

УДК 621.771.06:621.771.22

Горецкий Ю. В.,
к.т.н. Денищенко П. Н.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ КРУПНОСОРТНЫХ СТАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСКАЛИБРОВОЙ ПРОКАТКИ

На основе анализа существующих технологий производства крупных сортовых заготовок показана целесообразность использования процесса бескалибровой прокатки, обеспечивающего расширение сортамента и снижение себестоимости готовой металлопродукции. Применительно к крупносортному стану «600» филиала № 12 ЗАО «Внеи́нтергссервис» предложена новая схема прокатки квадратной заготовки, обеспечивающая достаточную степень ее эффективности.

Ключевые слова: сортовые заготовки, бескалибровая прокатка, ящичные калибры, калибровка рабочих валков, крупносортный стан, сортамент.

Промышленное производство горячекатаного сортового металлопроката является одним из наиболее динамично развивающихся направлений черной металлургии. В отечественной металлургической промышленности остро стоит вопрос об экономии материальных и энергетических ресурсов, особенно на заключительном этапе металлургического передела — в прокатном производстве. Повысить конкурентоспособность металлопродукции можно снижением ее себестоимости и повышением качества. Себестоимость в значительной степени определяется затратами на энергию, материалы и оборудование.

Сортовой прокат получают прокаткой из непрерывнолитых заготовок и заготовок квадратного сечения, полученных прокаткой из катаных блюмов. Производят крупные заготовки на заготовочных и крупносортных станах. Традиционный способ сортовой прокатки заключается в том, что заготовка последовательно прокатывается в той или иной системе калибров в калиброванных валках. Причем при производстве крупных квадратных заготовок, как правило, применяют валки с ящичными калибрами в большинстве задействованных клетей прокатного стана [1, 2].

Учитывая общеизвестные достоинства и отработанность технологии прокатки заготовок в ящичных калибрах, можно ука-

зать и на ряд недостатков, которые существенно усложняют и удорожают производство сортового проката: из-за наличия буртов используется не вся поверхность валка; сложность настройки клетей и удержание этих настроек в процессе прокатки; необходимость применения сложной привалковой арматуры; необходимость применения в сортопрокатном производстве валков с упрочнением, с литыми ручьями и бандажированных валков, использование технологических смазок и специальных способов и устройств для охлаждения валков, неравномерный износ калибров, необходимость восстановления калибров путем переточек или наплавки различными материалами. Значительная часть этих проблем может быть решена применением на крупносортных станах технологии бескалибровой прокатки [3].

Как отмечают авторы [4, 5], способом бескалибровой прокатки прокатывают углеродистые, легированные, специальные стали и цветные металлы и сплавы, разлитые на МНЛЗ и в изложницы (перекатка блюмов). Этот способ широко применяют для производства заготовок, сортового проката простой формы, катанки, полосовых профилей и строительной арматуры.

Зарубежный опыт [4–6] использования бескалибровой прокатки показывает её

существенные достоинства, которые можно использовать в условиях крупносортовых станов.

При многообразии способов реализации бескалибровой прокатки и имеющихся значительных достоинствах этого способа применение его на действующих сортовых станах вызывает ряд трудностей: недостаток данных о применяемых на прокатных станах режимах бескалибровой прокатки; нестабильность уширения; большое уширение металла снижает эффективность процесса прокатки; неустойчивость раската и, как следствие, возможное диагональное искривление раската, что требует применения специальной валковой арматуры.

Задачей данной работы является разработка технологии бескалибровой прокатки квадратной заготовки широкого сортамента в условиях крупносортового стана.

Крупносортовый стан «600» предназначен для прокатки и отделки сортовых и фасонных профилей проката из углеродистой, низкоуглеродистой и легированной стали с временным сопротивлением разрыву в холодном состоянии до 80 Н/мм^2 . Исходной заготовкой для производства служат блюмы квадратного сечения размерами $315 \times 315 \text{ мм}$ из спокойной стали, $318 \times 318 \text{ мм}$ — из полуспокойной и кипящей стали длиной от 3250 до 6000 мм, прокатываемые на блюминге «1250».

Нагретые в методических печах по заданным режимам блюмы скатываются на приемный рольганг, которым транспортируются к первой обжимной клетке стана 1Г (клетка 850). Перед клетью заготовка кантуется на 90° , затем раскат подается к первой непрерывной группе. Прокатка в этой группе производится с чередованием обжатия в горизонтальном и вертикальном направлениях. Далее поток раздваивается. При прокатке заготовок размерами 100×100 , 120×120 , $125 \times 125 \text{ мм}$ раскаты передаются с первой на третью линию по так называемой обводной схеме прокатки. Остальные профили прокатывают по основной технологической схеме (три линии прокатки, 15 клетей).

Для прокатки профилей по обводной схеме, которая предусматривает обвод нескольких клетей, на рабочей линии стана установлены шлеппера, при помощи которых раскат передается с одной технологической линии на другую. Прокатка блюмов ведется в клетях первой непрерывной группы согласно утвержденным технологическим картам или схемам калибровки. Окончательная стадия прокатки осуществляется на отдельно стоящих предчистовых и чистовых клетях. Для прокатки квадратной заготовки применяется система прямоугольных (ящичных) калибров. Ящичные калибры врезаны как в горизонтальные валки, так и в вертикальные (рис. 1). В результате исходное квадратное или прямоугольное сечение слитка или заготовки уменьшается до требуемых размеров. Рассмотренные выше недостатки прокатки заготовки в ящичных калибрах обуславливают высокую затратность традиционного способа сортовой прокатки, а также снижают эффективность процесса.

Ключевой технологической особенностью процесса бескалибровой прокатки является пластическая деформация исходного блюма с поперечным сечением, близким к квадратному, между двумя приводными рабочими валками, имеющими гладкие бочки. Реализация данного технического решения способствует расширению размерного ряда исходной заготовки (блюма) и сортамента готового металлопроката при одновременном снижении эксплуатационных расходов за счет уменьшения парка рабочих валков и исключения необходимости в нарезке соответствующих калибров [1–3, 5, 7].

Теоретический анализ процессов бескалибровой прокатки исследован в работах [1, 3, 5–7].

В соответствии с изложенным выше и на основе полученных теоретических решений разработаны схемы реализации процесса бескалибровой прокатки сортовых квадратных заготовок на крупносортовом стане «600».

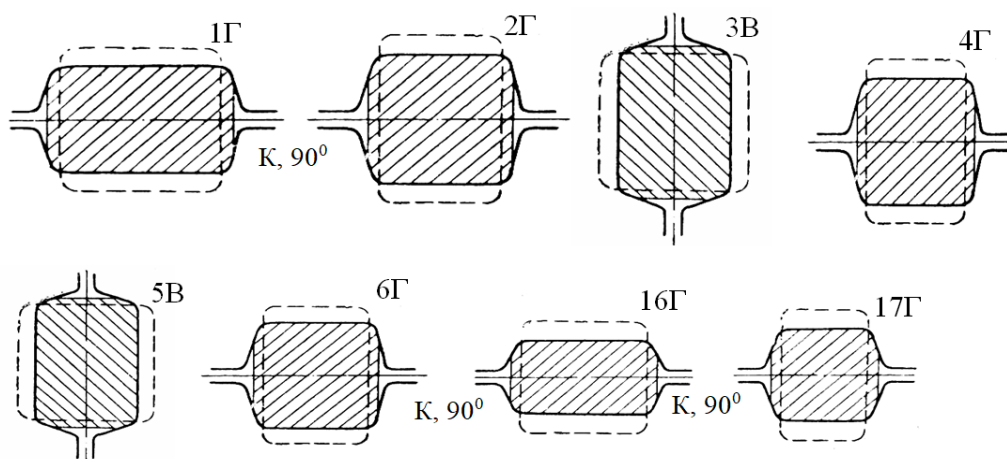


Рисунок 1 Действующая на крупносортном стане «600» система ящичных калибров

При прокатке квадратной заготовки на крупносортном стане «600» задействованы от семи до восьми клеток стана, расположенных в первой и третьей линиях. Технологию бескалибровой прокатки предлагается применить для непрерывной группы клеток, т. е. клеток 2Г, 3В, 4Г, 5В, 6Г (рис. 2). Номинальные диаметры валков, применяемых в этих клетях при прокатке квадрата 100×100 мм, соответствующие (согласно схеме прокатки): 2Г — 955 мм, 3В — 785 мм, 4Г — 765 мм, 5В — 747 мм, 6Г — 752 мм. Переход на прокатку на гладкой бочке провоцирует уменьшение рабочего диаметра валков. Если исходить из условия равного перекося шпинделей

для новых и многократно переточенных валков, максимальный рабочий диаметр валков с гладкой бочкой в первом приближении может быть принят катающему диаметру калиброванных валков (ящичные калибры), что можно выразить следующими значениями: 2Г — 740 мм, 3В — 630 мм, 4Г — 608 мм, 5В — 635 мм, 6Г — 630 мм.

Минимальные диаметры валков с учетом переточки могут быть определены с помощью допустимого коэффициента переточки, который, по данным [1, 8], для сортовых станов составляет $k=0,08 \div 0,10$. Значения D_{\min} для рассматриваемых клеток примут вид: 2Г — 667 мм, 3В — 567 мм, 4Г — 547 мм, 5В — 572 мм, 6Г — 567 мм.

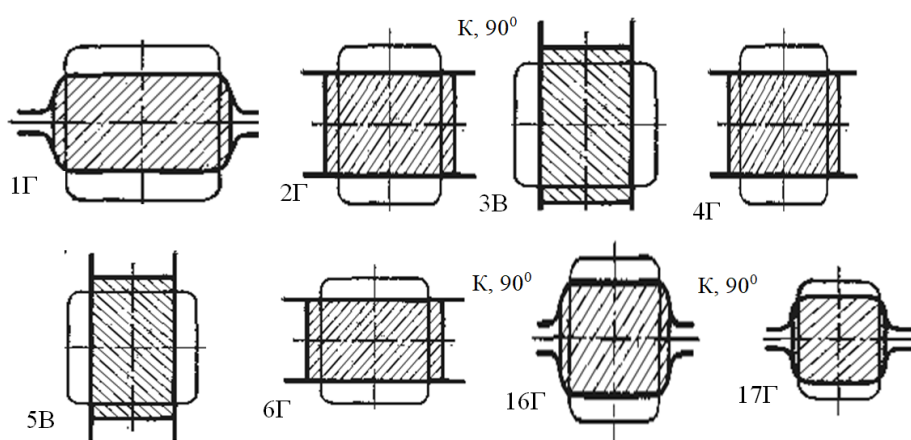


Рисунок 2 Предлагаемая для крупносортного стана «600» система «ящичный калибр — гладкая бочка»

Переход на бескалибровую прокатку приводит к уменьшению диаметра валков и, как следствие, к уменьшению массы рабочих валков, что приводит к значительной экономии при закупке новых валков. Так, снижение массы валков для рассматриваемых клетей составит (разница объема бочки для калиброванных валков и с гладкой бочкой): 2Г — 36,7 % (2,35 т), 3В — 27,5 % (0,74 т), 4Г — 32,5 % (1,32 т), 5В — 24,3 % (0,64 т), 6Г — 27,5 % (1,11 т). В клетях 2Г, 3В устанавливаются стальные валки, в клетях 4Г, 5В, 6Г — чугунные или стальные.

Прокатка на гладкой бочке характеризуется универсальностью, поскольку за счет изменения раствора валков можно изменять обжатия на гладкой бочке, не требуется перевалок при переходе на другой профиль; до 30 % повышается использование рабочей поверхности валка. Технология прокатки на гладкой бочке менее чувствительна к нестабильности уширения заготовки, к изменениям температуры металла, к химическому составу прокатываемой стали, к условиям трения на контакте. Бескалибровая прокатка характеризуется меньшими затратами энергии на деформацию, чем прокатка в калибрах, это, в свою очередь, приводит к уменьшению износа валков и опор. Немаловажное значение имеет прокатка на гладких валках для удаления окалины с прокатываемой полосы. При прокатке на гладкой бочке более интенсивно протекает процесс поперечного течения металла, что способствует обновлению поверхностных слоев, которое приводит к уменьшению размеров волосовин и трещин [5].

Углы захвата на гладкой бочке меньше, чем в прямоугольных калибрах, кроме того, здесь происходит свободное уширение. Таким образом, по интенсивности деформаций и вытяжек прокатка на гладкой бочке уступает системе прямоугольных калибров, однако универсальность системы «гладкая бочка», сокращение перевалок и хорошее удаление окалины имеет перспективы применения [1].

При уточнении режима обжатий по отдельным проходам необходимо руководствоваться углами захвата, уширением, состоянием поверхности валков и скоростью прокатки.

На основе проведенных исследований для рядовых марок стали угол захвата составляет 25–27°. Ожидаемое уширение при прокатке на гладкой бочке можно рассчитать по формуле А. П. Чекмарева [1, 2]:

$$\Delta b = \frac{2b_{cp} \cdot \Delta h \cdot k_{огр}}{(H + h) \cdot \left[1 + (1 + \alpha) \cdot \left(\frac{b_{cp}}{R \cdot \alpha} \right)^n \right]},$$

где H и h — высота раската до и после прокатки; Δh — абсолютное обжатие; b_{cp} — средняя ширина очага деформации; α — угол захвата; $R \cdot \alpha$ — дуга захвата; $n=1$ — при $b_{cp} < R \cdot \alpha$ — узкий очаг деформации; $n=2$ — при $b_{cp} > R \cdot \alpha$ — широкий очаг деформации; $k_{огр}$ — коэффициент ограничения, который колеблется в пределах 0,6–0,8 (при свободном уширении $k_{огр} = 1$).

Расчетные значения уширения (Δb) по клетям принимают значения: 2Г — 16 мм, 3В — 13,8 мм, 4Г — 13,5 мм, 5В — 20,1 мм, 6Г — 19,7 мм.

За счет снижения углов захвата на гладкой бочке, по сравнению с прокаткой в ящичных калибрах, уменьшаются абсолютные обжатия в каждой клетке рассматриваемой непрерывной группы. Следствием этого является то, что происходит увеличение промежуточного сечения раската, передаваемого на третью линию прокатки в предчистовую клеть (16Г), с 120×133 мм до 148×159 мм. Данное изменение размеров требует внести некоторую корректировку в калибровку двух последних клетей предчистовой и чистовой, увеличив обжатия, так как при действующей калибровке эти клетки являются недогруженными. Также необходимы некоторые изменения в технологии прокатки данной заготовки на первом этапе, например, применить насечку или наварку в клетке 2Г, что позволит

повысить захватывающую способность валков и угол захвата может быть увеличен до 30–32° [1]. В последующих клетях непрерывной группы угол захвата можно повысить за счет заталкивающего действия предыдущих клетей (прокатка с подпором), но при этом необходимо учитывать, что это может привести к потере устойчивости заготовки. Таким образом, повышение углов захвата приведет к росту абсолютных обжатий по клетям и приблизит промежуточное поперечное сечение раската к необходимому.

Как известно, уширение по высоте раската распределяется неравномерно. Уширение по контактной поверхности металла с валками затруднено подпиранием действием поперечных сил трения, создающих зону затрудненной деформации вблизи контактной поверхности. По мере удаления от контактных поверхностей влияние этих сил падает, и уширение постепенно увеличивается. К контактным зонам затрудненной деформации примыкают зоны максимальной деформации. В этих приконтактных зонах уширение приобретает максимальное значение на расстоянии $0,9\Delta h$ (Δh — абсолютное обжатие) от контактной поверхности, а затем плавно убывает к середине [1, 2, 8]. Средняя зона уширяется мало или почти не уширяется. При таком характере распределения уширения в первых пропусках боковой контур раскатов имеет вогнутую форму. По мере уменьшения толщины раската уширение в средней зоне от пропуска к пропуску увеличивается и в последних пропусках контур боковых граней может приобретать выпуклую, бочкообразную форму.

В. М. Клименко [1] приводит данные практических исследований по неравномерной деформации заготовок по высоте, в результате которой и уширение по высоте раската распределяется неравномерно. Автором определено влияние различных факторов на характер уширения. Определена зависимость показателя уширения $\Delta b/\Delta h$ от отношения высоты раската H к длине очага

деформации l_d . При $\frac{H}{l_d} > 1,8$ происходит

двойное бочкообразование раската.

Для условий бескалибровой прокатки предварительные параметры очага деформации (H/l_d) составляют: 2Г — 1,95, 3В — 1,7, 4Г — 1,93, 5В — 1,36, 6Г — 1,57. Основываясь на результатах исследований [1],

при $\frac{H}{l_d} \approx 5$ (наблюдается выраженное

двойное бочкообразование) показатель

уширения у контактной поверхности составляет $\frac{\Delta b}{\Delta h} \approx 0,5$, при $\frac{H}{l_d} \approx 1,8 \div 1,3$ на-

блюдается равномерное уширение с пока-

зателем уширения $\frac{\Delta b}{\Delta h} \approx 0,3$. Исходя из

этого, можно сделать предположение, что при рассматриваемых условиях бескалибровой прокатки, в клетях 2Г и 4Г, когда $H/l_d = 1,93 \div 1,95$, будет наблюдаться двойное бочкообразование с показателем уширения в приконтактной зоне (на расстоянии $0,9\Delta h$ от контактной поверхности) $\Delta b/\Delta h = 0,41 \div 0,43$ и в центральной части заготовки по высоте — $\Delta b/\Delta h = 0,22 \div 0,23$. В клетях 3В, 5В и 6Г при $H/l_d = 1,36 \div 1,7$ уширение по высоте примерно равномерное, с показателем уширения $\Delta b/\Delta h = 0,3 \div 0,38$ [1].

Проведенные теоретические исследования указывают, что предложенное технологическое решение по применению бескалибровой прокатки для условий крупносортового стана имеет достаточную эффективность с целью его промышленной реализации. Использование процесса бескалибровой прокатки сортовых заготовок позволит расширить сортамент готовой продукции, получаемой из одной и той же или разных исходных заготовок. Удельная производительность стана в этом случае за счет снижения количества перевалок и времени перестройки на другой размер может быть повышена на 10–19 %; повышение стойкости валков до 4 раз; рост использования длины бочки на 30–40 %;

уменьшение массы валка с соответствующим снижением их стоимости; снижение затрат времени на устранение аварий в черновой группе клетей; одни и те же валки могут использоваться в разных клетях; исключаются дефекты, связанные с незаполнением или переполнением калибров металлом (закаты, лампасы и др.); упрощается конструкция вводной и выводной проводковой арматуры и не требуется высокая точность при ее установке. Все это свидетельствует о целесообразности достаточно широкого применения рассмотренного технического решения в области проектирования технологических режимов работы и калибровок рабочих валков в условиях крупносортовых и непрерывно-заготовочных станов.

Разработана принципиально новая технология бескалибровой прокатки квадратных заготовок в условиях крупносортового

стана. Реализация предложенного решения способствует расширению сортамента, снижению себестоимости, повышению использования рабочей поверхности валка; повышению производительности стана за счет снижения затрат времени на перевалку и настройку стана; сокращению простоев стана при переходе на другой профиль и, как следствие, повышению эффективности конкретных промышленных производств.

Специфика условий реализации бескалибровой прокатки, а именно наличие трехмерного пластического течения металла со свободным уширением, свидетельствует о необходимости дальнейших исследований процесса в направлении количественной оценки известных зависимостей и дальнейшего развития численных математических моделей локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла.

Библиографический список

1. Чекмарев, А. П. Калибровка прокатных валков [Текст] / А. П. Чекмарев, М. С. Мутьев, Р. А. Машковцев. — М. : Металлургия, 1971. — 512 с.
2. Прокатка и калибровка [Текст] : справочник. В 6-ти т. Т. 1. Основы теории калибровки. Калибровка блюмов и заготовки, кругов и шестигранников, квадратной стали, проволоки и арматуры / Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, С. Е. Меркурьев ; под. ред. Б. М. Илюковича. — Днепропетровск : РВА «ДніпроВАЛ», 2002. — 506 с.
3. Бескалибровая прокатка сортовых профилей [Текст] / Л. Е. Кандауров, Б. А. Никифоров, А. А. Морозов [и др.]. — Магнитогорск : Магнитогорский дом печати, 1998. — 128 с.
4. Разработка технологии бескалибровой прокатки сортовых полосовых профилей в условиях мелкосортных станов [Текст] / В. И. Засельский, А. В. Сатонин, Д. Е. Букотин, В. С. Найденов, М. Г. Коренко, В. Ю. Григорчук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. — Харків : НТУ «ХПІ», 2012. — № 46 (952). — С. 148–153.
5. Токарев, В. А. Прокатка в валках без калибров [Текст] / В. А. Токарев, А. П. Марков // Черная металлургия : бюл. института «Черметинформация». — 1983. — № 18. — С. 11–16.
6. Опыт прокатки заготовок на гладкой бочке [Текст] / Ф. Флеминг, Р. Куне и др. // Металлургическое производство и теория металлургических процессов. — 1993. — С. 98–102.
7. Кандауров, Л. Е. Рациональные режимы бескалибровой прокатки [Текст] / Л. Е. Кандауров, Б. А. Никифоров, А. К. Белан // Известия вузов. Черная металлургия. — 1996. — № 11. — С. 35–37.
8. Эксплуатация валков обжимных и сортовых станов [Текст] / Н. М. Воронцов, В. Т. Жадан, Б. Я. Шнееров и др. — М. : Металлургия, 1973. — 288 с.

© Горецкий Ю. В.

© Денищенко П. Н.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТИ Должиковым В. В., к.т.н., пом. нач. сортопрокатного цеха по технологии филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» Чичканом А. А.

Статья поступила в редакцию 21.09.2021.

Goretskiy Yu. V., PhD in Engineering Denishchenko P. N. (DonSTI, Alchevsk, LPR)

DEVELOPMENT OF BLANKING TECHNOLOGY IN CONDITIONS OF HEAVY SECTION MILLS USING GAUGELESS ROLLING

Based on analyzing the existing technologies of large billets production, the expediency of using a gaugeless rolling process that provides an expansion of the assortment and a reduction in the cost of finished metal products is shown. In relation to the heavy section mill “600” of the branch № 12 of ZAO “Vneshtorgservis”, a new scheme for rolling a square blank is proposed, providing a sufficient degree of its efficiency.

Key words: *billets, gaugeless rolling, box gauges, grooving of working rolls, heavy section mill, assortment.*