов, А. И. Лещенко // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия».* – 2012. – № 6. – С. 37–45.
4. *Технологическая инструкция производство проката на непрерывных мелкосортных станах 250-4 и 5 СПЦ.* – Кривой Рог, 2012 г. – № 2 (ТИ 189-П2-01:2012).
5. *Бескалибровая прокатка сортовых профилей / Л. Е. Кандауров, Б. А. Никифоров, А. А. Морозов [и др.].* – Магнитогорск : Магнитогорский дом печати, 1998. – 128 с.
6. *Янадзава Т. Разработка метода бескалибровой прокатки / Т. Янадзава // Кавасаки Сэйтецу Гихо.* – 1982. – Т. 14, № 9. – С. 85–94 (324-333).
7. *Моделирование напряженно-деформированного состояния металла при бескалибровой прокатке / А. В. Сатонин, А. А. Иванов, А. С. Чуруканов, Ю. В. Горецкий // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 44–51.
8. *Белокуров О. А. Применение программы моделирования процессов ОМД QForm для обучения и исследовательской работы в университетах / О. А. Белокуров, Н. В. Биба, Ю. А. Гладков // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : темат. сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2008. – С. 9–14.

Сатонин А. В. – д-р техн. наук, проф. каф. АММ ДГМА;

Коренко М. Г. – канд. техн. наук, ст. преп. КНУ;

Староста Н. В. – аспирант ДГМА;

Найденев В. С. – главный калибровщик ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»;

Зверева И. Э. – калибровщик ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

КНУ – Криворожский национальный университет, г. Кривой Рог.

ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» – Публичное акционерное общество «АрселорМиттал Кривой Рог», г. Кривой Рог.

E-mail: marinak2010@bk.ru; starosta-n@mail.ru; vladimir.naydenov2@arcelormittal.com; irina.zvereva@arcelormittal.com

Статья поступила в редакцию 17.02.2013 г.