

УДК 621.771

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ ТОНКИХ ПОЛОС В УСЛОВИЯХ СТАНА 1950 ЛПК ФИЛИАЛА АО «ОМК-СТАЛЬ»

Юрий Михайлович Куренков

*Студент 5 курса*

*кафедра «Оборудование и технологии прокатки»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.В. Мунтин,*

*кандидат технических наук, главный специалист по рулонному прокату ОАО "ВМЗ"*

Мировой опыт производства тонкой (менее 2 мм) полосы на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки показал, что добиться высокого качества и стабильности процесса прокатки возможно только при условии совместного развития оборудования, технологий и автоматизации. При этом автоматизация играет важнейшую роль, т.к. ручное управление параметрами процесса малоэффективно ввиду высоких скоростей прокатки тонкой полосы, которая требует более строгого контроля толщины, поперечного профиля и планшетности.

За обеспечение качества полосы на современных станах отвечают так называемые уровни 1 и 2 автоматизации. [1] При этом второй уровень выполняет свою работу преимущественно до начала прокатки, т.к. в его задачи входит предварительный расчёт установочных параметров (обжатия, скорости, изгибы валков и т.д.). Особенно сильно качество предварительных расчётов влияет на захват полосы и прокатку головного участка. Уже во время прокатки вступает в работу уровень 1, который производит непрерывную регулировку технологических параметров на основе измерений.

Ядром предварительных расчётов уровня 2 является модель определения энергосиловых параметров (в первую очередь силы прокатки). ЭСП при плоской прокатке в наибольшей степени зависят от следующих факторов:

1) Фактического сопротивления деформации, которое в каждом проходе зависит от температуры, скорости деформации и степени деформации. Как правило, для расчёта сопротивления деформации в автоматизированных системах используется метод термомеханических коэффициентов;

2) Трение на контакте полосы и валка. Традиционно для оценки влияния трения используются безразмерные критерии, также может учитываться подача смазки.

Особенностью очага деформации при прокатке тонкой полосы является высокое отношение площади контакта ( $S$ ) к объёму деформируемого металла ( $V$ ). На рисунке 1 показано сравнение параметра  $S/V$  для полос толщиной 12 мм и 1 мм, прокатанных на стане 1950 Литейно-прокатного комплекса АО «ОМК-Сталь» (г. Выкса). Так как работа, которая затрачивается на преодоление сил трения между полосой и валком зависит от площади контакта между ними ( $S$ ) и характеризуется коэффициентом влияния внешнего трения на силу прокатки ( $n_{\sigma}'$ ), а сопротивление деформации связано с объёмом деформируемого металла ( $V$ ): чем больший объём металла деформируется при прокатке, тем выше сопротивление деформации, то можно сделать вывод, что вклад трения в силу прокатки значительно повышается при прокатке тонкой полосы в последних чистовых клетях.

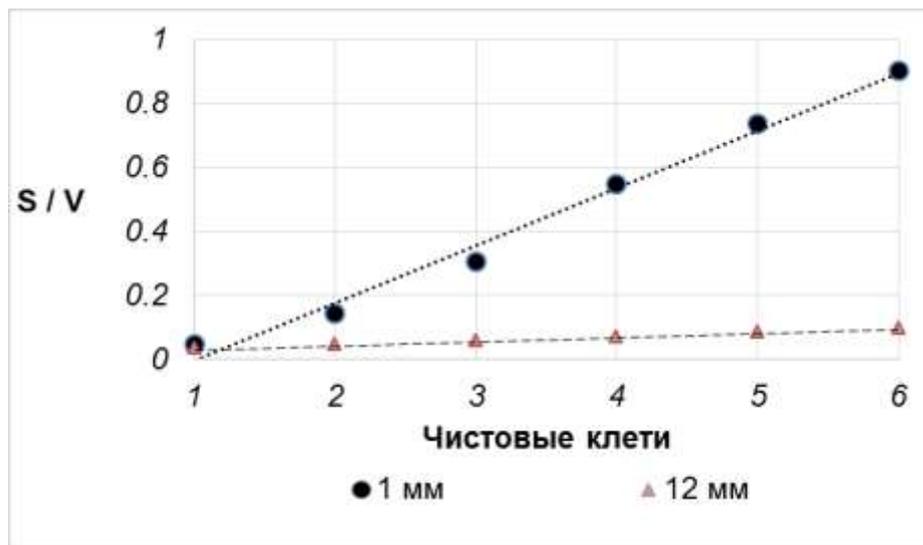


Рисунок 1. Изменение параметра S/V по клетям чистовой группы

Важной особенностью расчётных моделей систем автоматизации современных станов является использование статистических коэффициентов адаптации. Причем на практике нередки случаи значительного влияния адаптационной части модели на результат расчёта. Превалирование адаптации перед качеством самого расчёта снижает гибкость модели в случае изменения параметров процесса и тем самым повышает риск аварийных ситуаций, снижает качество металлопроката. Таким образом, повышение точности расчёта при снижении влияния адаптации остаётся актуальной задачей на сегодняшний день.

**Целью настоящей работы** является определение коэффициента трения при прокатке тонких полос в чистовой группе клеток непрерывного широкополосного стана 1950 ЛПК АО «ОМК-Сталь».

Для достижения поставленной цели проанализированы первичные данные с датчиков первого уровня автоматизации прокатного стана (скорость, момент прокатки, ток на двигателе и т.д.) для 29 полос толщиной 1,31 мм из Ст2пс, прокатанных подряд в одну серию, а также 6 полос толщиной 8,79 мм из стали марки 09Г2С. На основе полученных данных определены фактические скорости полос в межклетевом пространстве и на выходе из группы, скорости валков, обжатия и другие параметры в момент захвата и прохождения головы через группу клеток. Далее исходя из формулы Эжелунда определяли коэффициент трения.

Зависимость усилия прокатки от коэффициента трения изображена на Рис. 1. Влияние трения на усилие прокатки является значительным, поэтому величина трения в очаге деформации должна быть принята во внимание во время настройки стана для достижения точного контроля, особенно во время заправки переднего конца полосы в валки.

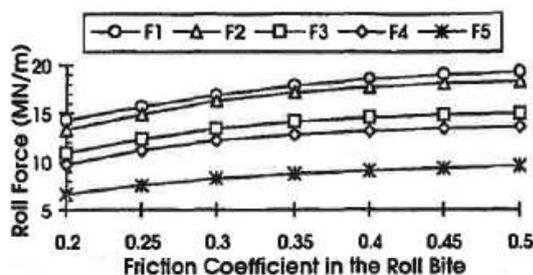


Рисунок 2. Влияние изменения трения на усилие прокатки [2].

### Определение коэффициента трения на основе данных, полученных с датчиков 1-ого уровня

Для определения фактического коэффициента трения при прокатке полосы на непрерывном прокатном стане 1950 ЛПК ОМК-Сталь использовались параметры, перечень которых приведен в Таблице 1.

Таблица 1. Сигналы с датчиков первого уровня стана 1950

Параметр	Обозначение
Зазор между валками	RollGapAct
Окружная скорость валков измеренная	SpdLinFbk
Крутящий момент измеренный	TorqueFbk
Мощность прокатки	PowerFbk
Усилие прокатки измеренное	RollForActTot
Усилие в клети измеренное	TotMillForAct
Пирометр	Pyrometer
Толщина измеренная	ActualThickness
Ширина измеренная	ActualWidth

В процессе прокатки сигналы записывались в базу данных программы по обработке сигналов 1-ого уровня - Fast Data Analyzer (FDA). Проведен анализ прокатанных рулонов из материалов Ст2пс толщиной 1,31 мм и 09Г2С толщиной 8,7 мм. Типовые режимы обжатий представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Типовые режим обжатий на стане 1950

Марка стали	Толщина полосы, мм	Распределение обжатий по клетям, %					
		1	2	3	4	5	6
Ст2пс	1,31	1,48	4,61	4,92	4,06	4,88	4,41
09Г2С	8,79	3,18	9,07	4,97	9,58	5,57	,03

Коэффициент трения определяется по формуле Экелунда исходя из угла захвата и нейтрального угла:

$$\sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{2} - \frac{1 - \cos \alpha}{2\mu}$$

Откуда:

$$\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha - 2\sin \gamma}$$

Для определения коэффициента трения требуется найти  $\alpha$  - угол захвата и  $\gamma$  - нейтральный угол. Нейтральный угол  $\gamma$  рассчитывается на основе опережения для всех чистовых клетей стана 1950 F1 - F6 по формуле:

$$S = \frac{R}{h_1} \cdot \gamma^2$$

Откуда

$$\gamma = \sqrt{\frac{S \cdot h_1}{R}}$$

где  $S$  – опережение,  $h_1$  – толщина полосы,  $R$  – радиус вала.

Опережение  $S$  – это превышение скорости выхода прокатываемого металла из валков  $V_1$  по сравнению с окружной скоростью валков  $V_v$ . Значение опережения возможно подсчитать по формуле:

$$S = \frac{V_1 - V_v}{V_v}$$

Значения  $V_1$  и  $V_v$  получаем из фактических данных:

$$V_1 = \frac{l}{t}$$

где,  $l$  – расстояние между клетями (при расчете опережения для клетей F1 – F5) – 5,5 м и расстояние между клетью F6 и пирометром – 3,3 м

$t$  – время прохождения металла между клетями (при расчете опережения для клетей F1 – F5) и время прохождения металла между клетью F6 и пирометром.

Время прохождения металла между клетями  $t$  определяется исходя из сигналов датчиков, отслеживающих изменение крутящего момента на валу двигателя, а также изменение токовой нагрузки (Рис. 3).

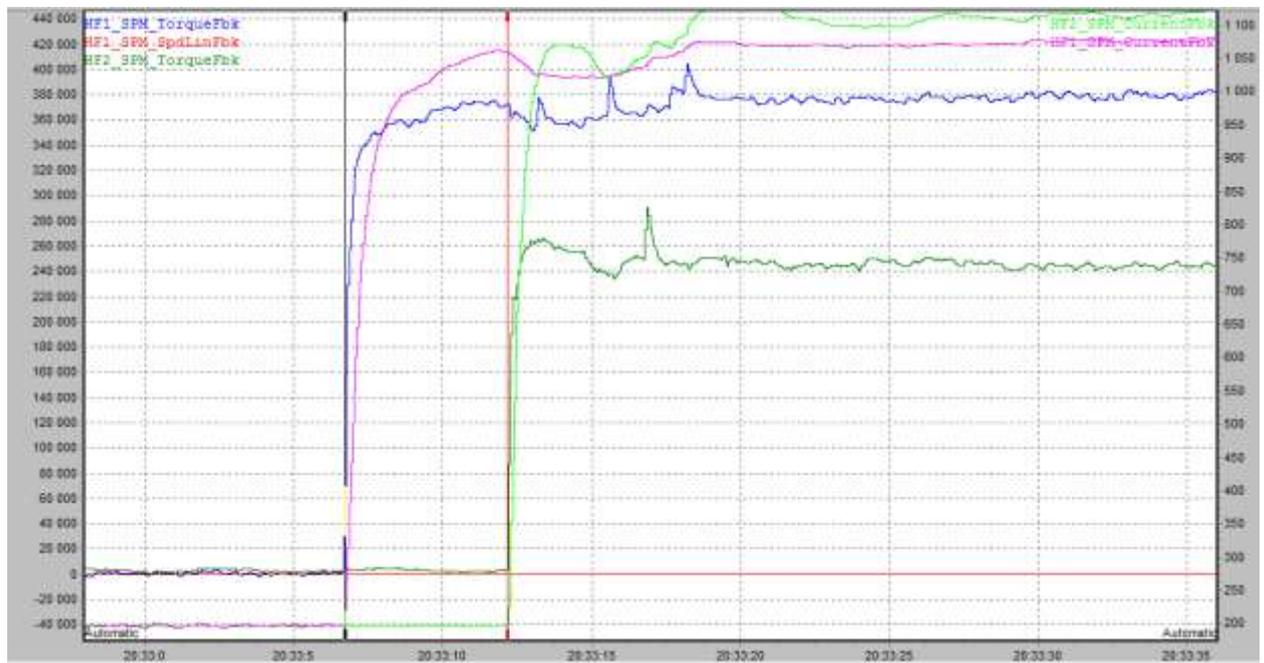


Рисунок 3. Определение времени прохождения полосы между клетями F1 и F2 для расчета скорости выхода прокатываемого металла из валков

Далее необходимо определить угол захвата  $\alpha$  по формуле:

$$\cos(\alpha) = 1 - \frac{\Delta h}{D}$$

Для этого требуется знать фактический межвалковый зазор во время прокатки с учётом жёсткости клетки:

$$h_{\text{факт}} = h_{\text{fda}} + \frac{F_1 - F_0}{M}$$

где  $h_{\text{fda}}$  – зазор исходя из положения гидроцилиндров (фиксируется в FDA);  $F_1$  – усилие во время прокатки полосы;  $F_0$  – предусилие перед прокаткой (если клетки не в забой  $F_0 = 0$ );  $M$  – жёсткость клетки.



Рисунок 4. Определение усилия F1 во время прокатки полосы

В результате проведённых расчётов установлены значения коэффициента трения при прокатке в чистовых клетях стана 1950 сталей 09Г2С толщиной 8,79 мм и Ст2пс толщиной 1,31 мм (Рис. 5). При прокатке полосы толщиной 8,79 мм коэффициент трения изменяется в пределах от 0,13-0,18 в последних клетях до 0,3-0,38 в первых клетях группы. При прокатке полосы толщиной 1,31 мм коэффициент трения в последних клетях также 0,13-0,18, однако в первых клетях ниже, чем при прокатке более толстой полосы, и составляет 0,18-0,25.

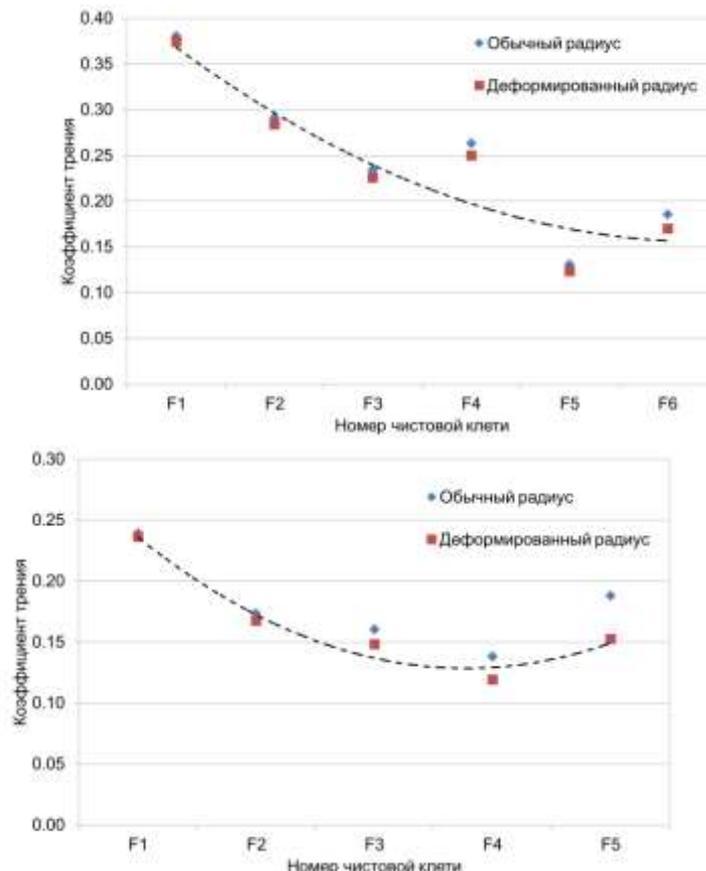


Рисунок 5. Изменение коэффициента трения по клетям чистой группы для стали 09Г2С 8,79 мм (слева) и Ст2пс 1,31 мм (справа)

На Рис. 6 приведена зависимость коэффициента трения от линейной скорости вращения валков. Показано, что данные для тонких полос Ст2пс хорошо согласуются с данными работы [2].

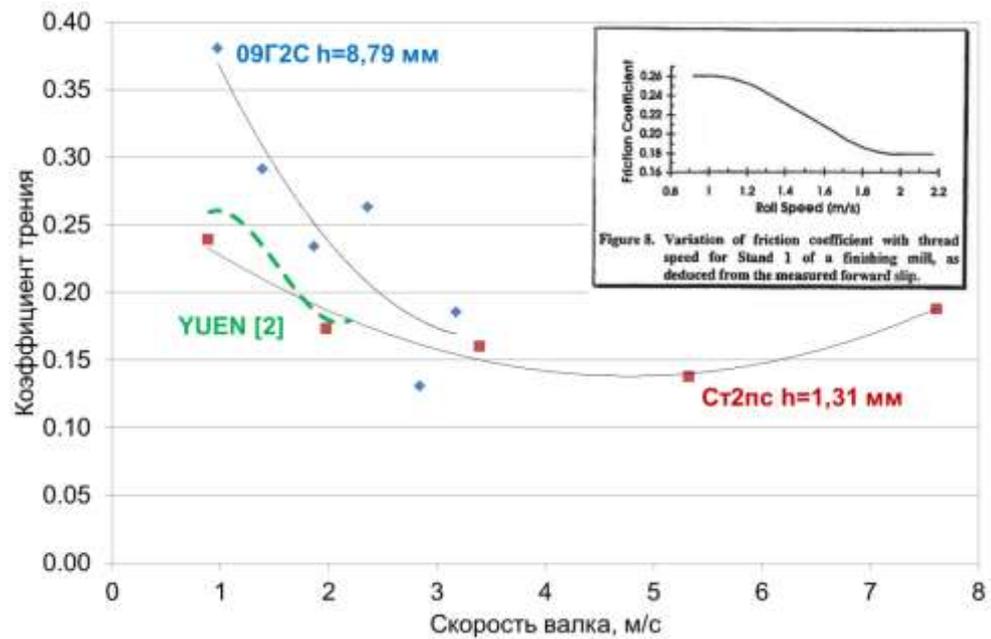


Рисунок 6. Зависимость трения от линейной скорости вращения валка

Таким образом, в работе определен коэффициент трения при прокатке тонких полос в чистовой группе клетей непрерывного широкополосного стана 1950 ЛПК АО «ОМК-Сталь» на основе опережения, посчитанного по данным с датчиков первого уровня автоматизации прокатного стана.

## Литература

1. High-performance hot rolling mills. Electrics and automation. // SMS Group [Электронный ресурс]. URL : [http://www.siemag.sms-group.com/download/A318E\\_High-performance\\_hot\\_rolling\\_mills\\_EA\\_DS.pdf](http://www.siemag.sms-group.com/download/A318E_High-performance_hot_rolling_mills_EA_DS.pdf) (Дата обращения: 24.11.15)
2. W.Y.D.Yuen Determination of friction from measured forward slip and its applications in hot strip rolling. First Australasian congress on applied mechanics. 1996. С 927-932