

МЕТОДИКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

В. И. Капанов

Доктор технических наук, профессор
Заведующий кафедрой «Обработка металлов давлением»

Приазовский государственный технический университет

И. С. Сухоруков

ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича»

Цех холодной прокатки, бригадир отделения горячего нанесения цинка

ул. Урицкого, 99-9, г. Мариуполь, Украина, 87514

Контактный тел.: 098-230-14-43

E-mail: master_steel@mail.ru

А. Г. Присяжный

Старший преподаватель кафедры «Обработка металлов давлением»

Приазовского государственного технического университета

ул. 60 л. СССР, 33-19, г. Мариуполь, 87514

Контактный тел.: 067-58-73-245

E-mail: marinak2010@bk.ru

Запропоновані методики і представлені результати з оцінки ефективності різних технологічних мастил, які використовують при холодній, утомучислі і високошвидкісної прокатці відносно тонких стрічок та штаб. Сформульовані рекомендації з вибору технологічних мастил, які забезпечують підвищення техніко-економічних показників даного процесу

Ключові слова: холодна прокатка, технологічні мастила, ефективність

Предложены методики и представлены результаты по оценке эффективности различных технологических смазок, используемых при холодной, в том числе и высокоскоростной прокатке относительно тонких лент и полос. Сформулированы рекомендации по выбору технологических смазок, обеспечивающих повышение технико-экономических показателей данного процесса

Ключевые слова: холодная прокатка, технологические смазки, эффективность

Proposed the techniques and presented results are for assessing effectiveness of different technological lubricants used at cold, including high-speed rolling relatively thin bands and strips. Formulated recommendations on the choice of lubricants that enhance the technological and economic parameters of the process

Keywords: cold rolling, technological lubricants, efficiency

1. Введение

Исследования относятся к области процессов холодной, в том числе и высокоскоростной прокатки относительно тонких лент и полос, условия реализации которых в значительной степени определяются эффективностью используемых технологических смазок. Вопросы рационального выбора данных смазок и способов их нанесения рассмотрены в работах [1–5] и других. Вместе с тем повышение уровня требований к технико-экономическим показателям процессов промышленного производства холоднокатаного листового металлопроката делает актуальным проведение дальнейших исследований, направленных на повышение степени научной обоснованности принимаемых в каждом конкретном случае технических решений.

В современных условиях развития процессов холодной тонколистовой прокатки наиболее эффективными технологическими смазками принято считать

такие, которые обладают достаточно широким комплексом полезных свойств и обеспечивают условия реализации процесса холодной прокатки при максимально возможной степени деформации с минимальными энергосиловыми параметрами. Одновременно с этим данные технологические смазки должны обладать достаточной степенью термостойкости и стабильности смазочных свойств при больших скоростях прокатки [1, 4].

С увеличением скорости процесса холодной прокатки имеет место повышение степени влияния теплового эффекта, вибрационных нагрузок и гидродинамического эффекта жидкой фазы. Кроме того может изменяться степень износа твердой (квазикристаллической) смазочной пленки, что в своей совокупности и сочетании обуславливает создание особых условий эксплуатации технологических смазок. Исходя из изложенного выше, целесообразным является использование смазок, образующих на поверхности

прокатываемых полос прочный граничный слой, не разрушаемый при высоких нагрузках и повышенных скоростях деформации.

Следует указать на то, что граничный слой смазки, сформированный из активных полярных молекул, трудно разрушается под воздействием внешних механических сил, но имеет слабую стойкость к термическим воздействиям. В соответствии с этим при высокоскоростной прокатке, условия реализации которой характеризуются наличием существенных внешних нагрузок и значительным тепловым эффектом, целесообразным является экспериментальная оценка стойкости смазочных пленок различных технологических смазок, характеризующей ресурс их возможного использования.

Проведенные в соответствии с изложенным выше экспериментальные исследования были выполнены на высокоскоростном стане 300 кафедры «Обработка металлов давлением» Приазовского государственного технического университета, при этом в качестве рассматриваемых объектов были подобраны и подготовлены различные по природе, физико-химическим свойствам и происхождению некоторые известные смазки, а также ряд новых, разработанных на основе продуктов нефтепереработки высокоэкономичных технологических смазок. По степени проявления смазочно-скоростного эффекта можно оценить и эффективность каждой испытуемой смазки с точки зрения прочности и работоспособности смазочного слоя.

В рамках данных экспериментальных исследований ленты из стали Ст2кп с начальной толщиной 2,12...2,15 (мм) и шириной 50 мм, собранные в отдельные партии, одноразово перед прокаткой промасливали каждой испытуемой смазкой, выдерживали образцы в течение суток и подвергали холодной прокатке за три прохода без подачи какой-либо дополнительной смазки при постоянной установке нажимных винтов в соответствующем пропуске. В качестве исследуемых использовали полиметилсилоксановую жидкость ПМС-200, гидрогенизированное подсолнечное масло (ПКС-1), хлопковое натуральное масло, промышленное масло 20, технологическую прокатную смазку ТПС-К, опытные смазки ТПС-17М10, ТПС-17М20 и ТПС-17М30, 15 %-й мыльный клей (ингибитор АНСК-50) и дистиллированную воду.

В зависимости от своих физико-химических свойств технологические смазки по-разному влияют на изменение контактных сил трения и, как следствие, на напряженное состояние металла в очаге деформации [1–4]. В частности, увеличение скорости прокатки и использование более эффективных технологических смазок обуславливают снижение силы прокатки, а это, в свою очередь, приводит к снижению конечной толщины прокатываемых лент и полос. Снижается в этом случае и величина опережения, что также косвенно указывает на уменьшение степени влияния контактных сил трения.

В качестве примера результатов выполненных исследований на рис. 1 представлены эмпирические распределения суммарного коэффициента вытяжки в зависимости от вида используемой технологической смазки и скорости прокатки.

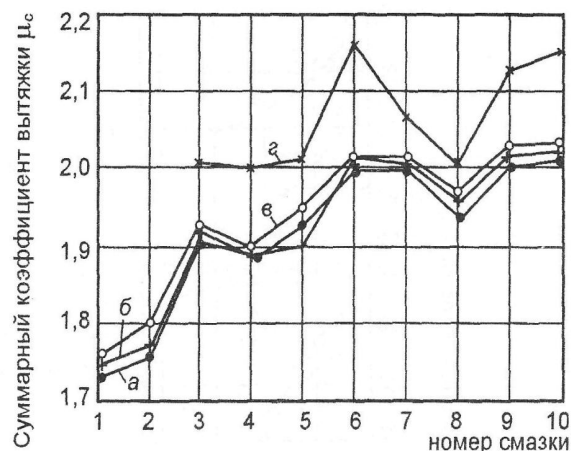


Рис. 1. Экспериментальная зависимость суммарного коэффициента вытяжки от вида технологической смазки и скорости при холодной прокатке на стане 300 по трехпроходной схеме со скоростями 4,5 (а), 9,5 (б), 15,7 (в) и 30,1 м/с (г) лент из стали Ст2кп начальной толщиной 2,12...2,15 (мм) с использованием смазок: 1 – полиметилсилоксановой жидкости (ПМС-200); 2 – дистиллированной воды; 3 – хлопкового масла; 4–15 %-го мыльного клея; 5 – промышленного масла 20; 6 – ТПС-17М10; 7 – ТПС-17М20; 8 – ТПС-17М30; 9 – ПКС-1; 10 – ТПС-К.

Из анализа представленных результатов следует, что наиболее низкими смазочными свойствами обладает полиметилсилоксановая жидкость ПМС-200. Группа синтетических смазок на основе продуктов нефтепереработки находится на достаточно высоком уровне, близком к растительной смазке ПКС-1. С увеличением скорости прокатки прослеживается почти общая закономерность повышения суммарного коэффициента вытяжки, что наиболее заметно при скорости прокатки 30 м/с.

Дистиллированная вода обладает несколько лучшими смазочными свойствами по сравнению с полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-200, но при скорости прокатки 30 м/с наблюдался навар частиц металла на рабочие валки. Малоэффективные смазки имеют непрочные смазочные пленки при высокой скорости прокатки и недостаточно защищают рабочие валки от наvara на них частиц металла прокатываемой полосы. С увеличением содержания промышленного масла в смазке ТПС-17 антифрикционные свойства смазочной пленки ухудшаются. Наиболее резкая разница между этими тремя составами получена при прокатке со скоростью 30 м/с.

Известно, что опережение и соответственно трение при высокоскоростной холодной прокатке относительно тонких лент и полос с технологическими смазками монотонно снижаются с увеличением скорости прокатки [1]. В качестве критерия при экспериментальной и расчетной оценке влияния смазки и скорости прокатки на величину опережения использовали методики работ [1–4], а полученные в этом случае результаты иллюстрированы рис. 2, 3.

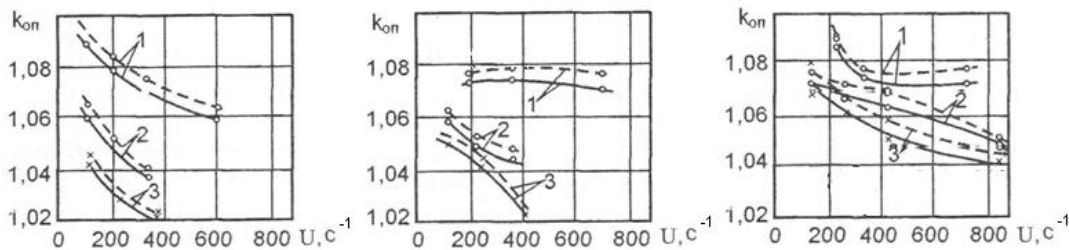


Рис. 2. Зависимости эмпирических (штриховая линия) и расчетных (сплошная линия) значений коэффициента опережения $k_{оп}$ от скорости деформации U при холодной прокатке на стане 300 лент из стали Ст2кп начальной толщиной 2, 12...2, 15 (мм) с различными технологическими смазками: 1 — полиметилсилоксановая жидкость ПМС-200; 2 — 15 %-м мыльный клей; 3 — ПКС-1; а, б, в — первый, второй и третий проход, соответственно.

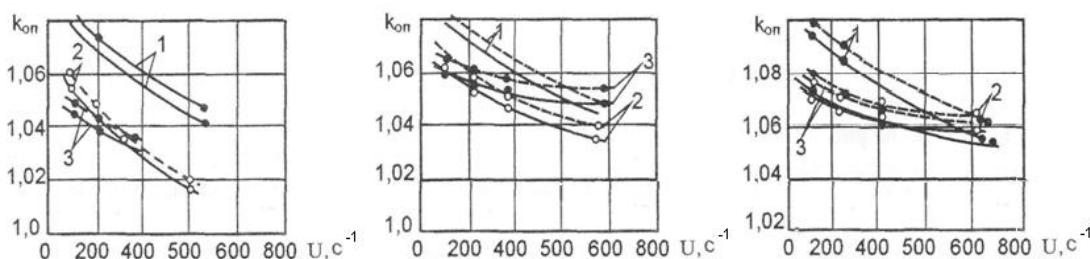


Рис. 3. Зависимости эмпирических (штриховая линия) и расчетных (сплошная линия) значений коэффициента опережения $k_{оп}$ от скорости деформации U при холодной прокатке на стане 300 лент из стали Ст2кп начальной толщиной 2, 12...2, 15 (мм) с различными технологическими смазками: 1 — индустриальное масло 20; 2 — хлопковое масло; 3 — ТПС-17М10; а, б, в — первый, второй и третий проход, соответственно.

Следуя результатам анализа представленных распределений, необходимо отметить, что с увеличением скорости деформации U имеет место монотонное уменьшение коэффициента опережения $k_{оп}$. Некоторое несоответствие в этом случае является характерным для холодной прокатки лент во втором и третьем проходах с использованием технологических смазок ПМС-200 и 15%-ого мыльного клея. Остальные смазки как растительного, так и синтетического происхождения показали схожий характер снижения коэффициента опережения, несколько отличающийся интенсивностью изменения, обусловленной антифрикционными свойствами каждой из исследуемой смазок.

Сопоставительный анализ расчетных и эмпирических распределений (см. рис. 2, 3), показал, что они достаточно хорошо согласуются между собой, при этом максимальная степень их несоответствия в относительном измерении не превысила 1%.

Помимо указанного выше было отмечено некоторое увеличение коэффициента опережения с увеличением количества пропусков, что обусловлено частичным износом смазочного слоя на поверхности прокатанных лент, однократно промасленных опытной смазкой перед прокаткой и без применения дополнительной смазки на стане. Особенно заметно теряется смазочная способность во втором и третьем пропусках с использованием полиметилсилоксановой жидкости ПМС-200, имеющей наиболее низкий уровень антифрикционных свойств при высокоскоростной прокатке.

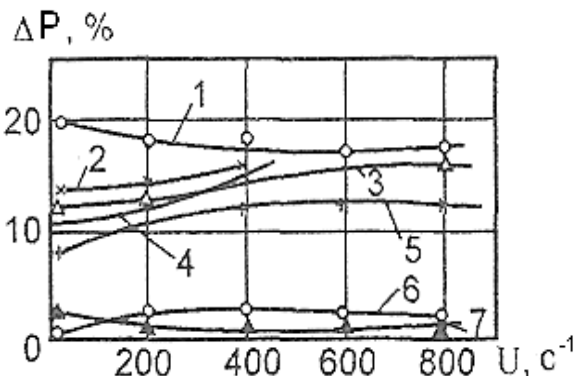


Рис. 4. Зависимость относительного изменения силы $\Delta P_{от}$ скорости деформации U при холодной прокатке в третьем пропуске лент из стали Ст2кп с различными технологическими смазками: 1 — ПМС-200; 2 — вода; 3 — индустриальное масло 20; 4 — 15 %-м мыльный клей; 5 — хлопковое масло; 6 — ТПС-К; 7 — ТПС-17М10(М20 и М30).

Величину силы прокатки, полученную в этом случае с использованием различных технологических смазок сопоставляли с аналогичным показателем, полученным при прокатке с использованием одной из наиболее эффективных смазок ПКС-1 в диапазоне изменения скорости деформации от 100 до 800 c^{-1} . При этом следует указать на то, что при использова-

В качестве других результатов выполненных экспериментальных исследований на рис. 4 представлены эмпирические распределения интенсивности изменения силы прокатки в зависимости от скорости деформации и вида используемой технологической смазки.

нии дистиллированной воды, индустриального масла 20, мыльного клея и хлопкового масла наблюдается возрастание силы прокатки. Технологическая смазка ПМС-200 имеет несколько иной характер изменения силы прокатки, поскольку по антифрикционным свойствам она значительно отличается от смазки ПКС-1.

В случае использования технологических смазок ТПС-17М10, ТПС-17М20, ТПС-17М30 и ТПС-К относительное изменение силы почти не зависит от скорости деформации и изменяется всего лишь в диапазоне 1...2,5 (%). Отмеченное подтверждает высокие антифрикционные свойства и прочность пленок синтетических смазок в очаге деформации процесса холодной прокатки, близких к растительной смазке ПКС-1.

При высокоскоростной холодной прокатке 15%-й мыльный клей превосходит дистиллированную воду, но значительно уступает натуральному хлопковому и индустриальному маслам. Некоторое превосходство мыльного клея над водопроводной и морской водой отмечено в работе [1], в которой на специальной установке имитировали процесс горячей прокатки, исследовали свойства смазочно-охлаждающих жидкостей. По крутящему моменту и коэффициенту трения мыльный клей оказался лучше водопроводной и морской воды.

В рамках данной работы впервые при высокоскоростной прокатке относительно тонких лент из отожженной низкоуглеродистой стали Ст2кп типоразмера 1,95 x 50 мм с обжатием порядка 15 % исследовали влияние синтетических жирных спиртов C_{17} - C_{20} (СЖС), составляющих отдельную большую группу органических соединений [1]. Так как для приготовления водных эмульсий непосредственно из спиртов необходим эмульгатор, то его вводили в небольшом количестве от 1 до 4 % в опытную смазку ЭК-7 и при этом получали однородную и достаточно стабильную эмульсию. Таким образом были приготовлены четыре опытные эмульсии на основе смазки ЭК-7 с добавкой соответственно 1 % СЖС (ЭК-7СЖС1), 2 % (ЭК-7СЖС2), 3 % СЖС (ЭК-7СЖС3) и 4 % СЖС (ЭК-7СЖС4).

Полученные в этом случае результаты, иллюстрируемые рис. 5, показали, что при наименьшей скорости прокатки 4,5 м/с добавка 1 % СЖС снижает величину нормальных контактных напряжений на 100 МПа по сравнению со смазкой ЭК-7 без СЖС. Примерно такая же разница получена и при содержании в эмульсии 2 и 3 % СЖС. Несколько меньшее снижение исследуемого параметра, соответствующее 50 МПа, отмечено при прокатке полос со смазкой ЭК-7СЖС4.

При прокатке со скоростью 9,5 м/с наблюдается такая же закономерность, то есть наибольшее снижение нормальных контактных напряжений получено при содержании 1 % СЖС, такой же эффект показали технологические смазки ЭК-7СЖС2 и ЭК-7СЖС3, в то время как смазка ЭК-7СЖС4 опять оказалась менее эффективной. Более заметное влияние 1 %-ной добавки СЖС имело место при скорости прокатки 15,7 м/с, при этом именно в этом случае было отмечено наименьшая величина нормальных контактных напряжений, соответствующая порядка 350 МПа.

При содержании 2 % и 3 % синтетических жирных спиртов в смазке ЭК-7 величина нормальных контактных напряжений постепенно возрастает и составляет 400 МПа и 450 МПа, соответственно. Опытная смазка

ЭК-7, содержащая 4 % СЖС, при прокатке полос со скоростью 15,7 м/с, показала почти одинаковые свойства со смазкой ЭК-7СЖС2. В случае максимальной скорости прокатки 30,1 м/с также установлено положительное влияние СЖС, поскольку наблюдается заметное снижение энергосиловых параметров исследуемого процесса.

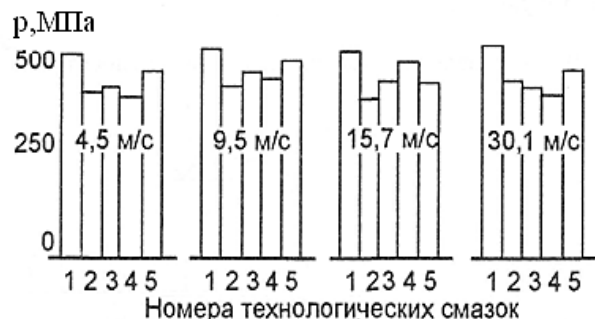


Рис.5. Распределения нормальных контактных напряжений при холодной прокатке на стане 300 лент из стали Ст2кп типоразмера 1,95x50 мм при постоянной установке нажимных винтов с различными технологическими смазками: 1 - ЭК-7; 2 - ЭК-7СЖС1; 3 - ЭК-7СЖС2; 4 - ЭК-7СЖС3; 5 - ЭК-7СЖС4.

Обобщая результаты выполненных экспериментальных исследований, необходимо указать на высокую эффективность опытных смазок при высокоскоростной прокатке, достигнутой благодаря гидродинамическому эффекту и физико-химическим свойствам. Менее эффективной по сравнению с другими оказалась смазка ЭК-7СЖС4, что позволяет сделать вывод о наличии рационального значения присадки СЖС к смазке ЭК-7 в количестве составляющем порядка 1...3 (%). Опытные эмульсии, содержащие СЖС, показали хорошую смачиваемость поверхности стальных образцов. Такие эмульсии имеют улучшенные моющие свойства, что также важно для современных технологических смазок и моюще-охлаждающих жидкостей. Несмотря на то, что синтетические жирные спирты имеют сравнительно высокую стоимость, все же добавка их к смазкам в ряде случаев может быть оправдана и вполне целесообразна как при обычной, так и при высокоскоростной тонколистовой прокатке.

В целом, экономичные синтетические смазки могут успешно конкурировать с известными дорогостоящими растительными при высокоскоростной холодной прокатке. Увеличивая содержание ПАВ в этих смазках, можно повысить их эффективность или, наоборот, снижая содержание ПАВ, можно ухудшить смазочные свойства. Такая возможность регулирования эффективности смазок позволяет подобрать необходимые свойства смазок, являющихся приемлемыми для конкретных условий реализации процесса холодной прокатки различных сталей и других материалов.

Выводы

На основе предложенных методик дана экспериментальная оценка основных показателей эффективности различных технологических смазок, используя

емых при холодной, в том числе и высокоскоростной прокатке относительно тонких лент и полос. Показана целесообразность замены дорогостоящих растительных технологических смазок на более экономичные

синтетические, выявлены диапазоны рационального содержания присадок синтетически жирных спиртов в смазке ЭК-7 соответствующее 1...3 (%).

Литература

1. Капланов В. И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива : монография / В. И. Капланов. – Мариуполь : Изд-во «Рената», 2008. – 456 с.
2. Грудев А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением : справ.изд. / А. П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1982. – 312 с.
3. Белосевич В. К. Трение, смазка, теплообмен при холодной прокатке листовой стали / В. К. Белосевич. – М. : Металлургия, 1989. – 256 с.
4. Капланов В. И. Высокоскоростная холодная прокатка тонких полос / В. И. Капланов. – К. :Вища школа, 1993. – 254 с.
5. Грудев А. П. Технологические смазки в прокатном производстве /А. П. Грудев, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1975. – 368 с.

Запропоновано узагальнений генетичний алгоритм формування опорних точок програмних траєкторій для вирішення задачі обходу перепон при синтезі руху робочих органів промислових роботів. Запропоновано функцію пристосування генетичного алгоритму, що враховує динаміку переміщення маніпуляційної системи промислових роботів

Ключові слова: програмна траєкторія, генетичний алгоритм, конфігурація

Предложен обобщенный генетический алгоритм формирования опорных точек программных траекторий для решения задачи обхода препятствий при синтезе движения рабочих органов промышленных роботов. Предложена функция приспособления генетического алгоритма, учитывающая динамику перемещения манипуляционной системы промышленных роботов

Ключевые слова: программная траектория, генетический алгоритм, конфигурация

The general genetic algorithm of program trajectory key points for obstacles avoiding task is considered in this paper. The dynamics of industrial robots manipulation system movements is allow for the adaptation and fitness functions which include the dynamics of industrial robots manipulation system movements

Key words: program trajectory, genetic algorithm, configuration

УДК 621.865.8

КОРЕГУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ ПРИ ОБХОДІ ПЕРЕПОН

В. А. Кирилович
Асистент*

Контактний телефон (моб.) (050) 440-77-09
E-mail: bmart@yandex.ru

М. В. Богдановський
Кандидат технічних наук, доцент

*Кафедра Автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій
Житомирський державний технологічний університет
Контактний телефон (моб.) 385-96-27
E-mail: kiril_v@mail.ru

Вступ

Планування програмних траєкторій руху робочих органів маніпуляційної системи промислових роботів (РО МС ПР) в просторі узагальнених координат (конфігураційному просторі) пов'язано із вирішенням задач просторово-часового спряження опорних точок траєкторій, "прив'язаних" до зон обслуговування ос-

новного та допоміжного технологічного обладнання (ТО) із забезпеченням геометричної, кінематичної та динамічної сумісності переміщення РО [1, 2, 3, 4].

Відповідно до відомої методики автоматизованого планування програмного руху [5,6] процес планування розбито на декілька етапів, основними серед яких є формування вихідних конфігурацій МС ПР в зонах обслуговування ТО, планування програмного