

Рис. 5. Динамика роста корки шлака при различной его толщине: 1 – 0,05 м; 2 – 0,10 м; 3 – 0,15 м; 4 – 0,20 м; 5 – 0,25 м

металла в ковше при образовании корочки шлака. Рекомендуется поддерживать толщину слоя шлака равной 0,15 – 0,20 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабаков З.К., Пахолкова М.А. – В кн.: Материалы XI Межвузовской заочной научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. – Череповец: изд. ЧГУ, 2010. С. 104 – 108.
2. Самойлович Ю.А., Крулевецкий В.А., Горяинов С.А., Кабаков З.К. Тепловые процессы при непрерывном литье стали. – М: Metallurgy, 1982. – 152 с.

© 2013 г. З.К. Кабаков, М.А. Пахолкова
Поступила 24 мая 2012 г.

УДК 621.771.26

А.Р. Фастыковский

Сибирский государственный индустриальный университет

ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОСЫ ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМЫ ПРОКАТНАЯ КЛЕТЬ – НЕПРИВОДНОЙ ИНСТРУМЕНТ

Аннотация. Показана необходимость учета продольной устойчивости полосы при работе системы прокатная клеть – неприводной инструмент. Предложены зависимости для определения расстояния между прокатной клетью и неприводным инструментом, обеспечивающего продольную устойчивость полосы. Рассмотрены с точки зрения выполнения условия продольной устойчивости процессы: прокатки в приводной-неприводной клетки, прокатки-разделения с использованием неприводного делительного инструмента и даны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: продольная устойчивость полосы, прокатная клеть, делительный инструмент, очаг деформации.

LONGITUDINAL STABILITY OF THE BAND AT THE SYSTEM OF ROLLING STAND – NON-DRIVE TOOL

Abstract. The necessity of taking into account the longitudinal stability of band during the work of the system of rolling stand – non-drive tool is shown. Proposed to determine the dependence of the distance between the roll cage and non driven tools, which provides longitudinal stability bars. Considered from the perspective of the condition of the longitudinal stability of processes: rolling in the drive – non drive cage, rolling-the separation of the non-drive dividing tools and given appropriate recommendations.

Keywords: longitudinal stability of the band, rolling stand, separation tool, deformation.

В последнее время получили развитие методы обработки металлов давлением, предусматривающие использование наряду с прокатной клетью неприводного инструмента, работа которого обеспечивается использованием возможностей сил трения в очаге деформации. К наиболее известным методам, работающим по такой схеме, относят прокатку в приводной-неприводной клетки [1, 2], прокатку-разделение с использованием неприводного инструмента [3, 4]. Необходимая мощность для совершения работы неприводным инструментом передается от приводной клетки посредством продольной подпирающей силы, величина которой достигает 0,3 – 0,5 от усилия прокатки. При этом, учитывая, что неприводной инструмент находится на некотором расстоянии от приводной клетки, возникает

опасность потери продольной устойчивости полосы в промежутке между приводной клетью и неприводным инструментом. Несмотря на важность, вопрос продольной устойчивости полосы при использовании неприводного инструмента в литературе освещен недостаточно, что в свою очередь затрудняет определение рациональной компоновки оборудования, допустимых режимов обработки.

Рассмотрим вопрос определения продольной устойчивости на примере прокатки в приводной-неприводной клетки. Такой прием обработки характеризуется большими значениями продольной силы, необходимой для деформирования в неприводной клетки, что обуславливает возможность потери продольной устойчивости полосы в промежутке между клетями. Для определения

условий продольной устойчивости уподобим участок полосы, заключенный между приводной и неприводной клетями, нагруженному продольным усилием стержню и воспользуемся известной зависимостью Эйлера [5] для определения критической силы ($P_{кр}$):

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(kl)^2}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости первого рода, МПа; J_{\min} – минимальный момент инерции сечения, мм⁴; k – коэффициент приведения длины; l – заземленная длина, мм.

Возможность использования формулы Эйлера обоснована особенностью реализации рассматриваемого метода обработки, который использует напряжение подпора (σ_1) меньше величины сопротивления деформации (σ_s), что позволяет рассматривать изгиб полосы при потере устойчивости как упругий. С использованием зависимости (1) можно определить критическое напряжение ($\sigma_{кр}$), при котором полоса теряет устойчивость:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 Ei_{\min}^2}{(kl)^2}, \quad (2)$$

где i_{\min}^2 – минимальный радиус инерции, мм².

Зная необходимую для деформирования в неприводной клетке продольную силу, можно, пользуясь уравнением (2), определить максимально допустимое расстояние между приводной и неприводной клетями, обеспечивающее продольную устойчивость полосы. Вместо критического напряжения подставим напряжение σ_1 от продольной силы и, решив уравнение (2) относительно длины участка между приводной и неприводной клетями (l_{\max}), получим

$$l_{\max} = \frac{\pi \sqrt{Ei_{\min}^2}}{\sqrt{\sigma_1 k}}. \quad (3)$$

При использовании зависимости (3) необходимо определиться с коэффициентом приведения длины, который изменяется от 0,5 до 2,0 в зависимости от характера закрепления концов полосы [5]. Проведенные лабораторные эксперименты показали, что при использовании многвалкового калибра подходит схема с коэффициентом $k = 0,5$, а при использовании двух гладких валков больше применима схема с коэффициентом $k = 0,7$.

Используя зависимость (3), проведем аналитические исследования влияния параметров процесса деформирования на величину максимально доступного расстояния между приводной и неприводной клетями, обеспечивающего продольную устойчивость. В качестве переменных величин рассмотрим меняющуюся от 1000 до 1150 °С температуру и минимальный радиус

инерции i_{\min}^2 , значения которого составили 75, 133, 208, 300, 408, 533 мм² (соответствующие квадраты 30, 40, 50, 60, 70, 80 мм) при постоянной продольной силе 120 кН. Используемые в расчетах механические характеристики определяли из литературы [6]. Результаты исследований приведены на рис. 1, из которого видно, что максимально допустимое расстояние, обеспечивающее продольную устойчивость, увеличивается с уменьшением температуры в рассматриваемых пределах в 2 раза, с увеличением минимального радиуса инерции (сечения соответствующего квадрата) в 6 – 7 раз.

Используя рис. 1, оценим перспективность прокатки в приводной-неприводной клетке с точки зрения продольной устойчивости. Для этого на графике проведена дополнительная горизонтальная линия, показывающая расстояние, удобное для размещения неприводной клетки на непрерывных мелкосортных и среднесортных станах. Расстояние было определено с учетом размещения неприводной клетки между приводными клетями в группе. Это наиболее рациональное место, позволяющее обеспечить работу валковой арматуры и возможность перехода с калибра на калибр. Согласно приведенным на рис. 1 данным, с учетом 30 % запаса продольной устойчивости можно сформулировать вывод, что с точки зрения обеспечения продольной устойчивости реализовать прокатку в приводной-неприводной клетке целесообразно при деформировании сечений, сопоставимых с квадратом 65 мм и выше. Для большинства сортовых станов это черновые клетцы.

Как следует из зависимости (3), на величину допустимого расстояния, обеспечивающего продольную устойчивость, оказывают влияние два основных фактора: силовые параметры (продольная сила или напряжение) и геометрия сечения полосы (минимальный радиус инерции сечения). При использовании неприводных клетей на крупносортных станах, в черновых группах среднесортных и мелкосортных станов условие устойчивости в промежутке между приводной и непривод-

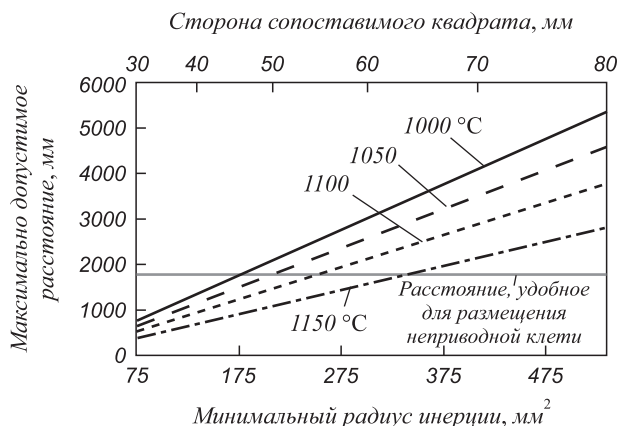


Рис. 1. График зависимости максимально допустимого расстояния между приводной и неприводной клетями, обеспеченного условием продольной устойчивости от температуры и минимального радиуса инерции

ной клетями, как правило, выполняется, так как сечение полосы велико. При размещении неприводных клетей в чистовых группах в качестве калибрующих условие устойчивости может не выполняться, что обусловлено небольшой площадью поперечного сечения полосы. Однако при одной и той же площади поперечного сечения минимальный радиус инерции может быть разным, что меняет условие продольной устойчивости и вызывает необходимость изучения данного факта с целью выявления наиболее перспективных режимов и профилей. На рис. 2 приведены полученные аналитически графики зависимости минимального радиуса инерции (i_{\min}^2) от формы и площади сечения различных по форме профилей. Видно, что у фасонных профилей минимальный радиус инерции в 1,4 – 2,0 раза больше, чем у кругов и квадратов; минимальные значения этого параметра – у полос с отношением ширины к толщине $b/h = 5$. Таким образом, использование неприводных клетей в чистовых группах в качестве калибрующих целесообразно при получении угловой равнополочной стали от № 6,3 и более, швеллеров и балок – от № 12 и выше, кругов – диаметром более 45 мм, квадратов – со стороной 40 мм и более, рельсов – от Р38 до Р75. При получении полос применение неприводных клетей возможно для осуществления ребровых проходов с целью контроля ширины полосы при отношении $b/h < 4$.

При реализации процесса прокатки-разделения с использованием неприводного инструмента также необходимо учитывать условие продольной устойчивости полосы, что связано с малой площадью поперечного сечения сочлененного профиля (небольшой величиной минимального радиуса инерции). Для этой цели подходит зависимость (3) с той лишь разницей, что напряжение подпора (σ_1) определяется с учетом способа разделения (передавливанием, разрывом, резанием). Так, с учетом использования разделения резанием, при котором требуются минимальные затраты энергии, зависимость (3) можно записать в виде

$$l_{\max} = \frac{\pi \sqrt{2i_{\min}^2 ES_{\text{соч}}}}{kh_{\text{пер}} \sqrt{k_1 k_2 k_3 \sigma_s \varepsilon_n (2 - \varepsilon_n)}}, \quad (4)$$

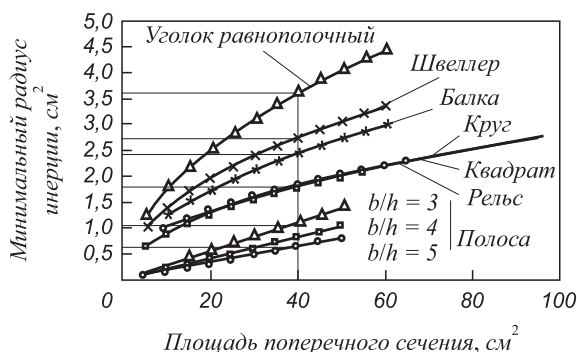


Рис. 2. График зависимости величины минимального радиуса инерции от формы и площади поперечного сечения сортового профиля

где $S_{\text{соч}}$ – площадь поперечного сечения сочлененного профиля, мм²; k_1 – коэффициент, учитывающий твердость разрезаемого материала ($k_1 = 0,6$ и $k_1 = 0,75$ соответственно для мягких и твердых материалов); $k_2 = 1,2 - 1,3$ – коэффициент, учитывающий повышение усилия резания в случае притупления ножей; $k_3 = 1,1 - 1,2$ – коэффициент, учитывающий увеличение бокового зазора между дисковыми ножами при длительном зазора между дисковыми ножами при длительном их использовании; ε_n – коэффициент надреза; $h_{\text{пер}}$ – толщина разделяемой перемычки, мм.

В случае невозможности изменения расстояния l_{\max} при изменении условий разделения вопрос продольной устойчивости можно решить подбором рациональной толщины перемычки между сочлененными профилями. Для определения допустимой толщины перемычки (h_{\max}) при разделении резанием, обеспечивающей продольную устойчивость, при постоянном расстоянии между клетью, формирующей сочлененный профиль, и неприводным делительным инструментом, можно использовать формулу

$$h_{\max} = \frac{\pi \sqrt{2i_{\min}^2 ES_{\text{соч}}}}{kl_{\max} \sqrt{k_1 k_2 k_3 \sigma_s \varepsilon_n (2 - \varepsilon_n)}}. \quad (5)$$

Использование других известных способов разделения при прочих равных условиях изменит величины l_{\max} , h_{\max} , что необходимо учитывать при компоновке оборудования. Так, освоение технологии прокатки-разделения в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» вызвало необходимость исследования способа разделения на допустимое расстояние, обеспечивающее продольную устойчивость полосы. Результаты расчетов для арматуры № 10 и № 12 представлены на рис. 3, а, б.

Согласно приведенным данным, наилучшие результаты с точки зрения продольной устойчивости можно получить, используя способ разделения резанием. Так, с учетом 30 % запаса надежности при толщине перемычки до 2 мм для арматуры № 10 допустимое расстояние не должно превышать 750 мм, что не вызывает трудности при размещении делительного инструмента. При тех же условиях, но разделяя полосу разрывом, допустимое расстояние не должно превышать 315 мм, что усложняет задачу по компоновке делительного инструмента.

Таким образом, используя полученные зависимости, можно оценить продольную устойчивость полосы при работе системы прокатная клеть – неприводной инструмент и с учетом этого подобрать возможную компоновку оборудования и допустимые режимы реализации.

Выводы. Получены зависимости для определения допустимого расстояния между прокатной клетью и неприводным инструментом, обеспечивающего условие продольной устойчивости полосы при реализации

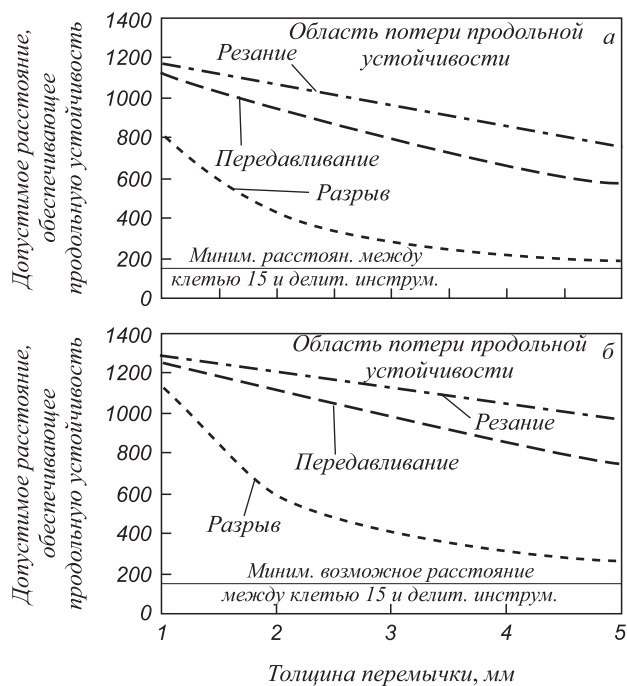


Рис. 3. Анализ условий продольной устойчивости в клетях 15 при реализации прокатки-разделения с использованием неприводного делительного инструмента в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

процессов прокатки в приводной-неприводной клетях, прокатки-разделения с использованием неприводного инструмента. Установлено, что с учетом условия

продольной устойчивости процесс прокатки в приводной-неприводной клетях целесообразно осуществлять в черновых клетях. Использование неприводных клетей в чистовых группах для контроля размеров, подгиба полок фланцевых профилей возможно для угловых профилей от № 6,3 и выше, а также балок, швеллеров от № 12 и выше, кругов диаметром более 45 мм, квадратов со стороной более 40 мм, рельсов Р38 – Р75. Определены условия продольной устойчивости при реализации процесса прокатки-разделения неприводным инструментом в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в зависимости от толщины перемышки сочлененного профиля и способа разделения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жучков С.М., Лохматов А.П., Кулаков Л.В., Сивак Э.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1998. № 2. С. 21 – 24.
2. Фастыковский А.Р., Перетягко В.Н. // Металлург. 2002. № 5. С. 48 – 50.
3. Жучков С.М. // Сталь. 1997. № 7. С. 37 – 41.
4. Фастыковский А.Р., Перетягко В.Н. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2002. № 12. С. 25 – 28.
5. Федосеев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. – 512 с.
6. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник. – М.: Металлургия, 1983. – 351 с.

© 2013 г. А.Р. Фастыковский
 Поступила 26 апреля 2012 г.