

УДК 621.89: 621.77.016.3

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

Н.А. Матюшкин, К.В. Ожмегов, А.С. Заводчиков
АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт
неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», Москва
NAMatyushkin@bochvar.ru

В статье приведены задачи, которые решались при создании методики определения трибологических характеристик смазочных материалов с использованием ротационного реометра TA Instruments Discovery DHR-2. Выбрана система контактных поверхностей, используемая для исследования смазок. Определены параметры экспериментов по исследованию свойств смазочных материалов в условиях холодной прокатки. Методика определения характеристик смазочных материалов апробирована на трех смазках, используемых на производстве АО ЧМЗ: смазке №1 – Co Chem, смазке №2, содержащей касторовое масло, тальк, стекло и смазке №3 – Zariten. Показано, что на прокатках, предшествующих финишной операции, целесообразно применение смазок №2 и №3. На финишной операции прокатки целесообразно применение смазок №1 и №3.

Ключевые слова: трибология, реометр, коэффициент трения, холодная прокатка, смазочные материалы.

METHODOLOGY FOR DETERMINING TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LUBRICANTS USED IN COLD PILGER ROLLING

N.A. Matyushkin, K.V. Ozhmegov, A.S. Zavodchikov
JSC A.A. Bochvar High-Technology Research Institute of Inorganic Materials, Moscow

The article presents the tasks that were being solved during the creation of a methodology for determining the tribological characteristics of lubricants using a rotary rheometer TA Instruments Discovery DHR-2. The contact surfaces systems used in the lubricant studies were selected. The parameters of experiments on the study of the properties of lubricants in cold pilger rolling conditions were determined. The measurement procedure for the determination of lubricant's characteristics was tested on three lubricants used at JSC CHMZ: number one (Co Chem), number two lubricant containing castor oil, talc and glass and number three (Zariten). It was shown that the usage of number two and number three lubricants during the rolling operations preceding the finishing operation is advisable. During the final rolling operation, it is advisable to use number one and number three lubricants.

Keywords: tribology, rheometer, coefficient of friction, cold pilger rolling, lubricants.

Одними из факторов, влияющих на качество изделий, получаемых методами холодной прокатки, являются свойства смазочных материалов. При замене поставщика материалов, в том числе смазочных, не всегда достаточен входной контроль на соответствие технической документации. Замена поставщика смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) может приводить к снижению качества проката, простоям оборудования из-за внепланового технического обслуживания, повышенному износу прокатного инструмента в результате преждевременной потери свойств СОЖ.

Кроме того, повышение производительности прокатных станов требует обоснования смазочных материалов для обеспечения необходимого уровня трибоконтактного взаимодействия между прокатным инструментом и прокатываемым металлом для формирования требуемой морфологии поверхности без дефектов.

Эффективным способом выбора и обоснования смазочных материалов, по мнению специалистов АО «ВНИИНМ», является проведение исследований смазочных материалов (смазки, СОЖ) применительно к условиям холодной прокатки труб с использованием ротационного реометра TA Instruments Discovery DHR-2 (рис. 1).



Рис. 1. Реометр TA Instruments Discovery DHR-2

Основные технические характеристики реометра TA Instruments Discovery DHR-2 приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, ротационный реометр TA Instruments Discovery DHR-2 является идеальной платформой для измерения коэффициента трения, вязкости смазочных материалов благодаря точному измерению и управлению осевой нагрузкой и скоростью вращения вместе с точным управлением температурой в широком диапазоне.

Таблица 1

Основные технические характеристики реометра TA Instruments Discovery DHR-2

Наименование	Значение
Минимальный крутящий момент, нН·м	2
Максимальный крутящий момент, мН·м	200
Разрешение по крутящему моменту, нН·м	0,1
Диапазон угловых скоростей, рад/с	0 – 300
Диапазон частот, Гц	1×10^{-7} – 100
Разрешение по смещению, нрад	10
Шаговое изменение скорости, мс	5
Шаговое изменение нагрузки, мс	15
Нормальное/аксиальное усилие, Н	0,005 – 50
Чувствительность датчика нормального усилия, Н	0,005
Диапазон температур, °С	20 – 600 – плита – плита 20 – 350 – трибологическая система

Для исследования смазочных материалов была разработана методика определения трибологических характеристик смазочных материалов. При разработке этой методики решались следующие задачи:

- выбор системы контактных поверхностей;
- определение числовых значений параметров экспериментов по исследованию свойств смазочных материалов.

Реометр TA Instruments Discovery DHR-2 позволяет работать с четырьмя системами контактных поверхностей, изображенными на рис. 2.

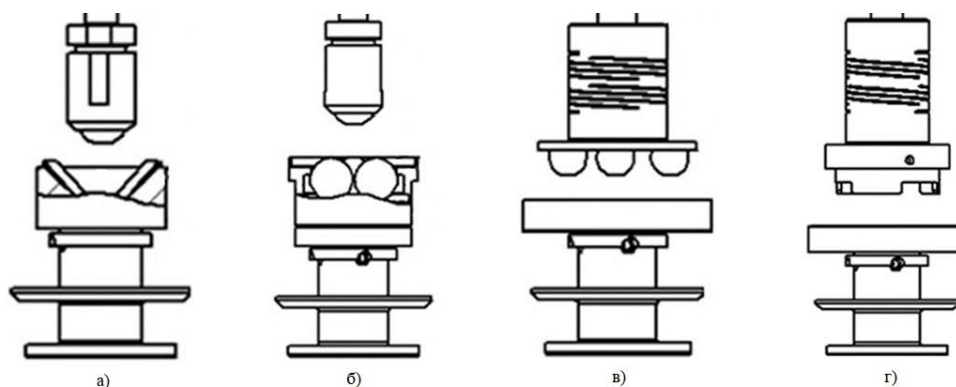


Рис. 2. Системы контактных поверхностей: а) – шар на трех плитах; б) – шар на трех шарах; в) – три шара на плите; г) – кольцо на плите

За основу методики определения трибологических характеристик смазочных материалов был взят ГОСТ 9490-75 «Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине», согласно которому была выбрана

система контактных поверхностей – шар на трех шарах. Коэффициент трения при применении данной системы на ротационном реометре определяется по формуле:

$$\mu = \frac{1,4832 \cdot M}{r \cdot F_N}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения; M – крутящий момент, Н·м; r – радиус сферы, м; F_N – осевая сила, Н.

Реометр TA Instruments Discovery DHR-2 позволяет проводить эксперименты двух типов:

- 1 тип: исследование влияния скорости (сдвига, угловой скорости), давления, крутящего момента на коэффициент трения, вязкость при заданной температуре;
- 2 тип: исследование влияния температуры на коэффициент трения, вязкость при заданных скоростях, давлении, крутящем моменте.

Основные параметры, значения которых выбираются для проведения этих типов экспериментов, приведены на рис. 3.

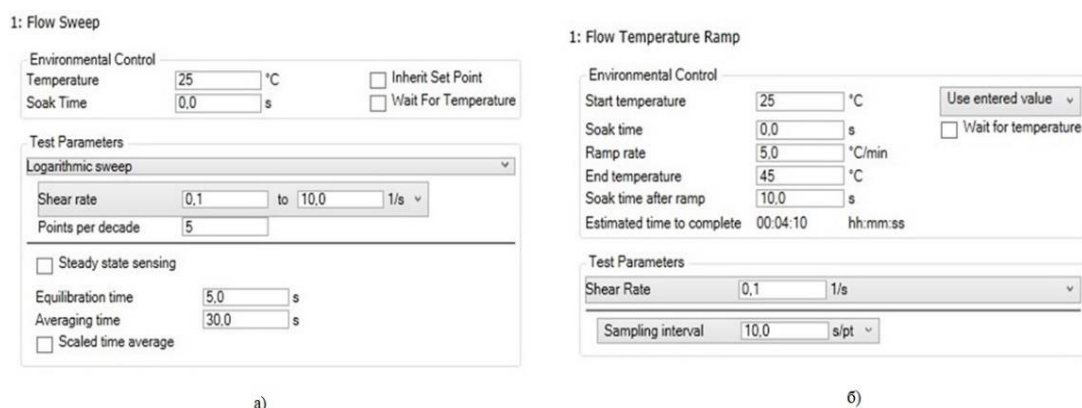


Рис. 3. Основные параметры экспериментов по исследованию свойств смазочных материалов:
а) – 1 тип эксперимента; б) – 2 тип эксперимента

Исходные данные для исследования смазочных материалов определяются на основе режима холодной прокатки по следующим формулам [1]:

$$\omega = \frac{n \cdot l_0}{4,8 \cdot l_1}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость, рад/с; l_0 – ход клетки, мм; n – число двойных ходов клетки, мин⁻¹; l_1 – длина линии соприкосновения шаров, мм.

$$l_1 = 6 \cdot \pi \cdot r, \quad (3)$$

где l_1 – длина линии соприкосновения шаров, мм; r – радиус окружности соприкосновения шаров, мм.

$$\Delta t_p = \eta \cdot T \cdot \frac{\Lambda}{c \cdot \rho}, \quad (4)$$

где Δt_p – повышение температуры во время пластической деформации, °С; $\eta = 0,80 \dots 0,90$ – доля тепла, остающаяся в теле; T – интенсивность касательных напряжений, Па; Λ – степень деформации сдвига; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С); ρ – плотность, кг/м³.

$$P = F \cdot \sigma_s, \quad (5)$$

где P – нормальное усилие при испытании, Н; F – площадь контакта при испытании, м²; σ_s – сопротивление деформации прокатываемого металла с учетом Δt_p , Па.

По формулам (2)-(5) были определены для двух типов экспериментов числовые значения параметров, которые приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Параметры для экспериментов 1 типа

Параметр	Значение
Угловая скорость	1,0 – 300,0 рад/с
Количество точек	30
Время уравнивания	5,0 с
Время усреднения	20,0 с
Сила нагрузки	6 Н
Температура	20,0 °С; 50,0 °С; 100,0 °С

Таблица 3

Параметры для экспериментов 2 типа

Параметр	Значение
Начальная температура	20 °С
Конечная температура	100 °С
Скорость нагрева	7 °С/мин
Время паузы между нагревами	10 с
Угловая скорость	200 рад/с
Интервал выборки	10 с
Сила нагрузки	6 Н

Апробирование данной методики осуществлялось на трех смазках, используемых на производстве: смазке №1 – Co Chem, смазке №2, содержащей касторовое масло, тальк, стекло и смазке №3 – Zariten.

Результаты проведения экспериментов 1 и 2 типа со смазкой №1 представлены на рис. 4 и 5.

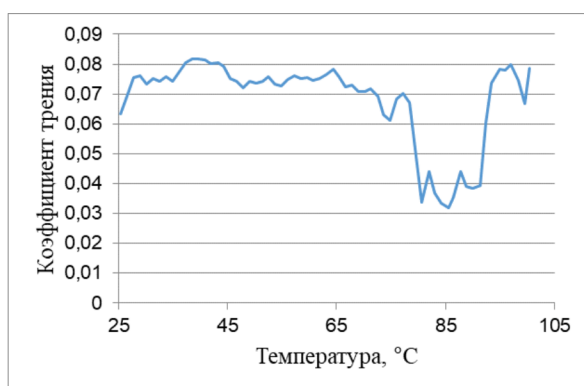


Рис.4. Влияние температуры на коэффициент трения при заданной угловой скорости для смазки №1

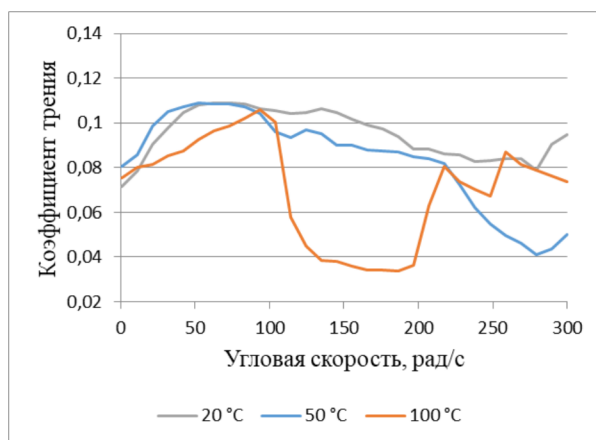


Рис. 5. Влияние угловой скорости на коэффициент трения при заданной температуре для смазки №1

Как видно из рис. 4 и 5, применение смазки №1 позволяет добиться низкого коэффициента трения. Тем не менее свойства смазки №1 сильно зависят от температуры. При температуре более 78 °C и менее 90 °C происходит частичное испарение смазки №1, уменьшение ее вязкости, что отражается на кривых изменения коэффициента трения. При температурах более 90 °C большая часть смазки удаляется из зоны контакта и появляется граничное трение. В условиях проката это может приводить к недостаточному количеству смазки в очаге деформации и к появлению дефектов на поверхности трубы.

Результаты проведения экспериментов 1 и 2 типа со смазкой №2 представлены на рис. 6 и 7.

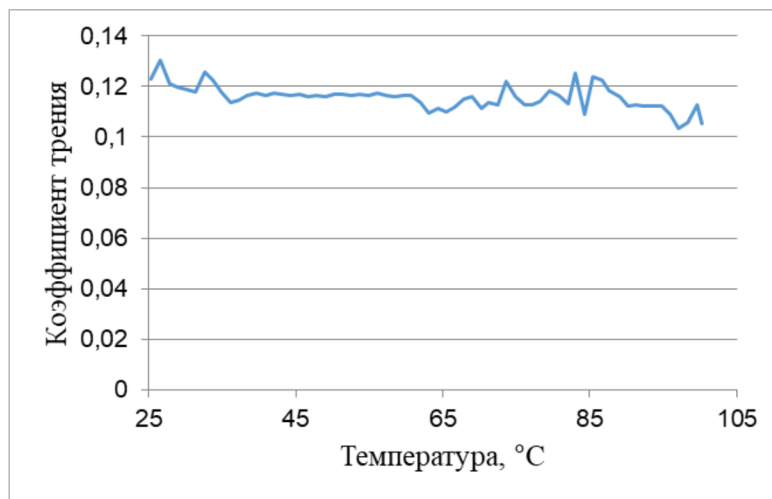


Рис. 6. Влияние температуры на коэффициент трения при заданной угловой скорости для смазки №2

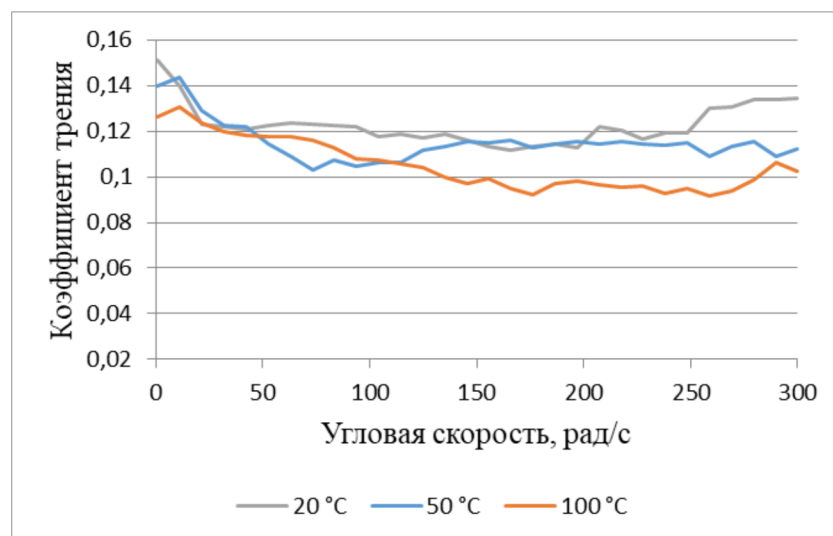


Рис. 7. Влияние угловой скорости на коэффициент трения при заданной температуре для смазки №2

Как видно из рис. 6 и 7, применение смазки №2 характеризуется более высоким коэффициентом трения, при этом свойства смазки мало зависят от температуры в пределах 20-100 °C.

Результаты проведения экспериментов 1 и 2 типа со смазкой №3 представлены на рис. 8 и 9.

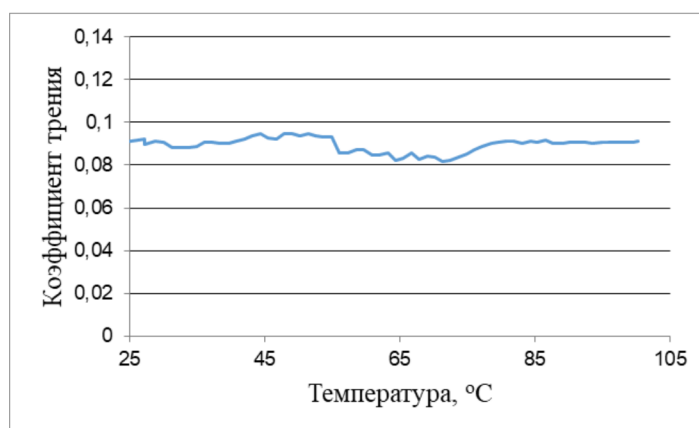


Рис. 8. Влияние температуры на коэффициент трения при заданной угловой скорости для смазки №3

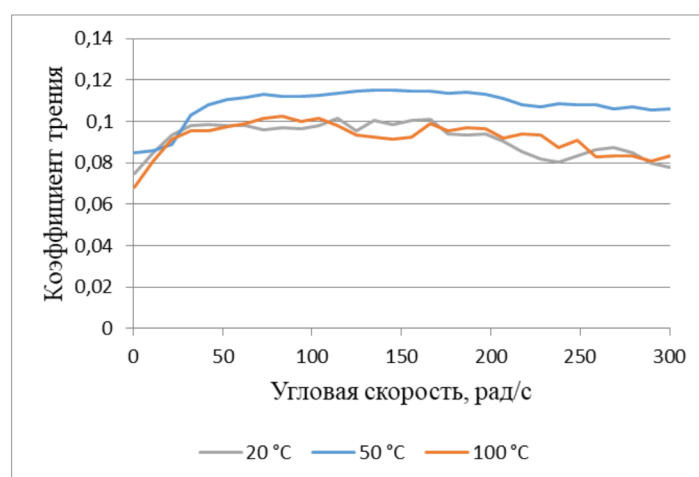


Рис. 9. Влияние угловой скорости на коэффициент трения, вязкость при заданной температуре для смазки №3

Как видно из рис. 8 и 9, испытания смазки №3 показали, что ее коэффициент трения находится между коэффициентами трения смазок №1 и №2, при этом свойства смазки также мало зависят от температуры в пределах 20-100 °C.

Выводы

Разработана методика проведения проверочных испытаний смазочных материалов на реометре TA Instruments Discovery DHR-2. Данная методика включает в себя проведение двух типов экспериментов:

- 1 тип: исследование влияния скорости (сдвига, угловой скорости), давления, крутящего момента на коэффициент трения, вязкость при заданной температуре;
- 2 тип: исследование влияния температуры на коэффициент трения, вязкость при заданных скоростях, давлении, крутящем моменте.

Эксперименты проводятся с использованием системы контактных поверхностей – шар на трех шарах. Параметры экспериментов (угловая скорость, температура, нагрузка) определены на основе режима холодной прокатки.

Методика проведения проверочных испытаний была апробирована на трех смазках, используемых на производстве: Со Chem смазке, содержащей касторовое масло, тальк, стекло и Zariten.

На прокатках, предшествующих финишной операции, температура в очаге деформации может достигать 100 °С. Как показали проведенные испытания, в этих условиях целесообразно применение смазки Zariten и смазки, содержащей касторовое масло, тальк, стекло, так как эти смазки показывают стабильные свойства при данной температуре. На финишной операции прокатки температура в очаге деформации не превышает 90 °С. Проведенные испытания показали, что в этих условиях целесообразно применение смазок Со Chem и Zariten, которые позволяют уменьшить коэффициент трения при данной температуре.

Список литературы

1. Холодная прокатка труб / Ю.Б. Чечулин, Л.А. Кондратов, Г.А. Орлов. М.: Металлургиздат, 2017.