

УДК 621.771.06+621.892

**Р.Р. Дема /к.т.н./, Р.Н. Амиров /к.т.н./, М.В. Харченко /к.т.н./, А.А. Харченко**  
 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет  
 им. Г.И. Носова» (Магнитогорск)

**М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко**

Белорусский национальный технический университет (Минск)

**А.Н. Белый**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси (Минск)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СМАЗКИ НЕПРЕРЫВНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

*Выполнена оценка эффективности работы системы подачи технологической смазки, установленной на первых трех клетях №7-9, для всех клеток №7-13 чистовой группы непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Проведен анализ влияния смазочного материала на основные технологические параметры процесса прокатки с последующим выводом уравнений регрессий, определяющих коэффициент «присутствия» смазочного материала в межвалковом контакте.*

**Ключевые слова:** горячая прокатка, смазочный материал, система подачи технологической смазки, энергосиловые параметры.

### **Постановка проблемы**

Одним из прогрессивных способов повышения эффективности процесса горячей прокатки является применение системы подачи технологической смазки (СТС), в частности, смонтированной на первых трех клетях чистовой группы №7-9 непрерывного широкополосного стана горячей прокатки (НШСГП) 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», особенностью которой является подача смазочного материала (СМ) на поверхности опорных валков со стороны выхода металла из клетки. Установленные в процессе опытной эксплуатации указанной системы объемы подаваемого СМ являются сдерживающим ограничением возможностей СТС по достижению максимальных результатов, направленных на снижение энергосиловых и фрикционных параметров, применение которой ориентировано в большей степени на прокат с высоким классом прочности. В связи с этим, актуальной задачей является изучение и определение воздействующих параметров на эффективность работы СТС, а также оценка влияния СМ на изменение технологических параметров всей чистовой группы клеток (№7-13), а также НШСГП 2000.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

В работах [1-4] авторы отмечают, что ис-

пользование СМ в производстве горячего проката качественно снижает энергосиловые параметры, повышает стойкость рабочих валков за счет уменьшения абразивного износа и сокращает случаи образования трещин разгара. Также авторы указанных работ наряду с этим едины во мнении о малоизученности вопроса применения СМ при производстве горячего проката. Проведен ряд работ по оценке влияния СМ на энергосиловые параметры [5-7], а также на износ прокатных валков [8,9] и зафиксировано снижение данных параметров в среднем на 10 %.

При эксплуатации СТС НШСГП 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», специалистами комбината было отмечено качественное влияние, выраженное в снижении загрузки приводов последующих клеток №10-13, но тем не менее исследований, направленных на изучения данного вопроса, не проводилось.

### **Цель (задачи) исследования**

Целью данной работы является качественная и количественная оценка влияния СМ на изменение параметров прокатки для последующих клеток №10-13 чистовой группы НШСГП 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

– провести экспериментальные исследования и оценку влияния СМ на энергосиловые пара-

метры для всей чистой группы клетей НШСГП 2000;

– определить воздействующие факторы, влияющие на работу СТС для клетей №10-13, и получить уравнения регрессии, позволяющие описать характер изменения энергосиловых параметров процесса горячей прокатки с использованием СТС для клетей №10-13 НШСГП 2000.

**Основной материал исследования**

Количественная оценка влияния СМ на изменение энергосиловых параметров процессов горячей прокатки сводилась к сбору массива экспериментальных данных, в котором фиксировались такие параметры, как: удельный расход энергии (*a*, кВт·ч/т), усилие прокатки, (*P*, т), толщина (*h*, мм), ширина (*B*, мм), температура (*T*, °С), скорость прокатки (*V<sub>p</sub>*, м/с), относительное обжатие (*ε*, %) и момент на валу главного привода (*M<sub>об</sub>*) при работающей и выключенной СТС. Исследованию было подвергнуто свыше 500 прокатанных полос различных марок стали со средневзвешенным профилем 2,7×1220 мм. Результаты экспериментальных исследований усилия прокатки для клетей №10-13, в зависимости от группы стали по выкатываемости согласно технологической инструкции, представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Проведя комплексную оценку эффективности СТС, следует отметить, что наблюдается косвенный эффект от применения СМ в клетях №7-9, выраженный в снижении параметров прокатки на последующих клетях №10-13 чистой группы стана.

По мнению авторов, полученный результат можно объяснить следующим образом.

1. В результате адгезии на поверхности рабочих валков клетей №7-9 СМ попадает на полосу и выгорает. В результате чего образовавшиеся зольные осадки оказывают влияние на снижение касательных напряжений трения в контакте рабочий валок-полоса в последующих клетях №10-13.

2. Поскольку СТС в настоящее время не интегрирована в автоматизированную систему управления технологического процесса прокатки на стане, то влияние СМ на изменение технологических параметров можно оценивать как возмущающий фактор, способствующий перенастройке стана.

Поэтому предполагается, что в результате выгорания СМ, образовавшиеся зольные осадки оказывают влияние на снижение касательных напряжений трения в контакте рабочий валок-полоса в последующих клетях (№10-13). Однако детальное исследование данного вопроса не проводилось.

Для анализа изменения энергосиловых характеристик были вычислены описательные статистики их распределения для всей чистой группы клетей НШСГП 2000, построены зависимости нормального распределения с помощью программного комплекса Statistica при горячей прокатке с применением СТС. Статистическая оценка влияющих параметров на изменение токовых характеристик процесса горячей прокатки определялась между значениями распределенной погонной нагрузки (*P/L<sub>0</sub>*, МН/м), сопротивления деформации (*σ<sub>0</sub>*, МПа), отношения диаметров (*D<sub>0</sub>/D<sub>p</sub>*) и отношения давлений (*P''/P'*):

$$k^{I(10)}_{см} = \frac{I''}{I'} = -0,257 + 1,03 \left( \frac{P''}{L_0} \right) + 0,000036\sigma_0^2,$$

$$k^{I(11)}_{см} = \frac{I''}{I'} = -0,485 + 1,21 \left( \frac{P''}{L_0} \right) + 0,0055\sigma_0^2,$$

$$k^{I(12)}_{см} = \frac{I''}{I'} = -0,49 + 0,132 \left( \frac{P''}{P'} \right) + 0,75 \left( \frac{D_{он}}{D_{раб}} \right) - 0,065 \left( \frac{D_{он}}{D_{раб}} \right)^2 + 0,1 \left( \frac{P''}{L_0} \right)^2,$$

$$k^{I(13)}_{см} = \frac{I''}{I'} = -0,08 + 0,145 \left( \frac{P''}{P'} \right) +$$

Табл. 1. Изменение усилия прокатки для клетей №10...13 в соответствии с группами стали по выкатываемости

№ клетки	1 группа σ <sub>0</sub> =70-117 МПа		%	2 группа σ <sub>0</sub> =73-100 МПа		%	3 группа σ <sub>0</sub> =80-114 МПа		%	4 группа σ <sub>0</sub> =79-153 МПа		%	5 группа σ <sub>0</sub> =86-115 МПа		%
	СМ	без СМ		СМ	без СМ		СМ	без СМ		СМ	без СМ		СМ	без СМ	
10	1274	1311	2,8	1269	1354	6,3	925	1338	30	1249	1480	15	954	1269	24
11	1470	1475	0,3	1411	1441	2,1	1586	1936	18	1584	1822	13	1350	1497	9,8
12	1239	1290	3,9	1269	1360	6,7	925	1338	30	1249	1480	15	953	1079	11,6
13	971	1015	4,3	1015	1061	4,3	1005	1051	4	1055	1103	4	788	824	4,3

Примечание: σ<sub>0</sub> – сопротивление деформации.

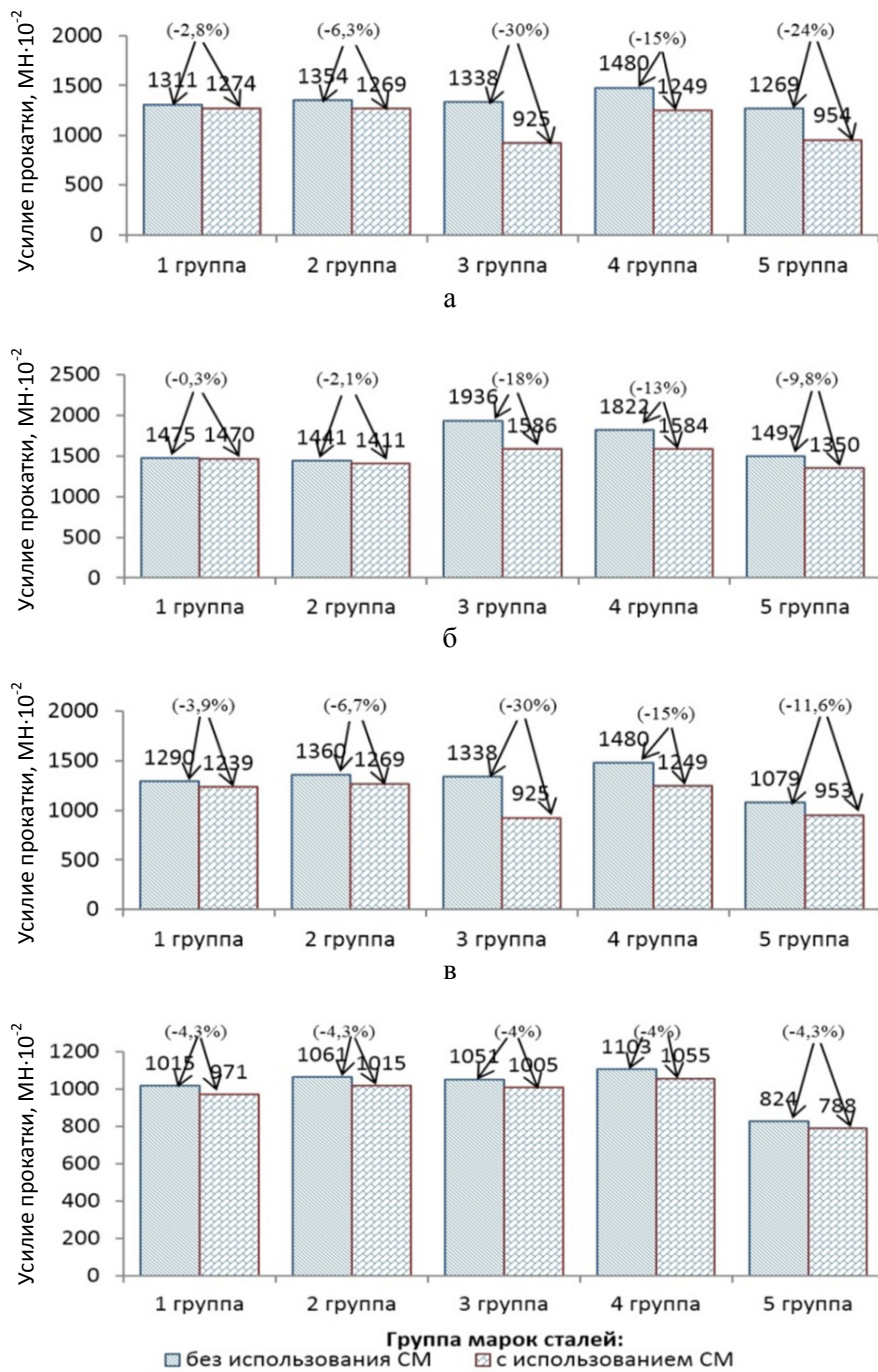


Рис. 1. Изменение усилия прокатки для клетки №10 (а), 11 (б), 12 (в), 13 (г) в соответствии с группами стали по выкатываемости

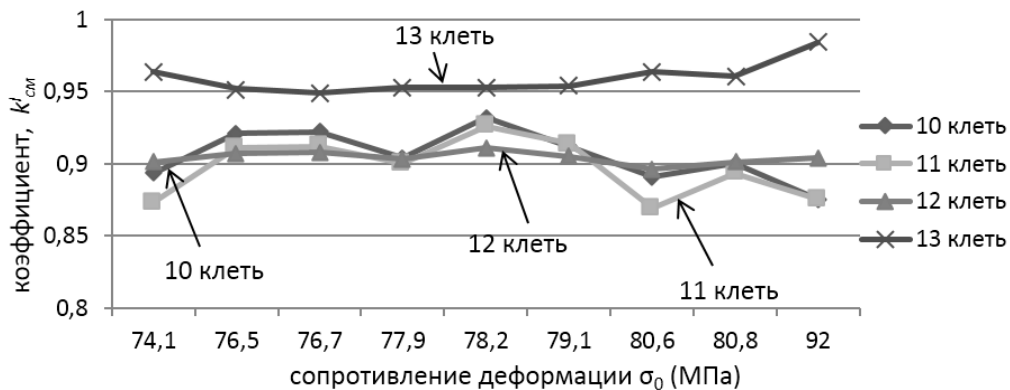


Рис. 2. Изменение коэффициентов влияния СМ  $k'_{SM}$  в зависимости от сопротивления деформации  $\sigma_0$  для клеток №10-13 НШСГП 2000

$$+ 2,11 \left( \frac{P''}{L_0} \right) - 2,46 \left( \frac{P''}{L_0} \right)^2.$$

На основе корреляционно-статистического анализа выявления взаимосвязи между силой тока ( $I_{об10-13}$ ) и остальными технологическими параметрами был проведен множественный регрессионный анализ с последующим выводом уравнения регрессии с использованием предварительно подсчитанных коэффициентов, входящих в вышеприведенные уравнения. В результате получены численные значения коэффициентов в зависимости от сопротивления деформации [10] (рис. 2). Приведенные регрессионные зависимости отображают влияние СМ на изменение токовых характеристик процесса прокатки, влияющих на параметр момента на валу главного привода [3], который определялся по следующему условию для всей чистовой группы клетей НШСГП 2000 ОАО

$$M_{об}^{см(i)} = \frac{N_{об}^{(i)}}{\omega^{(i)}} k^{I(i)}_{см},$$

где  $N_{об}$  – мощность прокатки, Вт;  $\omega$  – угловая скорость, рад/с;  $k^{I(i)}_{см}$  – коэффициент влияния СМ на изменение токовых характеристик для  $i$ -ой клетки стана.

Определение коэффициента и его использование в данного рода уравнениях, связанных с определением энергосиловых характеристик процесса, позволяет аналитически предвидеть изменение силовых характеристик.

### Выводы

1. На основе корреляционно-статистического анализа определены воздействующие факторы, влияющие на работу СТС.

2. Получены численные значения коэффициентов влияния от присутствия СМ  $k'_{см}$  на энергосиловые характеристики НШСГП 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

3. Проведен множественный регрессионный анализ с выводом уравнения регрессии, позволяющим описать характер изменения ключевых энергосиловых характеристик процесса горячей прокатки с использованием СТС.

4. Комплексное рассмотрение выдвинутых заключений позволит, не прибегая к опытным испытаниям, аналитически решать вопросы, связанные с целесообразностью применения СТС, как одного из перспективных и эффективных способов повышающего энергоэффективность процесса производства горячего проката, снижая его энергосиловые характеристики, на различ-

ных НШСГП.

5. Применение СМ оказывает непосредственное влияние на снижение энергосиловых параметров в клетях №7-9. Кроме того, в клетях №10-13 чистовой группы НШСГП 2000 наблюдается косвенный эффект от влияния СМ, который подается на валки клетей №7-9.

### Список литературы

1. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
2. Эмульсии и смазки при холодной прокатке / В.К. Белосевич [и др.]. – М.: Металлургия, 1976. – 416 с.
3. Дема Р.Р., Амиров Р.Н., Курбаков И.А. Влияние смазочного материала на изменение энергосиловых параметров непрерывной группы клетей стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» / Сб. науч. тр. VII Межд. науч.-техн. конф. «Современные проблемы машиностроения». – Томск: Нац. исслед. Томский политехн. ун-т, 2013. – С. 288-292.
4. Чертавских А.К., Белосевич В.К. Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1968. – 361 с.
5. Разработка модели прогнозирования энергосиловых параметров горячей прокатки при подаче смазочного материала на валки непрерывного широкополосного стана / С.И. Платов [и др.] // Производство проката. – 2014. – №4. – С. 3-9.
6. Комплексная оценка и исследование эффективности системы подачи технологической смазки в клетях №7-9 непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / С.В. Дубовский [и др.] // Производство проката. – 2011. – №12. – С. 6-8.
7. Влияние смазочного материала на изменение энергосиловых параметров прокатки в непрерывной группе клетей стана 2000 горячей прокатки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / С.И. Платов [и др.] // Производство проката. – 2013. – №11. – С. 9-14.
8. Математическая модель процесса изнашивания и прогнозирования срока службы рабочих валков клетки кварто при подаче смазочного материала / С.И. Платов [и др.] // Производство проката. – 2012. – №9. – С. 38-44.
9. Математическое моделирование процесса изнашивания рабочих валков клетки кварто при подаче смазочного материала / С.И. Платов [и др.] // Черные металлы. Спецвыпуск. – 2012. – С. 54-57.

10. Остапенко А.Л., Забира Л.А. Соппротивление деформации сталей при прокатке и методики его расчета / Черная металлургия. – 2009. – №3. – С. 54-79.

**R.R. Dema /Sci. Cand. (Eng.), R.N. Amirov /Sci. Cand. (Eng.),**

**M.V. Kharchenko /Sci. Cand. (Eng.), A.A. Kharchenko**

*Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk)*

**M.A. Levantsevich, N.N. Maximchenko**

*Belarusian National Technical University (Minsk)*

**A.N. Belyj**

*Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus (Minsk)*

**DETERMINATION OF PARAMETERS INFLUENCING  
THE EFFICIENCY OF THE SUPPLY SYSTEM FOR  
TECHNOLOGICAL LUBRICATION IN CONTINUOUS  
WIDE HOT ROLLING MILLS**

**Background.** Application of supply systems for technological lubrication in the rolling production allows reducing the force of external friction on contact surfaces. It is known from the theory and practice that all the kinematic and power parameters of rolling to a certain extent depend on the forces of external friction. It is particularly important that with the reduced friction the pressure on the rolls and the power consumption are reduced too. The application of lubricating material allows producing steel grades with a high strength which are able to withstand high specific loads and work under harsh conditions.

**Materials and/or methods.** The statistical approach is used in the study to assess the impact of lubricant on the change in rolling parameters, for subsequent obtaining of regression equations for stands No. 10-13. The regression equations obtained in “Statistica” program allow determining the change in torque on the shaft of the main drive with the use of lubricant. The numerical values are determined for the coefficients of the lubricant influence on the change in the power parameters of rolling, depending on the steels group, classified by rolling out.

**Results.** The use of a lubricating material has a direct impact on reducing the power parameters in stands No. 7-9. In addition, in stands No. 10-13 of the finishing group of the continuous wide hot rolling mill (CWHRM) 2000, there is an indirect effect from the influence of the lubricant which is fed to the rolls of mill stands No. 7-9.

**Conclusion.** The comprehensive review of the put forward opinions will ensure, without the pilot testing, the analytical solving of the problems related to the feasibility of the supply system for the technological lubricant as one of the most promising and effective ways for improving the energy efficiency of the manufacturing process of hot rolled steel reducing its power characteristics on different CWHRM.


**Keywords:** hot rolling, lubricant, the supply system for technological lubrication, power parameters.

Статья поступила 23.08.2013 г.

© Р.Р. Дема, Р.Н. Амиров, М.В. Харченко, А.А. Харченко

М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, А.Н. Белый, 2016

Рецензент д.т.н., проф. С.П. Ерньоко



Видеожурнал **“ДОНЕЦКИЙ ПОЛИТЕХНИК”**  
смотрите каждую субботу  
на телеканале **ОПЛОТ 2**  
YouTube <https://goo.gl/d2kKr0>