

## Отзыв

на автореферат диссертации И.В. Ягудина

**«Исследование закономерностей контактного трения в очаге деформации при холодной прокатке стальных полос для повышения эффективности работы широкополосных станов»,**

представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 - «Обработка металлов давлением».

В работе И.В. Ягудина рассматривается тема трения интересующая многих исследователей, которые серьезно занимаются совершенствованием расчетных методов промышленных технологий абсолютно всех процессов обработки давлением, в том числе и холодной прокатки. Может быть, именно для холодной прокатки и других процессов, протекающих при невысоких температурах, в которых эффективно применение различных смазочных материалов, эта тема наиболее актуальна. Используемые смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) – эмульсолы, весьма эффективно влияют на снижение трения, а значит – на энергосиловые параметры прокатки, на качество поверхности проката. Они представляют собой коллоидные растворы жиров в воде, постоянно совершенствуются предприятиями – производителями путем введения различных добавок. Необходимо учитывать, что каждый из производителей гарантирует определенные свойства смазки, но в процессе использования эти свойства постепенно деградируют, из-за чего приходится СОЖ обновлять и заменять. Дополнительно заметим, что работоспособность смазки зависит и от качества воды, используемой производителем. Таким образом, дополнительным фактором, влияющим на трение при прокатке, является качество СОЖ, используемой на конкретном прокатном стане, причем потребитель СОЖ по тем или другим причинам может менять марку используемого масла.

Этот факт еще раз подтверждает сложность, многофакторность исследований трения при прокатке. Очевидно, именно по этой причине в современных конечно-элементных методах расчета напряженно-деформированного состояния при прокатке используют понятие не коэффициента трения по Амонтону, а показателя трения по Зибелю  $\mu_s$ ,  $\tau = \mu_s \sigma_s$ , где  $\sigma_s$  – интенсивность напряжений, либо закон трения, например, А.Н. Леванова

$$\tau = K_{\Pi} \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \left[ 1 - \exp\left(-1,25 \frac{p}{\sigma_s}\right) \right], \text{ где } p - \text{ нормальное давление, } K_{\Pi} - \text{ фактор трения.}$$

При пластической деформации коэффициент трения по Амонтону, которого придерживается автор работы, дает завышенное значение напряжений  $\tau$ , а показатель Леванова сглаживает различия для упругой и пластической зон трения. Именно силы трения (в числе прочих факторов) влияет на силу прокатки, а не сила прокатки, как указано в автореферате, определяет коэффициент трения (см. с.3).

В работе И.В. Ягудина основное внимание уделено корректировке расчетов коэффициента трения, обусловленного изменением свойств деформируемого металла при прокатке за счет деформационного упрочнения (наклепа). Автор разработал новый метод определения коэффициента трения в очагах деформации станов холодной прокатки, отличающийся от известных тем, что формируется на основе баз данных АСУТП. Однако, по принципу и по сути он не отличается от метода давления Рокотяна. Заметим, что метод расчета Рокотяна хорош тогда, когда точно известны остальные параметры процесса, позволяющие от силы прокатки «добраться» в расчетах до коэффициента трения.

Автор считает, что наиболее точной для расчета коэффициента трения является формула А.П. Грудева, модифицированная череповецкими учеными, и утверждает, что она физически обоснованно учитывает влияние многих факторов. На мой взгляд, к физической обоснованности нужно подходить более деликатно – формула (2) в автореферате по структуре является эмпирической, учитывающей влияние нескольких важных факторов. Каким образом, например, в формуле (2) учитывается упоминаемое в тексте содержание углерода в прокатываемой стали?

В автореферате недостаточно обоснованно звучит тезис о том, что в технологиях прокатки за последние 15-20 лет (с 1995-2000 гг.) произошли такие существенные изменения в сортаменте, конструкции и технологии станов холодной прокатки, которые могли бы резко изменить коэффициент трения. Тип упоминаемых СОЖ – да, метод введения СОЖ – да, причем последний фактор влияет на распределение к-та трения по очагу деформации. Но влияет ли марка стали или метод подготовки поверхности валков – это нужно показать, тем более что калибровка разработанной модели выполнена на давно освоенных на стане 1700 холодной прокатки марках стали (1пс, 08пс, 08Ю, SAE1006, 01ЮТ).

Вызывает интерес полученное регрессионное уравнение (11), в котором участвуют свойства смазки, скорость прокатки, шероховатость валков, деформационное упрочнение прокатываемого металла и частные обжатия по проходам. Но разве изменение предела текучести и относительное обжатие не коррелированные факторы? В чем, собственно, состоит влияние частного обжатия  $\varepsilon$ , если не в упрочнении металла?

Анализ материалов автореферата диссертации И.В. Ягудина показывает, что поставленная задача является актуальной как в научном, так и в практическом отношении. Её решение будет способствовать повышению качества холоднокатаного металла, уменьшению издержек при его производстве и, возможно, развитию некоторых аспектов теории плоской прокатки. Можно считать, что её автор получил новые научные результаты, в том числе:

- разработал новый метод определения коэффициентов трения непосредственно на действующем стане, не требующий использования лабораторных моделей и специальных экспериментов, заменив их статистической обработкой представительного массива данных АСУТП о промышленных режимах прокатки;
- получил новую регрессионную модель, связывающую коэффициент трения со значимыми параметрами технологии, в которую впервые в теории прокатки включена зависимость этого коэффициента от предела текучести полосы;
- установил, что с ростом предела текучести в результате обжатия коэффициент трения существенно уменьшается и дал объяснение этой впервые обнаруженной закономерности.

Достоверность новых результатов подтверждена путём сопоставления рассчитанных сил и мощностей прокатки с фактическими данными, фиксируемыми АСУТП стана. Однако, по содержанию автореферата возникает вопрос о применимости разработанных методик для других станов холодной прокатки, отличающихся, например, конструкцией устройств для введения СОЖ, для прокатки других сталей, например, аустенитных, электротехнических или ферритных высокохромистых.

Высказанные вопросы и замечания не уменьшают значимости диссертационной работы, выполненной на высоком уровне. Из содержания автореферата можно сделать вывод, что поставленные цели и задачи были решены. Работа направлена на решение актуальной проблемы, содержит новые научные результаты и имеет практическое значение. Диссертация «Исследование закономерностей контактного трения в очаге деформации при холодной прокатке стальных полос для повышения эффективности работы широкополос-

ных станов», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением», соответствует шифру специальности (пункты 2, 4) и критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842. Соискатель Ягудин Игорь Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – «Обработка металлов давлением».

Профессор кафедры «Технологии и исследование материалов»,  
заведующий лабораторией «Исследование и моделирование структуры и свойств металлических материалов»  
профессор, д.т.н.

Николай Георгиевич Колбасников

04 марта 2016 г.

195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
e-mail: [nikolay.kolbasnikov@gmail.com](mailto:nikolay.kolbasnikov@gmail.com),  
тел. +7 921 369 45 31

