

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЧНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

Шевченко Михайло Павлович

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГАРЯЧОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ
ТИСКОМ І ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛОСЕМІН-
НИХ КОНТАКТНИХ ПРОЦЕСІВ

Спеціальність 05.16.05 - "Обробка металів тиском"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня доктора
технічних наук

Одеса, 1993 р.



00810644 (N)

АВ 28.230

Робота виконана в Одеському інституті низькотемпературної техніки та енергетики

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України Грудев А.П.

академік ІТА РЕ, доктор технічних наук, професор Макушок Е.М.

доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України Мазур В.Л.

Провідна організація:

Одеське науково-виробниче підприємство "Спецтехоснащення", м.Одеса

Захист відбудеться " 26 " _____ 1993 р.

о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 068.02.01 при Державній металургійній Академії України /320635, м.Дніпропетровськ, пр-т Гагаріна, 4 /.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державній металургійній Академії України.

Автореферат розісланий " _____ " _____ 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради, доктор технічних наук, професор

М.М.Саф'ян

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність проблеми.

Процеси пластичного деформування металів з метою одержування деталей механізмів, машин, споруд є найбільш прогресивними та економічними. Загальновідомим є прогресивний характер технології обробки металів тиском, заснованої на одержанні заданої форми деталей чи заготовок в результаті раціонального перерозподілу металу, а не за рахунок вилучення частини його в стружку, як при обробці різанням.

Якість прокату, поковок і штампованих деталей /точність розмірів і форми, шорсткість і розташування поверхні, що вимагається/, а також виробництво установок пластичної деформації вирішальною мірою визначається стійкістю технологічного інструмента. Впровадження нових високопродуктивних і автоматизованих прокатних станів і ковальсько-штампувальних машин, постійно зростаючі вимоги до якості випускової продукції підвищують вимоги, висунуті до точності і міцності технологічного інструмента.

Гаряча обробка металів тиском робить жорсткими умови роботи технологічного інструмента за рахунок температурних змін напруженого стану деформованого металу і металу інструмента.

До того ж, розподільний шар між деформуючим металом та інструментом, який складається із окислів заліза і технологічного мастила, неоднозначно впливає на стійкість технологічного інструмента. Огляд літературних джерел показав, що ще не сформувався достатньо обґрунтований і послідовний підхід у вирішенні проблеми стійкості інструмента в процесах гарячої обробки металів тиском. Забезпечення високої стійкості технологічного інструмента можливе на базі вирішення комплексу питань, які включають вивчення умов роботи інструмента в процесі всього циклу деформації, розробку технології мастила і охолодження, проектування оптимальних конструкцій технологічного інструмента.

Мета і завдання дослідження.

Дисертація присвячена розробці і розвитку нового напрямку у вирішенні науково-технічної проблеми - підвищення стійкості технологічного інструмента при гарячій обробці металів тиском на основі термодинамічних принципів оптимізації контактних термосилових процесів.

Мета роботи - підвищення зносостійкості технологічного інструмента і продуктивності установок для гарячої обробки металів тиском шляхом управління термодинамічним станом технологічного інструмента при пластичній деформації з ефективним використанням технологічного мастила й охолодження. Поставлена мета досягається рішенням наступного завдання:

Розробити термодинамічні основи розрахункової оцінки інтенсивності спрацювання технологічного інструмента для гарячої обробки металів тиском на основі енергетичних уявлень про процес тертя і на їх основі запропонувати рекомендації вибору оптимальних /із зносостійкості/ умов роботи технологічного інструмента.

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, результати якого можуть бути прийняті як новий науковий напрямок в обробці металу тиском - застосування термодинамічної методології в оптимізації контактних процесів з метою підвищення стійкості технологічного інструмента.

Основна наукова теза, висунута на захист.

1. Технічну проблему підвищення стійкості технологічного інструмента при гарячій обробці металів тиском доцільно вирішувати на основі термодинамічних концепцій еволюції систем.

Крім того, в праці захищається частковий науковий положення.

2. Ентропійний підхід до руйнування поверхні інструмента дозволяє оптимізувати режим спрацювання із врахуванням всіх фі-

зико-хімічних явищ, що відбуваються на контактні інструмент-заготовка.

3. Механізм теплового впливу розподільного шару /мастило, покриття/ визначається його теплофізичними властивостями, які під час певного характеру змін можуть повністю вилучати теплові впливи деформувачого металу.

4. Термічний аналіз технологічних мастил дає можливість прогнозувати їх поведінку в зоні пластичної деформації. Продукти взаємодії технологічного мастила і матеріалу інструмента змінюють теплові і силові параметри контакту.

5. Технологічні мастила з $T_{пл} < T_{ж}$ відводять тепло з поверхні інструмента шляхом їх деструкції і випаровування після пластичної деформації. Ефективність такого охолодження сумірна з іншими видами охолодження.

6. Додаток сольових і органічних компонентів технологічних мастил до води при повітряно-водовипаровувальному охолодженні дозволяє розширити область "змочуємого" режиму взаємодії краплин.

7. Ефективність застосування технологічних мастил залежить від конструктивних особливостей роботи установок для їх подачі на поверхню інструмента.

8. Збірний технологічний інструмент за певної методології конструювання має властивість високої надійності в роботі і підвищену міцність.

Наукова новина.

1. На основі термодинамічного методу оцінки інтенсивності спрацювання матеріалів запропоновано принцип управління зносостійкість технологічного інструмента під час процесів гарячої обробки металів тиском шляхом локалізації теплового поля у роз-

подільному шарі і відведення тепла тепломасообміном протягом всього циклу пластичної деформації.

2. Розкрито механізм впливу технологічних мастил на тепловий стан матеріалу технологічного інструмента під час пластичної деформації металу заготовки.

3. Розроблені установки і метод експериментального визначення теплофізичних властивостей компонентів технологічних мастил. Дана методика розрахунку теплофізичних властивостей як однокомплектного, так і багатокомплектного технологічного мастила.

4. Наведено термічний аналіз технологічних мастил під час дії на них високих температур. Вивчення кінетики процесу розкладу деяких компонентів технологічних мастил дозволяє використовувати їх для охолодження інструмента після пластичної деформації.

5. Термічний аналіз сольових технологічних мастил дав можливість розробити рекомендації для розширення діапазону температур, у якому мастило знаходиться в розплавленому стані. Це дало можливість підбором компонентів технологічного мастила планувати процес пластичної деформації із рідинним режимом тертя.

6. Встановлено, що розплави сольових технологічних мастил взаємодіють з металом інструмента. Продукт взаємодії окислів заліза з неорганічними солями впливає на фрикційні умови контакту.

7. Технологічне мастило впливає на температурний режим технологічного інструмента після пластичної деформації і під час нанесення її на поверхню інструмента. Випаровування, сублимація, деструкція залишків технологічного мастила з поверхні інструмента створює теплообмін з оточуючим середовищем, під час якого

виникає в технологічному інструменті "м'який" режим охолодження.

8. Експериментально вивчено вплив добавок сольових органічних компонентів технологічних мастилах на воду під час повітряно-водовипарувального охолодження інструмента. Добавки розширюють область існування "змочуючого" режиму взаємодії краплин в області більш високих температур, компоненти мастил органічного походження поліпшують режим охолодження тільки у вузькому діапазоні концентрацій.

9. Результати досліджень дали можливість провести оптимальні конструкції установки для подачі мастила і охолодження, а також розробити нові конструкції складового інструмента, спосіб їх монтажу і демонтажу.

Практична цінність і реалізація досліджень.

Результати проведених досліджень дозволили розробити наукову базу для управління зносостійкістю технологічного інструмента, який застосовується під час процесів гарячої обробки металів тиском. Розроблені основи підвищення зносостійкості інструментальних матеріалів дали можливість:

- з урахуванням теплообмінних процесів між заготовкою і інструментом прогнозувати зносостійкість матеріалу матеріалу інструмента залежно від умов тертя під час пластичної деформації,

- визначати температурно-силові режими роботи технологічного інструмента,

- розробляти мастила. Розроблене технологічне мастило /А.С. СРСР 324086/ широко застосовується під час процесів гарячої пластичної деформації /прокатка, штампування, пресування/ як на підприємствах СНД, так і за кордоном,

- розробляти автоматизовані установки для подачі

технологічних мастил на поверхню інструмента і його охолодження,

- розробляти нові конструкції технологічного інструмента і способи їх монтажу і демонтажу. Новий технологічний інструмент з найбільш оптимальними температурними режимами роботи /А.С.СРСР 304002, 1282951, 1162545/ і способи його монтажу і демонтажу /А.С.СРСР 728975, 7052309/ пройшли промислову апробацію і показали добрі технологічні і експлуатаційні результати.

Результати пройшли промислову апробацію і були запроваджені на багатьох металургійних і машинобудівних заводах.

На деякі розробки отримані ліцензії з подальшим запровадженням результатів за кордоном. Відповідно до програми О.С.СРСР результати досліджень передані /ДИПХ і НДІТСМ/ для запровадження на підприємствах хімічно-автотракторного-сільсько-господарського машинобудування. Результати досліджень використовували під час розробки проектів реконструкції діючих /ИПЗ, ДПЗ/ і будівництва нових трубопрокатних установок /ВПЗ/ передані Омському заводу гідроапаратури для будівництва нового ковальського цеху і ЕНІМаш для використання під час реконструкції ковальсько-пресових машин.

Публікації та апробація досліджень.

Наукові результати дисертації опубліковані в 47 друкованих роботах і 13 депоновані у звітах, виконаних на замовлення підприємств РІ УРСР і ДНДТ СРСР.

Про результати проведених досліджень розповідалось на республіканських /1969 р.м.Дніпропетровськ, 1970 м.Запоріжжя/ і всесоюзній /1969 м.Челябінськ/ конференції молодих вчених, на всесоюзній конференції "Теорія, практика і перспективи розвитку виробництва безшовних труб на установках з безперервними станами" /1973 м.Дніпропетровськ/, на УІІІ всесоюзній науково-технічній конференції "Науково-технічний прогрес в металургії і ме-

талознавстві чорних металів" /1974 м. Москва/, на всесоюзній конференції "Удосконалення конструкції машин і підвищення строку їх служби" /1977 м. Київ/, на всесоюзній конференції "Удосконалення процесів подовжньої прокатки труб" /1979 м. Челябінськ/, на всесоюзній конференції "Методи і засоби машинної діагностики газотурбінних двигунів і їх елементів" /1983 м. Харків/, на всесоюзній науковій конференції "Підвищення ефективності, удосконалення процесів і апаратів хімічних виробництв" /1985 м. Харків/, на III республіканській науково-технічній конференції "Тертя і технологічні мастила при обробці металів тиском" /1985 м. Дніпропетровськ/, на III всесоюзній конференції "Надпластичність металів" /1986 м. Тула/, на всесоюзній конференції "Шляхи інтенсифікації виробництва із застосуванням штучного холоду в галузях агропромислового комплексу" /1989 м. Одеса/, на міжінститутському семінарі "Тертя і технологічні мастила під час обробки металів тиском" /1980, 1987, 1992 м. Дніпропетровськ/, на кафедральному семінарі "Пластична деформація металів і сплавів" /1981 м. Москва МУС/С/, на об'єднаному науковому семінарі кафедри обробки металів і прокатного відділу інституту чорної металургії ММ СРСР /1988, 1991 м. Дніпропетровськ/, на міжкафедральному семінарі "Машини і технологія обробки металів тиском" /1990 ЛТУ м. Ленінград/.

Об'єм і структура праці.

Дисертація складається із вступу, восьми глав, загальної характеристики, результатів виведення, висновків списків використаної літератури і додатків. Вона має 333 сторінки друкарського тексту, 78 рисунків, 27 таблиць і бібліографічний список із 302 наменувань.

Зміст праці.

Найважливішим елементом установки для пластичної деформації металів є технологічний інструмент. Технологічний інструмент визначає форму заготовки чи деталі, витрачання металу, а також значно впливає на продуктивність установок, енергетичні витрати, собівартість продукції, умови праці обслуговуючого персоналу.

Технологічний інструмент під час гарячої пластичної деформації працює в умовах складних механічних і теплових дій. Аналіз літературних даних свідчить, що значний вплив на спрацювання технологічного інструмента роблять теплообмінні процеси, що виникають на контакті заготовка-інструмент.

З метою зниження теплової дії контактних процесів на стійкість технологічного інструмента підбирають спеціальні теплостійкі сталі. Але в процесі пластичної деформації на контакті заготовка-інструмент протікають також теплоенергетичні процеси, під час яких температура розігрівання може набагато перевищувати теплостійкість матеріалу інструмента.

Крім того, високий градієнт температур як під час процесу пластичної деформації, так і під час процесу охолодження технологічного інструмента призводить до виникнення значних термічних напруг.

Аналіз методів розрахунку труботехнічних параметрів виявив, що під час вивчення процесів гарячої пластичної деформації застосовують відомі рівняння для контактування твердих тіл Амонтона-Кулона, І. Ньютона, Б. В. Дерягіна, Ф. П. Боудена, Д. Тейлора, С. І. Усаченкова, Н. Е. Крагельського, які значною мірою враховують силову дію і менше теплообмін, супроводжуваний процесом контактування. Енергетичні методи і розрахунки тертя і спрацювання набули свій розвиток у працях

Б.І.Костецького, А.В.Чічінадзе, Т.Фляйґиєра, В.Н.Дроздова, В.Ф.Федорова, А.І.Чудновського, А.А.Риккіна та інших. Під час використання енергетичного методу береться до уваги весь комплекс механо-фізико-хімічних процесів контактування. Поміж енергетичних параметрів найбільш точно описує процеси енергообміну - ентропія.

$$S = \sum S_k(U^k, D^k, M^k, A^k) / V$$

де U, D, M, A , - зміни внутрішньої енергії, деформації, маси, площі.

Під час процесів гарячої обробки металів тиском енергообмін між заготовкою та інструментом здійснюється через розподільний шар. Таким розподільним шаром може бути покриття, нанесене чи утворене різними технологічними способами /термодеформуванням, хіміко-термічною обробкою, термодифузійними напорошеннями та ін./, а також металічна плівка і технологічне мастило.

Технологічні мастила, застосовані в процесах пластичної деформації металів, служать для зменшення контактних сил тертя, підвищення пластичності деформуючого металу, розподілу поверхней. Розробка загальних положень застосування мастил під час процесів обробки металів тиском присвячені праці С.Я.Вейлера, Е.Р.Блейтузейта, О.К.Чертавського, питання застосування мастил під час прокатки визначались О.П.Грудєвим, під час штамповки - С.А.Довнаром, Я.М.Схріменком, К.М.Богоявленським. Якщо для холодної обробки металів тиском теоретичні основи застосування були розроблені: С.І.Усаченком /листова штамповка/, О.П.Грудєвим /прокатка/, В.Л.Колмогоровим /волочіння/, то для гарячої обробки таку теорію ще треба буде розробити.

Під час гарячої пластичної деформації металів між

заготовкою та інструментом відбувається теплообмін через технологічне мастило або шар окислів. Теплообмін, що відбувається, знижує тепловміст заготовки, зменшує її пластичність, підвищує зусилля деформації, збільшує розігрівання матеріалу інструмента під час комплексної дії, що негативно відбивається на його міцносних характеристиках поверхневих шарів інструмента, на його стійкості і тривкості. Температура розігрівання поверхні інструмента досягає 600-800°C. Це перевищує теплостійкість більшості інструментальних сталей, застосованих в процесах обробки металів тиском. Існуючі аналітичні методи розрахунку дають можливість визначити температурне поле технологічного інструмента з урахуванням особливостей пластичної деформації, але не враховують теплофізичні властивості розподільного шару і можливе охолодження інструмента як під час пластичної деформації, так і під час пауз.

Через те, що основною причиною виходу технологічного інструмента з ладу є руйнування контактної поверхні необхідно оптимізувати режим взаємодії, що забезпечує мінімальне спрацювання, спираючись на певні критерії оптимізації. Енергетичні теорії руйнування матеріалів свідчать, що процеси руйнування визначають енергетичним станом поверхні тертя, яка, в свою чергу, залежить від температури розігрівання. Величина стирання пов'язана з температурою поверхні інструмента нелінійною залежністю і монотонно збільшується з її ростом. Знаючи температуру контактної поверхні і вихідні дані механо-властивості останньої, можна планувати процеси контактної взаємодії. Впливати на температуру розігрівання поверхні можна шляхом вибору технологічного мастила із врахування його теплофізичних і механічних властивостей. Дія сил тертя являє собою асиметричний коливальний /флуктуацій-

ний/ процес, який супроводжується появою в мікро- і макрооб'єктах при контактному шару складного комплексу механо-фізико-хімічних явищ. Робота сил тертя сприяє здійсненню перетворень, під час яких виділена енергія витрачається на реалізацію оборотних і необоротних процесів. Необоротність процесів зумовлена втратами маси продуктів спрацювання, хімічними перетвореннями, тепловими втратами в оточуюче середовище. Тому об'єкти, залучені в процесі тертя, можна розглядати як відкриту термодинамічну систему, до якої застосовані рівняння лінійної нерівновагової термодинаміки.

До лінійної нерівновагової термодинаміки відноситься теорема лінійного виробництва ентропії, яку можна застосувати до процесів тертя. Виробництво ентропії $d_1 S$ складається з виробництва ентропії $d_1 S$, викликане змінами всередині системи, і потоком ентропії $d_2 S$, що виник внаслідок взаємодії із зовнішнім середовищем.

$$d_1 S = d_1 S + d_2 S \quad /2/$$

Під час протікання необоротних процесів виробництво ентропії завжди позитивне і визначається класичною нерівністю Карно-Кельвіна:

$$d_1 S = d_1 S - \frac{dQ}{T} \geq 0 \quad /3/$$

Процеси тертя значно діють на властивості мікро- і макрооб'єктах поверхневого шару. Тому з метою залучення до цих процесів об'єктів застосовується принцип локальної рівноваги, на підставі якої можна вважати, що в кожному малому елементі об'єкту середовища існує стан локальної рівноваги. Передбачення про локальну рівновагу не заперечує той факт, що система в цілому нерівновагова. Використовуючи цей принцип і роз'язуючи сукупно рівняння максимальної роботи, збереження внутрішньої енергії і збереження маси і руху, отримаємо рівняння для визначення змін ентропії

всередині системи.

$$\frac{\partial}{\partial T} \int S dV = P[S] - \Phi[S] \quad /4/$$

визначуванов різниці похідної $P[S]$ і відведеною у зовнішнє оточення $\Phi[S]$ ентропій.

Несоборотні процеси бувають двох видів: із руйнуванням структури близько стану рівноваги, із виникненням диссипативних структур далеко від стану рівноваги, коли зовнішні параметри перевищують критичні значення. І перший, і другий вид моделюють в контактних процесах. Контактне тертя під час процесів обробки металів тиском відноситься до відкритих систем. У відкритих системах прагнення до рівноваги визначається мінімальним добутком $P[S] - \min$.

Умова стійкості системи можлива, коли виробництво надмірної ентропії $P[\delta S]$ від флуктуаційних більше нуля.

$$P[\delta S] = \nu \cdot \sum \delta J_{\alpha} \cdot \delta X_{\alpha} \geq 0 \quad /5/$$

Виробництво зайвої ентропії залежить від термодинамічних потоків J_{α} і термодинамічних сил X_{α} , які виникають на контакті. Характер зміни $P[\delta S]$ має екстремум. Це дає підставу прийняти його за критерій оптимізації процесу тертя.

Прийнявши умову руйнування матеріалу в вигляді:

$$S(\tau_c) = S_c \quad /6/$$

і обмежившись розглядом мікроб'єсів поверхневого шару, який піддався руйнуванню, матимем функцію, що визначає інтенсивність спрацювання від параметрів тертя.

$$\dot{J} = f[T_n^k; (q \cdot \Delta T)^m; (G \cdot U)^e; (A \cdot \omega)^n; (q \cdot \Delta)^p] \quad /7/$$

де:

S_c - критичне значення щільності ентропії,

τ_c - час руйнування,

$T_n, q \cdot \Delta T, G \cdot U, A \cdot \omega, q \cdot \Delta$ - аргументи термодинаміки тертя,

k, m, n, ℓ, p - степеневі коефіцієнти.

Аналіз рівнянь /5/ і /7/ показав, що стійкість дисипативної системи та інтенсивність спрацювання залежить від фізико-хімічних властивостей розподільного шару.

З цією метою були проведені дослідження впливів окислих плівок, захисних покриттів і технологічних мастил на процеси тертя і спрацювання технологічного інструмента.

Як перший етап рішення поставлених завдань в роботі розглянуто вплив окислих плівок на стійкість технологічного інструмента. За характером змін енергії активації процесу пластичної деформації поверхневого шару технологічного інструмента визначена товщина захисної окисної плівки. Розрахунки показали, що для низьколегірованої сталі мінімальна товщина захисної плівки окислів складає 20-25 мкм.

Проведені дослідження показали, що наявність розподільного шару із окислів металу на поверхні технологічного інструмента підвищує довготривалість і знижує температуру розігрівання. Шар окислів утворювався шляхом розігрівання інструмента до температур 720-950°C з наступною обкаткою водяним охолодженням. Зміна температури в межах 720-950°C дає можливість утримати шар окислів з різною твердістю підложки /28+50 HRC/. Мікроструктурний аналіз і аналіз мікротвердості показав, що на поверхні оправок утворюється білий шар глибиною до 0,5 мм, мікротвердість якого 4000+5600 $\frac{MN}{m^2}$ причому, на глибині до 1,6+2,0 мм спостерігається структура сорбіта з мікротвердістю 2700+2800 $\frac{MN}{m^2}$, а глибше - вихідні мікροструктура і мікротвердість /рис.1/. Шліфовані оправки заздалегідь термооброблялись, тому захисної плівки окислів не мали.

Початкова мікротвердість таких оправок була в 1,1 раза вище, ніж в обкатаних. Після прокатки труб розігрівання шліфованих оправок було вище, ніж в обкатаних, про що свідчить збільшення

глибини білого шару до 1,6+1,8 мм і підвищення мікротвердості до 6000+6100 МН/м². Збільшення шару із структуров відпуску і твердості нижче вихідної до 3,5 мм вказує на розігрівання об'єктів оправок.

Досліджувався також вплив металічних плівок /хром, мідь, цинк, кадмій/ на зносостійкість технологічного інструмента. Всі види металевих покриттів, нанесених на поверхню інструмента, товщиною до 12 мкм підвищують коефіцієнт тертя.

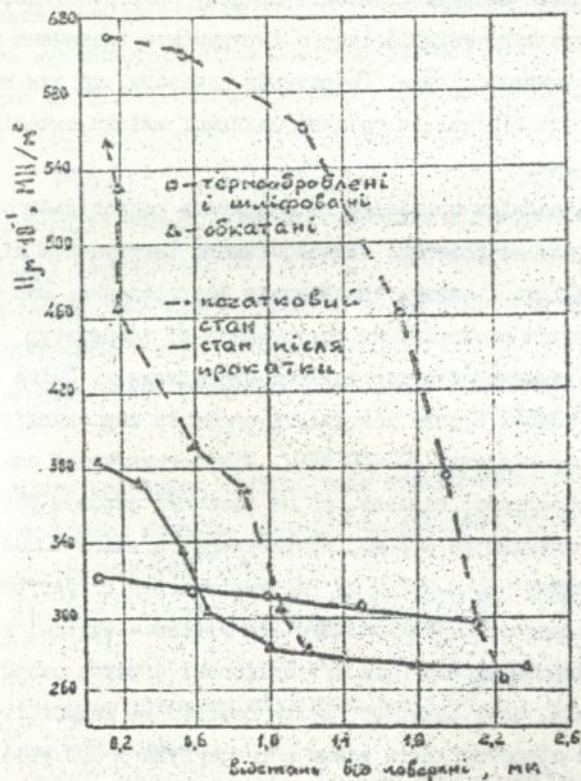


Рис.1 Вплив технології обробки на стійкість оправок.

Підвищення коефіцієнта тертя при нанесенні метлевих плівок пояснюється виникненням металевих зв'язків в зоні контакту і збільшення фактичної площі об'єкта. М'які покриття, навіть в галузі малих тисків /до 25 МПа/ підлягають пластичним деформаціям і заповнюють западини мікропрофілю контртіла. Із збільшенням товщини покриття процес тепловідводу від джерела тепловиділення вглиб інструмента уповільнюється. Зниження тепловідводу приводить до перегрівання плівки, можливого або часткового розплавлення. Вивчався також вплив швидкості скозання, нормального тиску, шорсткості контактних поверхней на коефіцієнт тертя і зносостійкість металевих покриттів.

Зміна контактного тиску F і швидкості скозання V викликають зміни потужності тертя W . Із збільшенням потужності тертя змінюється стан розподільного шару і при певних значеннях W відбувається зміна агрегатного стану і, як наслідок, режиму тертя. При потужностях тертя $W < 4,5$ квт /деформація вуглецевих і низьколегірованих сталей найкраще застосовувати сольові мастила, при $W > 4,5$ квт-графітомістки і скломастила.

В якості розподільного шару досліджувались різні за агрегатним станом, хімічним складом, і природою утворення технологічні мастила. Вивчався вплив матеріалу інструмента, його твердості і шорсткуватості, деформованого матеріалу /опір деформації/, товщини шару мастила, швидкості скозання на величину відносного коефіцієнта $\frac{F_p}{F}$ / f -коефіцієнт тертя без розподільного шару/ і зносостійкість моделі технологічного інструмента. Згодом проведено порівняльні дослідження методів визначення коефіцієнта тертя на його відносне значення. Порівнювались три методи вивчення: метод примусового гальмування, крутячого моменту і метод осадки кілець. Розходження одержаних результатів складо

$\pm 2,5$ % /відсотків/.

Результати досліджень показали, що для деформації вуглецевих і низьколегірованих сталей найкращими властивостями володіють сольове і графітомістке мастила, а для деформації складнолегірованих і важкодеформуваних сплавів – скломастило. Якщо урахувати, що графітомісткі мастила викликають науглецювання поверхні технологічного інструмента, і графіт, володіючи високим значенням коефіцієнта теплопровідності, сприяє підвищенню її розігрівання, то застосування графітомістких мастил варто вважати нерациональним, з точки зору зносостійкості інструмента. Застосування скломастил в процесах гарячої обробки металів тиском присвячено багато досліджень, що стосується сольових мастил, то результати їх використання вивчені недостатньо.

Дослідним шляхом визначили вплив кінематичних і силових параметрів на інтенсивність спрацювання під час застосування різних за фізичною природою розподільних шарів.

Підтверджена залежність інтенсивності спрацювання від утворення вторинних структур. При швидкостях ковзання до 1,4 м/с вторинні структури встигають утворюватись і інтенсивність спрацювання знижується, а при великих швидкостях – виростає.

З метою з'ясування механізму змащувальної дії сольових мастил в умовах гарячої пластичної деформації важливо знати поведінку мастил під час діяння високих температур, хімічну активність мастил в контакті з металами заготовки та інструмента, хімічний склад продуктів розкладу мастил.

В процесі гарячої пластичної деформації розподільний шар між деформуючою заготовкою і технологічним інструментом впливає на температурний режим інструмента. Він може сприяти

чи перешкоджати теплопередачі від заготовки до інструмента.

Нехтуючи цими ефектами багато дослідників отримували великий розкид значень температури розігрівання поверхні інструмента за практично однакових деформаційних параметрів. У розрахункові методики практично не враховується вплив розподільного шару на процес теплообміну.

Зроблено спробу врахувати вплив розподільного шару на процеси теплообміну. Крім того, теоретичним аналізом доведено, що деякі розподільні шари в короткоплинних процесах пластичної деформації можуть затримувати передачу тепла від заготовки до інструмента, а саме: створювати "інерцію тепла" в розподільному шарі. Для цього необхідно, щоб в розподільному шарі під час нагрівання значення теплофізичних властивостей змінювались за залежностями:

$$\lambda(\tau) = \lambda_0 \cdot T^n ; \quad \alpha(\tau) = \alpha_0 \cdot T^n \quad /8/$$

Тоді розподіл тепла буде затримуватись в ділянці, що визначається:

$$x = 2 \cdot \sqrt{\alpha_0 \cdot \tau} \quad /9/$$

Температура поверхні інструмента визначена із урахуванням акумулювальної здатності розподільного шару і джерел тепла від тертя і пластичної деформації

$$\theta\left(\frac{0, F_0}{k_i}\right) = 4 \cdot \sqrt{\frac{F_0}{\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{F_0 - 4}\right) + \frac{2}{k} \operatorname{erfc} \frac{1}{2\sqrt{F_0}} + \\ + \frac{2}{k} \exp(k + k^2 F_0) \cdot \operatorname{erfc} \frac{(1 + 2k \cdot F_0)}{2F_0} \quad /10/$$

Теоретичні передбачення підтверджені експериментальними дослідженнями.

Так, застосування мастила на основі триполіфосфата натрію

понижило поверхневу температуру на 12 %, об'ємний тепловміст на 36 %, а зона дії високих температур зменшилась більше, ніж на 30 %. Варто також відмітити, що із застосуванням мастил трохи збільшились поверхневі градієнти. Причому, ця тенденція більш явно проявляється в технологічному інструменті з низьким значенням коефіцієнта теплопровідності.

З метою зниження температур в зоні пластичної деформації доцільно підбирати пари тертя і розподільний шар з врахуванням їх теплофізичних властивостей.

Деформація високо теплопровідної заготовки /сталі марок 20, 35, 40/ мало провідною інструментальною сталлю 5ХНІФ знижує тепловміст та опосередковано за об'ємом температуру.

Для заготовок з малою теплопровідністю найнижче низькоповерхневі та об'ємні температури при терті високопровідними штампіваними сталлями типу 5ХНМ.

Теплофізичні параметри розподільного шару впливають на температурне поле інструмента. Поєднання малотеплопровідного шару і високотеплопровідного матеріалу інструмента сприяє зниженню як поверхневої, так і об'ємної температур.

Наявність теплопровідного металевого покриття / Cu, Al / знижує поверхневу температуру і градієнт температур, збільшує тепловміст. Покриття з високим термічним опором / Al_2O_3 / підвищує температурний градієнт і скорочує зону термічного впливу. Зниження поверхневої температури і градієнта температур, а отже і термічних напруг, ефективно використовувати в процесах пластичної деформації з тривалим циклом деформування /пресування/. Застосування розподільного шару з високим термічним

опором доцільно застосовувати під час високошвидкісних процесів деформування /прокатка, ковка/.

Для визначення температури розігрівання поверхні технологічного інструмента необхідно знати теплові властивості розподільного шару. Теплові властивості оцінюються коефіцієнтом теплопровідності λ , коефіцієнтом температуропровідності α , об'ємним тепловмістом $c = \frac{\lambda}{\alpha}$ і тепловою активністю $\beta = \frac{\lambda}{\sqrt{\alpha}}$. Як компоненти технологічних мастил широко застосовуються неорганічні речовини, у яких під час дії високих температур і тисків змінюється агрегатний стан, структура і фізикохімічні властивості. З метою їх дослідження були розроблені конструкції установок /А.С. 787967/ і методика розрахунку теплофізичних властивостей одно- і багатоконпонентних сумішей. Дослідження показали, що для розплавів неорганічних солей теплофізичні властивості змінюються в межах $\lambda = 10,4 \pm 2,2$ Вт/м·к, $\alpha = 1,59 \pm 3,70 \cdot 10^{-5}$ м²/с, $\beta = 1,19 \pm 2,61$ кВт с^{1/2}/м² К, себто від 2 до 6 разів. Були також проведені досліди двокомпонентних однофазних і двофазних систем /рис.2-4/. У двокомпонентних однофазних системах /рис.2/ з однаковими аніонами теплофізичні властивості мають значення близько до опосередкованих залежно від концентрації компонентів.

Однофазні двокомпонентні системи з різними аніонами /рис.3/ утворюють розплави з утворенням евтектичних значень коефіцієнта теплопровідності. Двофазні системи /рис.4/ у межах досліджуваних температур нагрівання, опосередковують значення теплофізичних властивостей.

Дослідження показали, що сольові компоненти в зоні пластичної деформації різко змінюють значення коефіцієнта

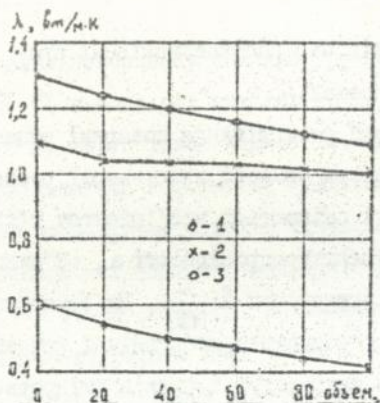


Рис.2 Теплопроводность
двокомпонентных солевых
систем: 1 - $Na_5P_3O_{10} + K_2P_2O_{10}$;
2 - $NaCl + KCl$; 3 - $NaNO_3 +$
 KNO_3

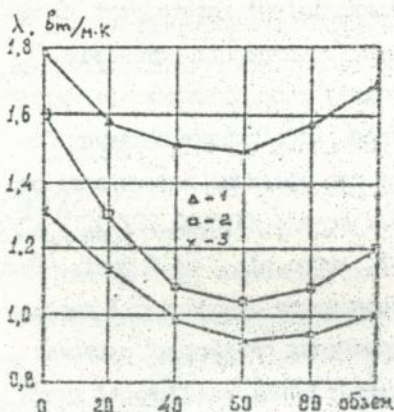


Рис.3 Теплопроводность
двокомпонентных солевых
систем: 1 - $Na_2SO_4 + Na_2CO_3$;
2 - $K_3PO_4 + K_2CO_3$;
3 - $Na_5P_3O_{10} + KCl$.

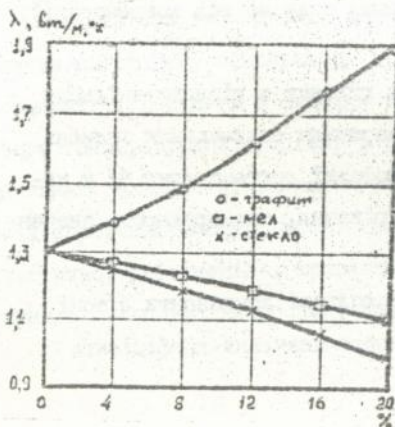
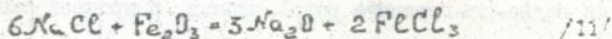


Рис.4 Теплопроводность
двокомпонентных двухфазных
систем: $Na_5P_3O_{10} +$
 $+ \text{тверде наполнения.}$

теплопровідності. Так для хлоридів відношення $\lambda_{тб}/\lambda_r$ складає 5,8-6,0, що свідчить про істотний вплив температури нагрівання на теплофізичні властивості сольових компонентів технологічних мастил.

Наведені аналітичні залежності з метою визначення теплофізичних властивостей як окремих компонентів технологічних мастил, так і мастил в цілому. Похибка одержаних виразів не перевищує 10 %.

Технологічні мастила при дії високих температур і тисків можуть змінювати свій агрегатний стан. Вони можуть також хімічно взаємодіяти з окислами і металами заготовки та інструмента. З метою вивчення таких взаємодій було проведено термічний аналіз сольових компонентів технологічних мастил. Результати аналізу показали, що у багатокомпонентних сольових системах ділянка існування рідкого агрегатного стану розширюється, що може позитивно позначитися на змазувальних властивостях при пластичній деформації. Термографічний аналіз хімічної взаємодії окислів заліза і сольових компонентів технологічних мастил свідчить про реакційну здатність солей, яка призводить до утворення нових залізистих з'єднань. Ці з'єднання мають невисоку температуру плавлення і можуть бути використані як розподільні шари в процесах тертя. Так, взаємодія оксиду заліза з хлоридом натрію протікає так:



Термічний аналіз сплаву показав, що з температур 400°C починається істотна втрата маси сплаву, що можна пояснити звітрянням хлористого заліза / $T_{пл.} = 309^\circ\text{C}$, $T_{кип.} = 315^\circ\text{C}$.

Ізотермічне нагрівання солей разом із пластинками сталей Ст5 і

ЗХІЕЇ вказало на корозійну активність сталі /рис.5/.

Випробування проводились при температурах: 500± 900°C.

Встановлено, що агресивність двокомпонентних розплавів нижча, ніж однокомпонентних. Це вказує на те, що комплексоутворення знижує швидкість корозії, а хімічна взаємодія між солями з однаковими аніонами чи катіонами не відбувається.

Продукти взаємодії солей та окислини справляють вплив на процеси контактного тертя. Зниження фрикційних сил тертя спостерігалось у сульфатів, нітратів і фосфатів.

В процесі досліджень температурного режиму роботи технологічного інструмента було помічено, що мастила справляють охолоджувачу дію на інструмент як після розмикання контакту з металом заготовки /рис.6/, так і в процесі нанесення мастила на інструмент. Підбір сольових компонентів технологічного мастила з температур плавлення нижче температури пластичної деформації дозволяє після пластичної деформації відводити тепло від поверхні інструмента за рахунок випаровування деструкції і сублімації і залишків технологічного мастила. Охолодження інструмента за рахунок випаровування і деструкції за кількісними оцінками приблизно відповідає ефекту примусового повітряного охолодження.

Мастило на поверхню інструмента може наноситись шляхом водяного чи водно-повітряного розпорощення. В процесі нанесення мастила відбувається випаровування води, що супроводжується відведенням тепла з поверхні технологічного інструмента. При цьому водні розчини солей володіють кращим охолоджувачов здатністю, ніж вода. Це кращий охолоджувачий ефект забезпечує випарувальне охолодження під час водно-повітряного розпорощення. Додатки солей /рис.7/ розширюють ділянку "сухого" режиму охолодження і збільшують коефіцієнт тепловіддачі в 1,2-1,3 разів.

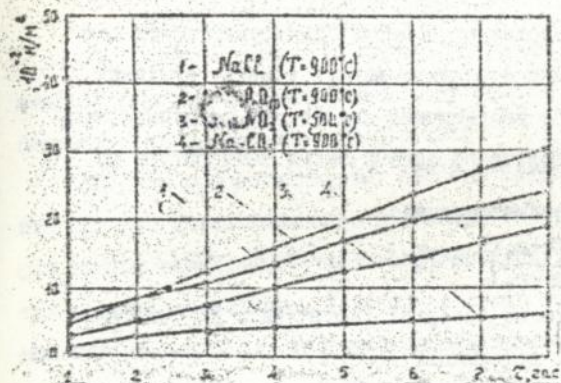


Рис.5 Ізотерми хімічної активності розплавів неорганічних солей.

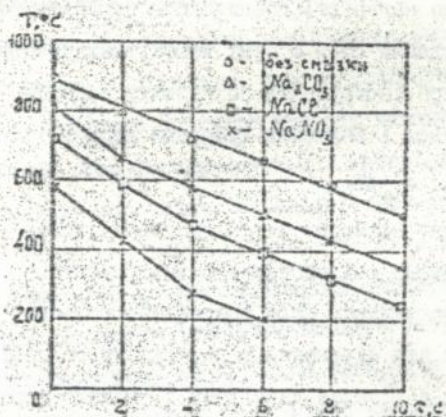


Рис.6 Зміни температури поверхні інструмента після розмикання контакту заготовка-інструмент.

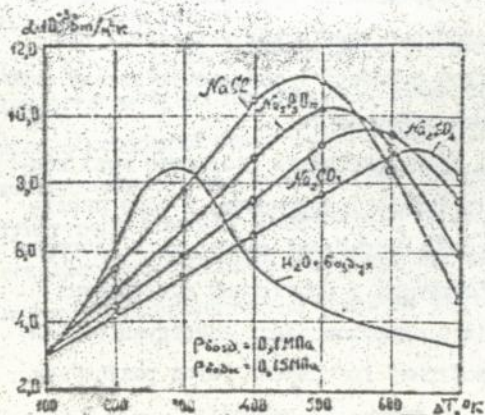


Рис.7 Залежність коефіцієнта тепловіддачі від складу технологічних мастил під час водоповітряної подачі.

Випаровувальне охолодження поверхні інструмента під час використання технологічного мастила знижує рівень термічних напруг. В праці виконано теоретичний аналіз дії термічних напруг, в припущенні параболічного закону зміни температури по перетину технологічного інструмента:

$$T = (T_1 - T_0) \cdot \left(\frac{\rho - z_0}{R - z_0} \right)^n + T_0 \quad /12/$$

де T_0 і T_1 - температури на поверхні інструмента до і після пластичної деформації

R, z_0, ρ - зовнішній, внутрішній і поточний радіуси.

РІЗРАХУНКИ показали, що наявність позитивного перепаду температур $T_1 - T_0$ знижує напружений стан в зоні контактних тисків. При стабілізації температури інструмента позитивний перепад зменшується, отже зменшується і зниження сумарних напруг.

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_2 - \sigma_1 \quad /10/$$

Тому поряд з поверхневим відводом тепла доцільно застосовувати і внутрішнє охолодження технологічного інструмента.

На основі проведених досліджень було розроблено сольове мастило, яке стало основою для одержання в подальшому великої гамми технологічних мастил з різними добавками і знайшло широке застосування в прокатці, пресуванні, штампівці. Для подачі технологічного мастила розроблена спеціальна установка, яка володіє підвищеною надійністю в роботі і забезпечує високу автоматизацію процесу пластичної деформації.

Результати досліджень дали можливість розробити нові конструкції складового технологічного інструмента, в тому числі і з внутрішнім охолодженням. На розроблені конструкції одержано 6 авторських свідоцтв. Лабораторні і промислові дослідження показали добру працездатність запропонованих конструкцій. Для складової конструкції розроблений інженерний метод розрахунку із врахуванням температурного режиму її роботи.

Основні результати і висновки.

1. Стосовно процесів гарячої обробки металів тиском розроблені основи термодинамічного методу оцінки інструментальності спрацювання /інструментальних матеріалів.

2. Для процесів гарячої обробки металів тиском запропонован принцип управління зносостійкістю інструментальних матеріалів шляхом локалізації теплового потоку в розподільному шарі технологічного мастила. Така локалізація теплової енергії у відношенні до матеріалу інструмента еквівалентне збільшенню потоку теплової ентропії в середовищі і зменшенню щільності теплової ентропії, накопиченої в поверхневому шарі матеріалу інструмента. Для матеріалу заготовки локалізація тепла дозволяє зменшити його тепловтрати і підвищити його пластичність.

3. Вперше розкрито природу впливу технологічних мастил на тепловий стан інструментальних матеріалів при пластичній деформації металу заготовки. На основі теоретичного аналізу теплопередачі через шар технологічного мастила показано, що мастила з високим термічним опором підвищують температурний градієнт на межі мастила і основи інструментального матеріалу в декілька разів, що скорочує зону прогрівання матеріалу до високих температур за шаром мастила. При цьому значно змінюється напружений стан матеріалу інструмента.

4. Розроблені установки і метод експериментального визначення теплофізичних властивостей компонентів технологічного мастила. Експериментально вивчені теплофізичні властивості сольових компонентів технологічних мастил. Запропонована методика розрахунку теплофізичних властивостей як окремих компонентів так і технологічного мастила в цілому. Результати порівняння розрахункових і експериментальних значень теплофізичних властивостей

компонентів мастила вказує на добру збіжність $\pm 10\%$.

5. Вперше здійснено термічний аналіз технологічних мастил, при дії на них високих температур і тисків. Вивчення кінетики і процесу розкладу деяких компонентів технологічних мастил дає можливість використовувати їх для охолодження інструмента після пластичної деформації. Запропоновано методику визначення термічних характеристик мастил і визначено похибку розрахункових формул.

6. Експериментальним методом термічного аналізу сольових технологічних мастил з різною температурою плавлення було встановлено розширення діапазону температур, в якому суміш знаходиться у розплавленому стані. Це дає можливість вірним підбором технологічного мастила планувати процес пластичної деформації із рідинним режимом тертя. Встановлено, що продукти взаємодії окислів з неорганічними солями знижують контактне тертя. Найбільш позитивний вплив здійснюють фосфоровмісткі мастила.

7. В роботі вперше показано вплив технологічного мастила на температурний режим технологічного інструмента після пластичної деформації, а також при нанесенні мастила на поверхню інструмента. Випаровування, сублімація, деструкція залишків технологічного мастила з поверхні інструмента забезпечує теплообмін з навколишнім середовищем і обмежує термічні напрути в технологічному інструменті на рівні мінімальних значень.

8. Експериментально вивчено вплив розчинених у воді технологічних мастил на режим охолодження інструмента. Додатки сольових мастил розширюють область критичних температур і діапазон "змазуючого" режиму випаровувального охолодження, а компоненти органічного походження поліпшують режим охолодження тільки у вузькому діапазоні концентрації.

9. Підвищити ефективність дій технологічних мастил на стійкість технологічного інструмента, оптимізував режим тертя, теплопередачі і охолодження дозволяють розроблені установки для подачі водяних технологічних мастил. Застосування нових установок дозволить автоматизувати процес пластичної деформації.

10. На основі термічних досліджень оптимального температурного режиму роботи технологічного інструмента розроблені нові конструкції і способи монтажу і демонтажу складового інструмента.

11. Із врахуванням температурного режиму роботи технологічного інструмента запропонован інженерний метод розрахунку складового технологічного інструменту з гідропресовим з'єднанням деталей.

Перелік наукових публікацій, в котрих відображені основні положення дисертації.

1. Дослідження безперервної прокатки труб на утриманій оправці /О.П.Чемарьов, Я.Л.Ваткін, М.П.Шевченко і ін// Металургія і коксохімія: Обробка металів тиском. Київ: Техніка, 1970. - Вип. 23. - С. 73-76.

2. Установка для безперервної прокатки труб на утриманій рухомій оправці /О.П.Чемарьов, Я.Л.Ваткін, М.П.Шевченко і інш.// Обробка металів тиском: зб. наук. праць ДМетІ - М.: Металургія, 1970. - Вип. 55. - С. 149-151.

3. Калібровка довгих керуючих оправок для безперервної прокатки труб /Я.Л.Ваткін, В.М.Данченко, М.П.Шевченко і інш.// Обробка металів тиском: зб. наук. праць ДМетІ. - М.: Металургія, 1970. - Вип. 55. - С. 152-155.

4. Розробка нового способу безперервної прокатки труб із

застосуванням керуючої кінчної оправки/О.П.Чекмарьов, Я.Л.Ваткін, М.П.Шевченко і інш//Реферативна інформація про замкненні НДР в вузах УРСР.-Київ:Вища школа, 1970.-Вип.3.-С.41-42.

5. Дослідження безперервної прокатки труб на керуючій оправці/Я.Л.Ваткін, В.М.Данченко, М.П.Шевченко і інш//Чорна металургія:Експ.ін-та "Чорметінформація.-М., 1970.-Вип.20.-С.38-39.

6. Теплова взаємодія прокатуваного металу і довгої оправки при безперервній прокатці труб/О.П.Чекмарьов, Я.Л.Ваткін, М.П.Шевченко і інш//Обробка металів тиском:Зб.наук.праць ДМетІ-М.:Металургія, 1971.-Вип.56.-С.275-285.

7. Данченко В.М., Шевченко М.П. Вплив деяких властивостей мастил на стійкість інструмента при гарячій прокатці труб//Доповіді конференції "Тертя і технологічні масти" для обробки металів тиском.-Дніпропетровськ, 1971.-С.71-74.

8. Дослідження властивостей технологічних мастил, що застосовуються для гарячої прокатки труб в безперервному оправочному стані/П.И.Чуйко, В.М.Данченко, М.П.Шевченко і інш//Металургія і коксохімія:Обробка металів тиском.-Київ:Техніка, 1972.-Вип.28.-С.13-19.

9. Носко В.С., Шевченко М.П., Черненко Э.М., Дослідження впливу деяких факторів на стійкість довгих оправок//Металургія і коксохімія:Обробка металів тиском.-Київ:Техніка, 1973.Вип.34.-С.82-85.

10. Данченко В.М., Шевченко М.П.Нове технологічне мастило для гарячої обробки труб на неперервних станах//Теорія, практика і перспектива розвитку виробництва безшовних труб на установках з безперервними станами:Зб.доповідей.-Дніпропетровськ, 1973.-С.33-35.

11. Данченко В.М., Шевченко М.П., Панюшкін Є.М. Точність виготовлення довгих оправок безперервних станів//Теорія, практика і перспектива розвитку виробництва безшовних труб на установках з безперервними станами:Зб. доповідей.-Дніпропетровськ, 1978.-С. 39-41.

12. Шевченко М.П., Жадько В.А. Нова технологія одержання штампного інструменту для гарячої об'ємної штамповки//Україні Держплану УРСР.-1974.-Сер. 12.-С. 1-3.

13. Данченко В.М., Шевченко М.П. Методика знаходження катячого радіуса валків при прокатці труб на оправці/Теорія прокатки.-М.:Металургія, 1975.-С. 440-442.

14. Чежмарьов О.П., Шевченко М.П., Дослідження стійкості інструмента при гарячій обробці металів тиском//Зб. праць ХВ ОТІ П -Київ. Вища школа, 1975.-С. 17-20.

15. Шевченко М.П., Антоненко І.М. Застосування мастила при гарячій штамповці вуглецевих сталей//Україні Госплану УРСР.-1977.-Сер. 11.-С. 1-4.

16. Шевченко М.П., Антоненко І.М. Автоматична система подачі мастила на гравюру штампів при гарячій штамповці//Україні Держплану УРСР.-1977.-Сер. 6.-С. 1-4.

17. Шевченко М.П., Антоненко І.М., Жадько В.А. Нове мастило для гарячої штамповки поковок із вуглецевих сталей//Технологія і організація виробництва.-1978.- 2.-С. 27-28.

18. Шевченко М.П. Розробка мастил для оправочної прокатки труб//Удосконалення процесів продовжної прокатки труб.-Челябінськ 1973.-С. 54-57.

19. Шевченко М.П., Антоненко І.М., Шевченко І.Б. Удосконалення технології волочіння і волочильного інструмента//Україні

Держплану УРСР.-1979.-Сер.14.-С.1-4.

20. Шевченко М.П., Вишник В.П. Дослідження теплового режиму роботи технологічного інструмента при пластичній деформації турбінних лопаток//Методика і засоби машинної діагностики газотурбінних двигунів і їх елементів:Зб.доповідей Всесоюзної наук. конф.-Харків,ХАІ,1983.-С.42-45.

21. Шевченко М.П., Вишник В.П., Богодіст Є.І. Теплообмінні процеси при перекристалізації солевих мастил//Підвищення ефективності, вдосконалення процесів і апаратів хімічних підприємств Зб.доповідей Всесоюз.наук.конф.-Харків,ХІІ,1985.-С.123-124.

22. Шевченко М.П. Дослідження експлуатаційних властивостей мастил//Тертя і технологічні мастила при обробці металів тиском: Зб.доповідей III Республіканської наук.-техн.конфер.-Дніпропетров. 1985.-С.32-35.

23. Шевченко М.П. Вплив розподільного шару мастила на теплообмін між заготовкою і інструментом//Тертя і технологічні мастила при обробці металів тиском.-Дніпропетровськ,1985.-С.24-25.

24. Шевченко М.П. Молотовий штамп з обладнанням для гідравлічної випресовки робочих вставок//Кузн.-штамп. ви-во.-1989.- №1.-С.34-35.

25. Шевченко М.П. Дослідження хіміко-технологічних властивостей сольових мастил. Стаття депонована в УкрНДНТ Держплану УРСР.- №619.Ук.-1989.

26. Шевченко М.П. Оптимізація конструкції складового штампу з гідропресовим з'єднанням деталей//Технологія і організація виробництва.-1989.- №4.-С.32-33.

27. Автоматизована система подачі змазувального матеріалу на штамп при гарячій штамповці/М.П.Шевченко, Є.І.Богодіст, Н.І.Суман,Н.І.П'ятицька//Новальсько-штамп. вр-во.-1989.- №3.- С.35-36.

28. Шевченко М.П. Охолоджуюча дія технологічних мастил при обробці металів тиском // Гляжи інтенсифікації виробництва із використанням штучного холоду: Зб. доповідей Всесоюз. наук. конф. - Одеса, 1989. - С. 39-41.

29. Шевченко М.П. Ефективність роботи холодовисадочних пресів при підвищенні довговічності технологічного інструмента // Стаття депонована в УкрНДІНТі Держплану УРСР - № 612 - Ук. - 1989.

30. Шевченко М.П. Вплив розподільного шару мастила на теплообмін між заготовкою і інструментом // Сталь. - 1990. - № 8. - С. 64-66.

31. Шевченко М.П., Шемякін Л.П. Розробка національного температурно-силового режиму деформації дроту // Технологія і організація виробництва. - 1991. - № 1. - С. 53-54.

32. Вплив дрібності деформації на силові параметри волочіння / М.П. Шевченко, Л.П. Шемякін, Д.В. Сєдаков і інші // Стаття депонована в УкрНДІНТі Держплану УРСР - № 1232 - Ук. - 1991.

33. Шевченко М.П. Термодинамічний аспект контактної міцності матеріалів // Холодильна техніка і технологія. - 1992. - № 56. - С. 32-36.

34. Шевченко М.П., Шемякін Л.П. Вплив теплообмінних процесів на удосконалення конструкції технологічного інструмента // Холодильна техніка і технологія. - 1992. - № 56. - С. 36-39.

35. А.С. 304002 СРСР, МДІ В 21 в 25/04. Охолоджуюче опрєвня / Я.Л. Ваткін, В.М. Данченко, М.П. Шевченко та інші / СРСР / - 2 с.: іл.

36. А.С. 316415 СРСР, МДІ В 21 в 17/04. Спосіб безперервної прокатки труб на довгій рухомій оправці / Я.Л. Ваткін, В.М. Данченко, М.П. Шевченко та інші / СРСР / - 4 с.: іл.

37. А.С. 324006 СРСР, МДІ В 21 в 45/02. Мастило для гарячої прокатки труб / В.Х. Кас'ян, П.І., П.І. Чурко, М.П. Шевченко та інші / СРСР / - 1 с.: іл.

38. А.С. 441050 СРСР, МД В 21 в 17/04. Роликовий пристрій для гальмування/В.А.Нестеров, В.П.Поліщук, М.П.Шевченко та інші /СРСР/-2 с.:1 іл.

39. А.С. 616446 СРСР, МД 16 С 17/24. Упорний підшипниковий вузол ковзання/Ф.П. Сніговський, В.М.Григоров, М.П.Шевченко.

40. А.С. 728975 СРСР, МД В 21 13/14. Спосіб вигідення змінних вставок із штапового інструмента/Ф.П.Сніговський, Шевченко М.П., І.М.Антоненко, М.М.Стольберг /СРСР/-2 с.:1 іл.

41. А.С. 787967 СРСР, МД 01 25/20. Прилад для знаходження теплопровідності розплавів солей/С.І.Кричмар, М.П.Шевченко, Ж.Б.Левченко /СРСР/-3 с.:3 іл.

42. А.С. 1052309 СРСР, МД 13/14. Спосіб виведення змінних вставок із штапового інструмента/М.П.Шевченко, М.М.Стольберг, В.І.Сасенко, В.В.Остриков /СРСР/-2с.:1 іл.

43. А.С. 1162545 СРСР, МД В 21 13/02. Штамп для об'ємної штамповки/М.П.Шевченко, А.С.Козьба, М.М.Стольберг, В.В.Остриков, /СРСР/-2с.:1 іл.

44. А.С. 1282951 СРСР, МД В 21 13/02. Штамп для об'ємної штамповки/М.П.Шевченко, М.М.Стольберг, В.Г.Григор'єв /СРСР/-2с.:1 іл.

45. А.С. 1590190 СРСР, МД В 21 13/02. Штамп для об'ємної штамповки/М.П.Шевченко, О.С.Казакова, В.Д.Кранович /СРСР/-2с.:1 іл.

1162041

AB 28.230

AB 28.230