

УДК 621.771.01

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ПОЛОС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВАЛКАХ

Е.Е. Чванова, Е.А. Шкуратов

Одним из видов несимметрии при прокатке полос и листов является задача полосы под углом. В ряде случаев это делается специально, а в ряде случаев является результатом неправильной настройки. Влияние угла задачи полосы на технологические параметры процесса прокатки изучены недостаточно. В связи с этим проведено экспериментальное исследование и получены зависимости распределения обжатий по высоте полосы и энергосиловых параметров процесса от величины угла задачи полосы в валки. В процессе прокатки толстых полос применяется обжатие кромок в вертикальных валках. В этом случае пластическая деформация проникает не на всю глубину очага деформации и применение известных зависимостей для расчета энергосиловых параметров становится невозможным. Поэтому разработана методика определения технологических параметров процесса прокатки в вертикальных валках, основана на методе линий скольжения.

Ключевые слова: прокатка, несимметрия, валки, деформация, обжатие, методика, линии скольжения.

При производстве толстой горячекатаной полосы применяют различные схемы расположения основного и вспомогательного оборудования. Современные толстолистовые станы содержат в своем составе, как правило, клетки с вертикальными и горизонтальными валками. Прокатка в вертикальных валках обеспечивает тщательную проработку кромки полосы, снижает расходный коэффициент металла, увеличивает выход годного. Прокатка в горизонтальных валках может осуществляться с задачей полосы под углом. Это происходит либо из-за неправильной настройки оси стана, либо в результате работы луперов в межклетевых промежутках непрерывных станов.

Характер распространения пластической деформации у обоих процессов различен и до сих пор не до конца изучен. Особый интерес при этом представляет влияние имеющихся особенностей на усилие прокатки.

Большинство из существующих в настоящее время зависимостей для определения усилия прокатки выведены из предположения о том, что пластическая деформация проникает на всю глубину деформируемой полосы в геометрическом очаге деформации. В то же время при прокатке с малыми обжатиями (обжатие кромок полосы при производстве толстых листов) это условие не соблюдается.

Наиболее подходящим методом определения усилия, в данном случае, является метод линий скольжения [1]. Данный метод применяется для решения плоских и осесимметричных задач течения идеально-пластичной среды. Однако он имеет свои недостатки, один из которых заключается в неоднозначности построения сетки линий скольжения. Поэтому для построения достоверной математической модели процесса прокатки полосы с малыми обжатиями проведено экспериментальное исследование по определению фактической формы очага деформации.

Для изучения характера пластической деформации в эксперименте использовались свинцовые заготовки с нанесенной на боковую поверхность координатной сеткой. Ограничились сеткой с квадратной ячейкой размером стороны два миллиметра. Прокатку образцов осуществляли с обжатиями 2 %, 5 %, 10 %, 16 %, с двойной кратностью повторения опытов. При этом также фиксировали усилие прокатки.

С целью повышения точности результатов координатная сетка, полученная на недокатах, сканировалась и затем обрабатывалась на компьютере с использованием приложения КОМПАС-3D. В итоге были определены, для разных обжатий, фактические границы очага деформации, представленные на рисунке 1. По результатам эксперимента также получена зависимость глубины проникновения пластической деформации от степени обжатия (рис. 2).

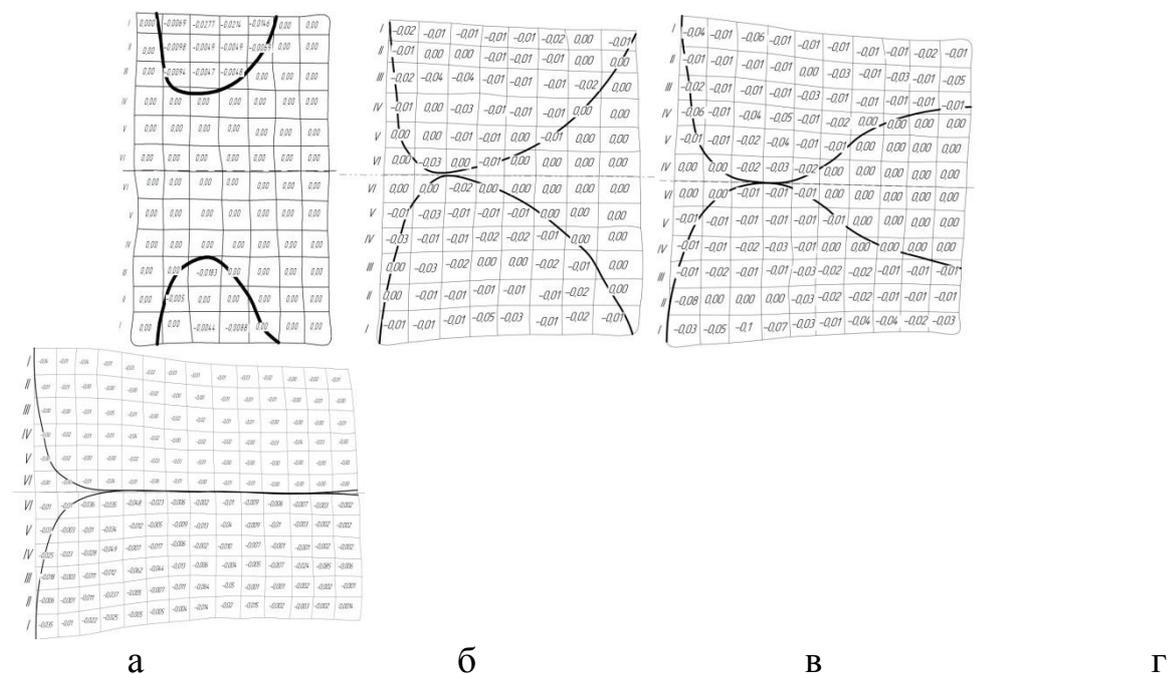


Рис. 1. Форма очага деформации при прокатке полосы:
а – при обжатии 2 %; б – при обжатии 5 %; в – при обжатии 10 %;
г – при обжатии 16 %.

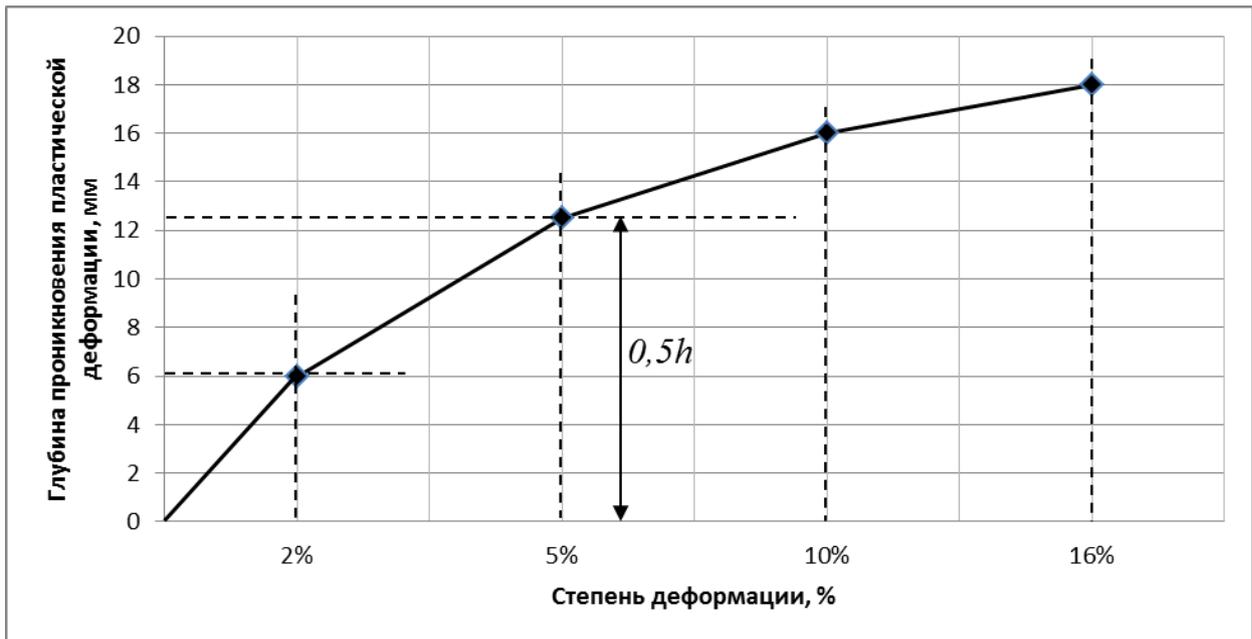


Рис. 2. Зависимость глубины проникновения пластической деформации от обжатия

Из рисунков 1,2 следует, что пластическая деформация не проникает на всю глубину при обжатии до 5 %, а при обжатии от 5 % до 16 % пластическая деформация проникает на всю глубину частично.

В общем случае при не полном проникновении пластической деформации на всю глубину геометрического очага деформации, сетку линий скольжения можно представить так, как показано на рисунке 3. Выполненные экспериментальные исследования позволили конкретизировать форму сетки линий скольжения для случая процесса прокатки с обжатиями до 5 %.

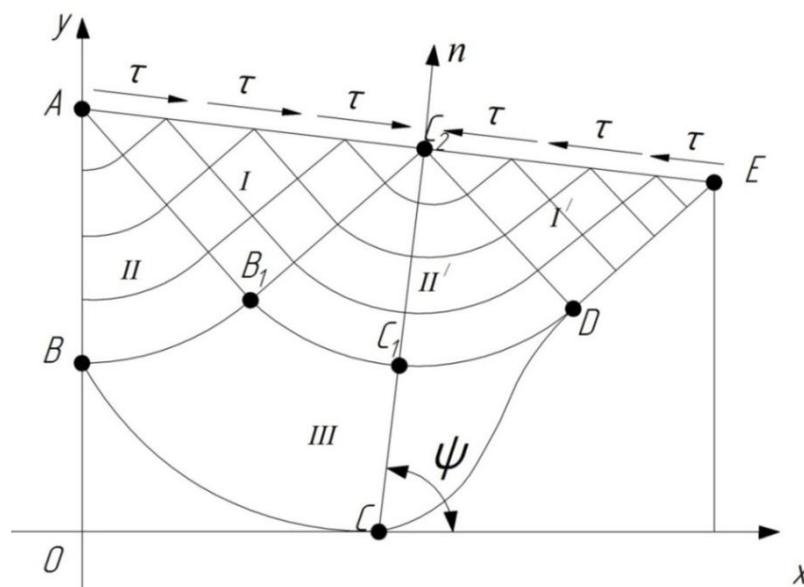


Рис. 3. Сетка линий скольжения

При построении сетки линий скольжения учитываются граничные условия на линии АЕ [2]:

$$\begin{aligned}\varphi &= \psi \pm \frac{1}{2} \cdot \arccos \frac{f_{\tau}}{\tau_s} + m\pi; \\ \sigma &= f_n + \tau_s \cdot \sin 2(\varphi - \psi);\end{aligned}\tag{1}$$

где φ – угол между касательной к линии скольжения и осью Ох;

ψ – угол между нормалью к рассматриваемой границе и осью Ох;

f_{τ} – касательное напряжение на рассматриваемой границе;

f_n – нормальное напряжение на рассматриваемой границе;

τ_s – сопротивление деформируемого металла пластической деформации сдвига.

В соответствии с конфигурацией сетки линий скольжения, представленной на рисунке 3, для области I-I решается смешанная задача, для области II-II вырожденная задача Римана, для области III задача Римана.

Совместное решение указанных выше стандартных задач с учетом граничных условий позволили получить формулу для определения усилия прокатки с малыми обжатиями, которая имеет вид:

$$P = \left[\left(-0,58\sigma_s \left[\sin\left(-\frac{1}{2} \cdot \arccos \mu - \alpha_k\right) + \left(1 + \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{\Delta h}{2l_{o,d}}\right) - \arccos \mu\right) \right] \right)^2 + (0,58\sigma_s \mu)^2 \right]^{0,5}\tag{2}$$

Сравнивая результаты расчета по полученной формуле с экспериментальными данными (рисунок 4), можно сделать вывод, что погрешность расчета при степенях деформации от 2 % до 5 % не превышает 7 %. При более высоких степенях деформации погрешность увеличивается, так как в этом случае сетка линий скольжения должна иметь другую конфигурацию. Тем не менее полученная формула позволяет определить усилие при обжатии кромок полосы с высокой достоверностью.

При прокатке в горизонтальных валках, задача металла в валки как было отмечено выше, может осуществляться при отклонении симметрии относительно линии прокатки. В настоящее время известно достаточно много работ [5, 6, 7 и др.], посвященных теоретическому анализу процесса несимметричной прокатки.

Отличительная особенность процесса несимметричной прокатки обусловлена тем, что схемы действия сил на прокатываемую полосу, условия на контакте и скоростные условия в зонах обжатия, относящихся к каждому валку, будут различны. Следует отметить, что наряду с перечисленными выше причинами задачи полосы под углом, в настоящее время ещё функционируют прокатные станы где имеет место технологически целенаправленная задача полосы под определенным углом. Такой

способ применяется, в частности, на станах трио Лаута и на других станах, оборудованных подъемно-качающимися столами.

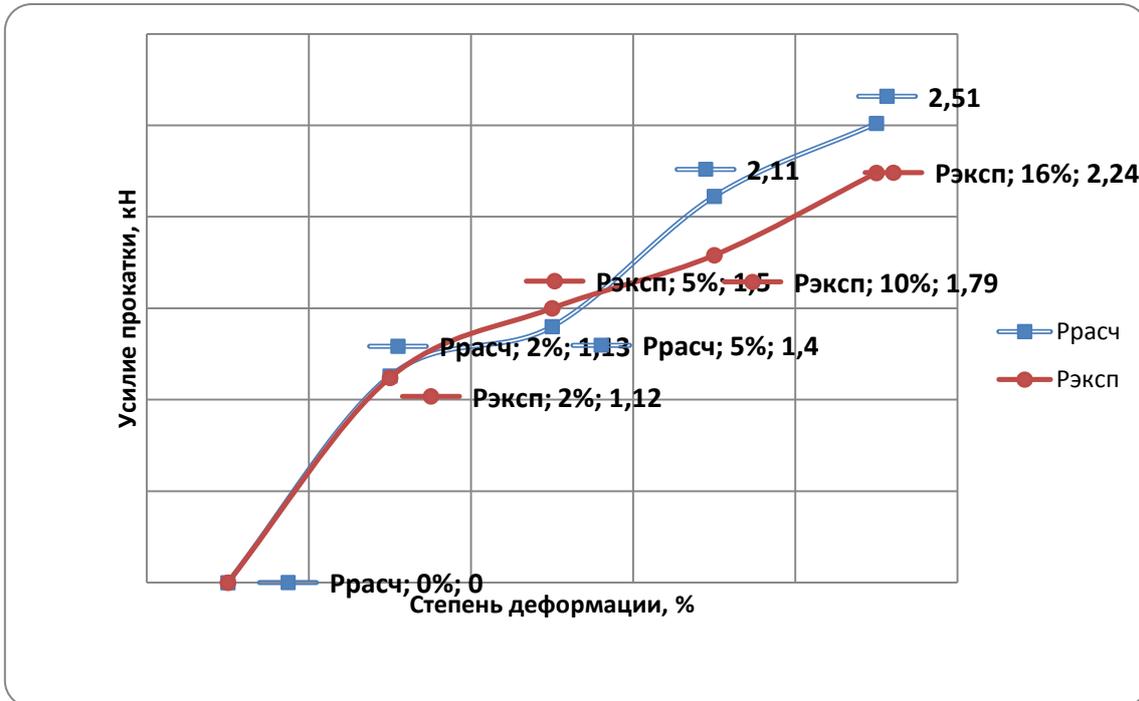


Рис. 4. Расчетное и экспериментальное значение усилия прокатки

В работах [8, 9, 10] авторы обращают внимание на прокатку в валках неравного диаметра с задачей полосы под углом, но делают лишь теоретические выводы, не приводя каких-либо закономерностей. Поскольку влияние угла задачи полосы на технологические параметры процесса прокатки изучены недостаточно, был проведен эксперимент, который позволил установить закономерности изменения деформированного состояния и энергосиловых параметров при прокатке с задачей полосы под углом.

Для изучения характера пластической деформации в эксперименте использовались свинцовые заготовки с нанесенной на боковую поверхность координатной сеткой. Размер ячеек наносимой сетки, кратность повторения опытов, а также фиксируемые параметры процесса были такими же, как и в эксперименте в вертикальных валках, описанном выше.

Для задачи заготовки в валки было изготовлено специальное устройство, позволяющее менять угол задачи. Образцы под прокатку были разделены на 3 группы, каждый образец из группы задавался в валки под определенным углом к горизонту (0° , 15° , 30°).

В ходе проведённых расчетов определен характер распределения деформации при прокатке под разными углами и получены закономерности, представленные на графиках (рисунки 5, 6).

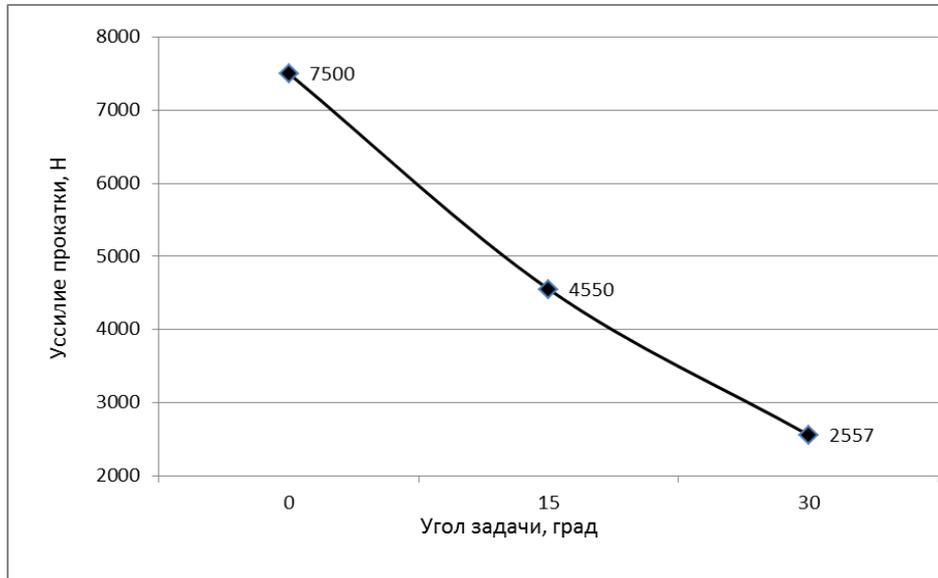


Рис. 5. Влияние угла задачи на усилие прокатки

Из рисунка 5 видно, что угол задачи полосы в валки существенно снижает величину усилия прокатки.

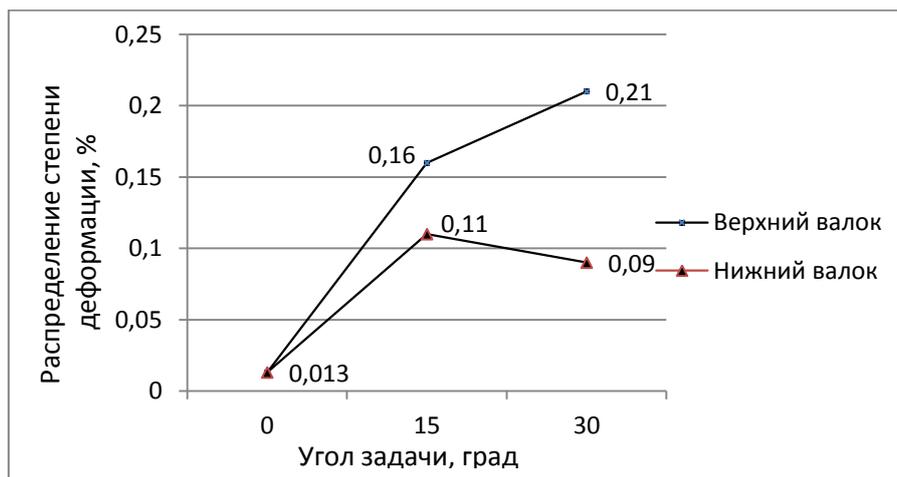


Рис. 6. Распределение степени деформации в зависимости от угла задачи полосы в валки

С другой стороны, как видно из рисунка 6, с увеличением угла задачи увеличивается разница в обжатии со стороны верхнего и нижнего валков. Особенно интенсивно это разница начинает проявляться при углах задачи 15° и выше. В свою очередь, разница в обжатиях, как известно влечет за собой изгиб полосы. Поэтому использовать задачу полосы под углом с целью уменьшения усилия прокатки целесообразно только в первых проходах, когда сохраняется возможность выпрямления полосы к концу прокатки.

Выводы

1. Экспериментальные исследования процесса прокатки высокой полосы с малыми обжатиями показали, что при степенях обжатия менее 5 %, пластическая деформация не проникает на всю глубину полосы для очагов деформации с критериями подобия $h_0/R=0,14$; $B/h_0=0,5$; $\Delta h/R=0,003\dots 0,02$.
2. Погрешность расчетов по математической модели, построенной на основе метода линий скольжения, не превышает 7 %;
3. Выявлено, что с увеличением угла задачи в горизонтальные валки существенно снижается усилие прокатки;
4. Определено распределение обжатия со стороны верхнего и нижнего валков при задачи металла под разными углами к горизонту;
5. Полученные данные могут быть использованы при проектировании технологии и оборудования для деформации толстого листа в вертикальных и горизонтальных валках в линии станов горячей прокатки.

Библиографический список:

1. Колмогоров, В.Л. Механика обработки металлов давлением. Учебник для вузов / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
2. Выдрин, А.В. Алгоритмы решения задач механики сплошных сред методом линий скольжения. Учебное пособие для самостоятельной работы студентов / А.В. Выдрин – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 24 с.
3. Грудев, А.П. Теория прокатки. Учебник для вузов / А.П. Грудев. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
4. Выдрин, А.В. Исследование процесса прокатки высокой полосы с малыми обжатиями / А.В. Выдрин, Е.А. Шкуратов // Вестник ЮУрГУ. – 2013. – С. 46–53.
5. Выдрин, А.В. Усилие при существенно несимметричной прокатке листов / А.В. Выдрин, Е.Е. Чванова // Вестник ЮУрГУ. – 2008. – С. 51–54.
6. Синицын, В.Г. Несимметричная прокатка листов и лент / В.Г. Синицын. – М.: Металлургия, 1984. – 166 с.

7. Грудев, А.П. Теория прокатки / А.П. Грудев. – М.: Metallurgy, 1988. – 240 с.

8. Кузема, И.Д. Скольжение и опережение при прокатке на стане трио Лаута / И.Д. Кузема // Материалы по теории прокатки, ч. VI. – М.: Metallurgizdat, 1960. – С. 30–36.

9. Кузема, И.Д. Условия захвата в станах трио Лаута / И.Д. Кузема // Материалы по теории прокатки, ч. V. – М.: Metallurgizdat, 1960. – С. 23–35.

10. Чекмарев, А.П. Изгиб полосы при прокатке в валках неравного диаметра / А.П. Чекмарев, А.А. Нефедов // Материалы по теории прокатки, ч. V. – М.: Metallurgizdat, 1960. – С. 356–363.

[К содержанию](#)