

УДК 621.774.6

Завгородний А. В.
Зеленский А. С.
Чуруканов А. С.
Стриченко С. М.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕАЛИЗУЕМОГО ПРОЦЕССА ПРАВКИ*

Из результатов теоретического анализа [1], которые были подтверждены экспериментально [2], весьма существенное влияние на условия реализации процесса правки непрерывно-литых заготовок на участке тянуще-правильных устройств машин непрерывного литья оказывает сила заднего подпора $F_3 = [F]$, влияющая на напряженно-деформированное состояние металла заготовки при её дальнейшей правке.

Количественно сила заднего подпора F_3 , учитывая потери на транспортировку в кристаллизаторе, на участке зоны вторичного охлаждения и ряд других факторов, может быть определена как:

$$F_3 = 2P_2 f_\tau - F_0, \quad (1)$$

где P_2 – сила прижатия приводных тянущих роликов к заготовке, создаваемая гидроцилиндром шарнирно сопряженным с верхним тянущим роликом;

f_τ – коэффициент внешнего трения на контактных поверхностях непрерывно-литой заготовки с приводными тянущими роликами;

F_0 – величина силы, определяемая потерями на транспортировку до участка тянуще-правильного устройства машины непрерывного литья.

Количественно величина силы P_2 при заданном значении давления рабочей жидкости в поршневой полости соответствующего гидроцилиндра может быть получена на основе общепринятых методов структурно-силового анализа. Величина же коэффициента внешнего трения f_τ , учитывая температуру транспортируемой непрерывно-литой заготовки, характеризуется некоторой неопределенностью, при этом количественное определение данного коэффициента представляет интерес и с точки зрения оценки транспортных возможностей многороликовых листо-правильных машин, например, при пропуске листов без их правки, тянущих роликов и ряда других машин металлургических агрегатов.

Целью работы является уточнение коэффициента внешнего трения при различных значениях температуры реализуемого процесса правки заготовок в тянуще-правильных устройствах сортовых МНЛЗ.

Экспериментальные исследования условий внешнего трения на контактных поверхностях нагретой заготовки и рабочих валков тянущих устройств были проведены на базе лабораторного мини-стана 100 × 100 Г, Донбасской государственной машиностроительной академии, состав оборудования главной линии рабочей клетки которого показан на рис. 1.

Главная линия рабочей клетки, состав оборудования которого иллюстрирован рис. 1, включает в себя мотор – редуктор 1, моторную муфту 2, одноступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор 3, промежуточную муфту 4, шестеренную клетку 5, универсальные шпиндели 6 на подшипниках качения, механизм 7 их пружинного уравновешивания и собственно двухвалковую рабочую клетку 8.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Сатонина А. В.

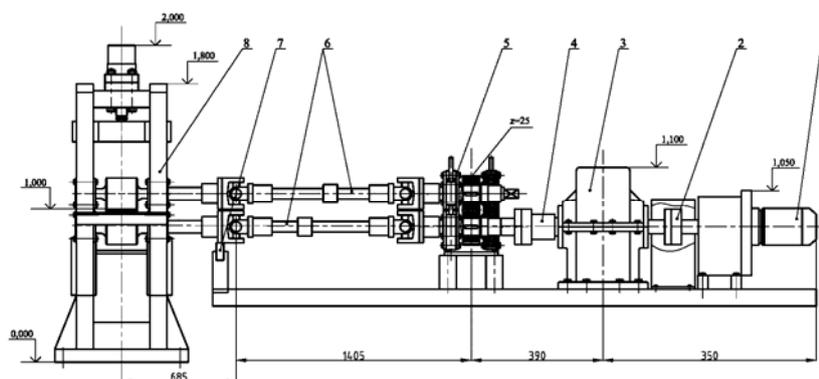
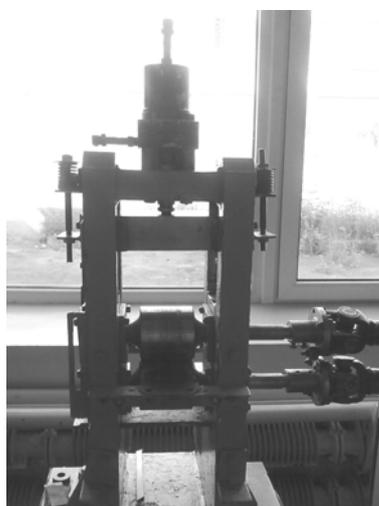
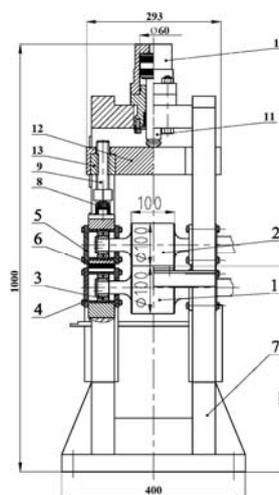


Рис. 1. Состав оборудования главной линии рабочей клетки лабораторного мини-стана 100 × 100 Г ДГМА

Конструкция рабочей клетки мини-стана 100 × 100 Г (рис. 2) состояла из нижнего 1 и верхнего 2 рабочих валков с диаметром бочки 100 мм, шейки которых, посредством двухрядных сферических подшипников 3, зафиксированы в подушках 4 и 5, которые в свою очередь наряду с механизмом уравнивания 6 были размещены в окна направляющих станин 7. В вертикальной плоскости подушки 4 нижнего рабочего валка 1 были зафиксированы нижними поперечинами узла станин, а подушки 5 верхнего рабочего валка 2 посредством сферических тел качения 8 были сопряжены с нажимными винтами 9 механической части нажимного механизма. Гидравлическая часть рабочей клетки мини-стана 100 × 100 Г ДГМА включала в себя гидроцилиндр поршневого типа 10, корпус которого расположен неподвижно в расточке верхней траверсы узла станины, а шток 11 сопряжен с верхней поверхностью подвижной траверсы 12, в расточках которой были размещены бронзовые гайки 13, сопряженные посредством резьбового соединения с нажимными винтами 9.



а



б

Рис. 2. Общий вид (а) и конструкция (б) рабочей клетки лабораторного мини-стана 100 × 100 Г ДГМА (см. рис. 1)

Созданная на базе лабораторного мини-стана 100 × 100 Г ДГМА установка, предназначенная для непосредственного определения коэффициента внешнего трения между нагретой заготовкой и рабочими валками (рис. 3), включала в себя зафиксированный неподвижно динамометр 1, канатную растяжку 2, один конец которой был сопряжен с динамометром 1, а второй с нагретой заготовкой 3, задаваемой между приводными рабочими валками двухвалковой рабочей клетки 100 × 100 с гидравлическим нажимным механизмом 4. В качестве исходной заготовки использовали лист, размерами $h \times B \times L = 15 \times 80 \times 250$ мм, который задавали при различных значениях его температуры и давления рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра (см. рис. 2, 3).

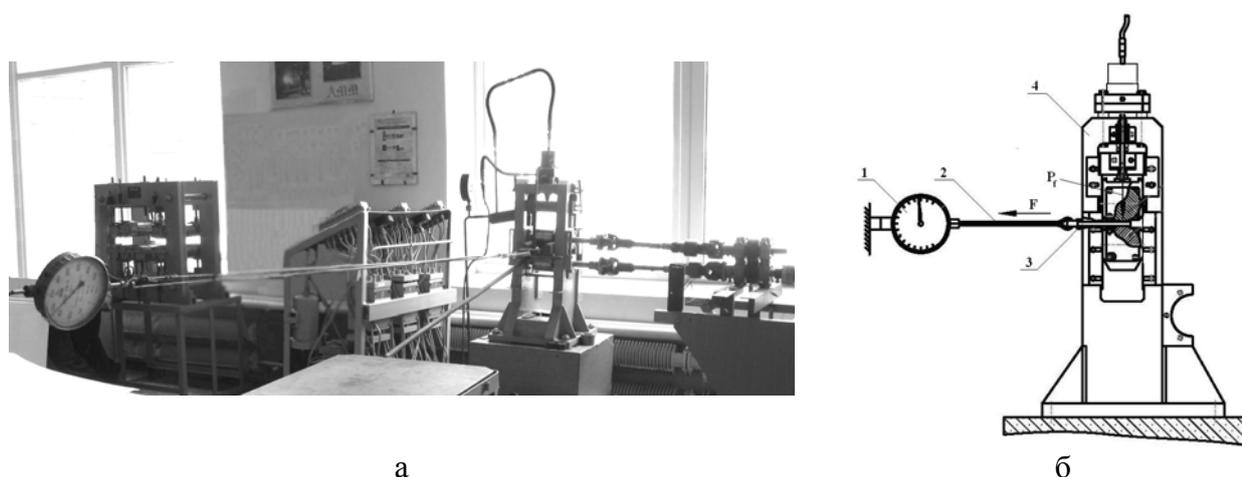


Рис. 3. Общий вид (а) и принципиальная конструктивная схема (б) установки на базе лабораторного мини-стана 100 × 100 Г ДГМА

При этом нагрев заготовки до температур T_f в диапазоне 20...1000 °С, производили в лабораторной электропечи сопротивления ОКБ 333С, оснащенной платино-родиевой термопарой, а давление рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра ρ_f измеряли при помощи манометра. С учетом известных значений давления ρ_f , диаметра поршня d_n и показаний динамометра F_f непосредственно определение погонной нагрузки P_f/B и коэффициентов внешнего трения f_τ осуществляли на основе очевидных зависимостей:

$$P_f/B = \rho_f \pi d_n^2 / (4B) \quad f_\tau = 2F_f / (\rho_f \pi d_n^2), \quad (2)$$

а полученные в этом случае результаты представлены количественно в табл. 1 и иллюстрированы графически рис. 4.

Таблица 1

Эмпирические значения температур T_f и погонной нагрузки P_f/B при экспериментальном исследовании коэффициентов внешнего трения f_τ на контактных поверхностях нагретой заготовки и приводных рабочих валков тянущих устройств

$P_f/B = 35,68$ Н/мм		$P_f/B = 53,69$ Н/мм		$P_f/B = 71,71$ Н/мм		$P_f/B = 89,37$ Н/мм		$P_f/B = 107,39$ Н/мм	
T_f °С	f_τ	T_f °С	f_τ						
20	0,113	20	0,099	20	0,095	20	0,105	20	0,108
400	0,122	400	0,099	400	0,095	400	0,108	400	0,102
600	0,165	600	0,174	600	0,17	600	0,175	600	0,169
800	0,174	800	0,151	800	0,131	800	0,119	800	0,16
1000	0,227	1000	0,232	1000	0,2	1000	0,174	1000	0,159

Анализ представленных результатов показал, что в диапазоне температур заготовки $T_f = 20...400$ °С коэффициент трения f_τ изменяется весьма незначительно и его усредненное значение соответствует $f_\tau = 0,1$. При увеличении температур в диапазоне $T_f = 400...600$ °С количественные оценки коэффициента трения возрастают практически линейно до $f_\tau = 0,15...0,17$, а в диапазоне $T_f = 600...800$ °С имеет место некоторое снижение коэффициента внешнего трения f_τ , что обусловлено появлением печной окалины, выполняющей функцию технологической смазки.

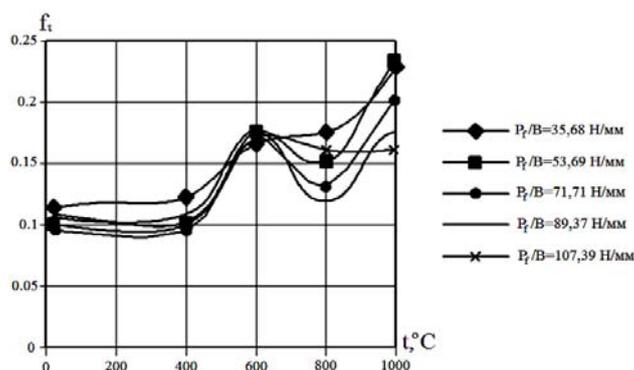


Рис. 4. Эмпирические распределения коэффициентов внешнего трения f_t на контактных поверхностях нагретой заготовки и приводных рабочих валков в зависимости от температуры T_f и погонной нагрузки P_f/B нажимного механизма рабочей клетки тянущего устройства

При дальнейшем повышении температуры в диапазоне $T_f = 800 \dots 1000$ °C вследствие разрушения печной окалины и наличия непосредственного контакта горячего металла с контактными поверхностями рабочих валков тянущих устройств, коэффициенты внешнего трения f_t достаточно интенсивно возрастают, количественные оценки которых в зависимости от силы прижатия рабочих валков к заготовке при температурах $T_f = 1000$ °C могут достигать $f_t = 0,18 \dots 0,26$ (см. табл. 1, рис. 4). Именно данные количественные оценки могут быть использованы при расчете исходных данных в рамках численной реализации математических моделей по автоматизированному расчету и проектированию технологий и оборудования процесса правки непрерывно-литых заготовок в районе тянуще-правильных устройств машин непрерывного литья радиального или криволинейного типа.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований на лабораторном стане 100×100 Г получены эмпирические распределения коэффициентов трения f_t на контактных поверхностях нагретой заготовки и приводных рабочих валков, что позволит использовать их в рамках численной реализации математических моделей по автоматизированному расчету и проектированию технологий и оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла на участке правильно-тянущих установок непрерывного литья / В. А. Федоринов, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний, А. С. Зеленский // *Обработка материалов давлением* : сб. научн. тр. – 2010. – № 1 (21). – С. 105–110.
2. Федоринов В. А. Методика, оборудование и результаты экспериментального исследования процесса правки заготовок на участке тянуще-правильных машин сортовых машин непрерывного литья заготовок / В. А. Федоринов, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний // *Обработка материалов давлением* : сб. научн. тр. – Краматорск : ДГМА. – 2010. – № 3(24). – С. 154–157.

Завгородний А. В. – аспирант ДГМА;

Зеленский А. С. – студент ДГМА;

Чуруканов А. С. – аспирант ДГМА;

Стриченко С. М. – ведущий инженер ОАО «ЕМЗ».

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ОАО «ЕМЗ» – ОАО «Енакиевский металлургический завод», г. Енакиево.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua