

5. **Busquets-Monge S., Rocabert J., Rodriguez P., Alepuz S., Bordonau J.** Multilevel diode-clamped converter for photovoltaic generators with independent voltage control of each solar array // IEEE Transactions on industrial electronics, 2008. Vol. 55, №7. P. 2713 – 2723.

6. **Busquets-Monge S., Bordonau J., Rocabert J.** Extension of the nearest-three virtual-space-vector PWM to the four-level diode-clamped dc-ac converter // Power Electronics Specialists Conference, 2007. P. 1892 – 1898.

Рукопис подано до редакції 23.12.11

УДК 621.771.001.57

М.М. БЕРЕЖНИЙ, д-р техн. наук, проф., А.А. ШЕПЕЛЬ, магістрантка,
О.А. САМОЙЛЮК, студентка, Криворізький національний університет

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Представлено короткий аналіз розвитку теорії обробки металів тиском (ОМТ). Розглянуто теоретичні підходи до математичного та статистичного моделювання процесів ОМТ. Наведено найбільш актуальні проблеми, які вимагають подальших досліджень.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У сучасній економіці України гірничо-металургійний комплекс займає одне з провідних місць. Металургія дає четверту частину загальної промислової продукції і майже половину валових надходжень від експорту. Традиційно ця галузь промисловості є енергоємною, тому в жорстких умовах ринкових відносин та конкуренції на підприємствах актуальними є питання впровадження нових технологій по зниженню енергоємності процесів формозміни металу, удосконалення режимів роботи устаткування, раціонального використання ресурсів з метою зниження собівартості продукції та підвищення її якості. Підвищення ефективності металургійних процесів потребує вірогідної кількісно-якісної оцінки параметрів, що характеризують процеси пластичної формозміни металу, а це неможливо без удосконалення і розроблення нових методів моделювання для вирішення технологічних задач ОМТ.

Постановка завдання. Метою роботи є вирішення завдання дослідницького та методичного характеру, а саме:

аналіз сучасного стану та огляд розвитку фундаментальних досліджень процесів ОМТ;

оцінка основних інженерних методів моделювання процесів ОМТ та сучасних підходів до вивчення процесів пластичного деформування металів.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Основою обробки металів тиском є процес пластичної деформації, при якому змінюється форма без зміни маси металу. Теоретичним підґрунтям усіх розрахунків процесів деформування металів тиском є закон незмінності об'єму і закон найменшого опору. Сутність першого закону полягає в тому, що об'єм металу до і після пластичного деформування залишається постійним: $V_1=V_2=...=V_i=...=V_n$.

Другий закон у теорії обробки металів тиском має назву закону найменшого опору. При вільній зміні форми тіла в напрямку трьох координатних осей X, Y, Z найбільша деформація виникає в тому напрямку, де створюється найменший опір. Будь-який процес ОМТ характеризується швидкістю деформації, геометричними розмірами та формою осередку деформації.

У даній роботі розглядається один з основних методів обробки металів - гаряча безперервна прокатка, при якій вихідна заготовка обтискується валками прокатного стану. З усіх відомих методів прокатки: поздовжньої, поперечної та поперечно-гвинтової розглядається тільки поздовжня прокатка, при якій деформування заготовки здійснюється між валками при їхньому обертанні в різних напрямках.

Теорія ОМТ - наукова основа розроблення, проектування та оптимізації процесів пластичної формозміни металів на всіх стадіях оброблення. За своєю структурою теорія ОМТ синтетична і розвивається за трьома основними напрямками: механіко-математичному, фізичному і фізико-хімічному.

Механіко-математичну основу ОМТ складають основні положення механіки суцільного середовища (теорія пружності, пластичності і повзучості), яка вивчає закономірності розподілу полів напружень, швидкостей течії, деформацій і температур в металі, що деформується. Ос-

новною метою аналітичних досліджень є отримання достовірних даних про вплив технологічних параметрів формозміни металу на основні характеристики процесу деформування, а саме: повні зусилля на робочий інструмент, межі граничних деформацій, енергетичні витрати на формозміну; механічні характеристики і геометричні розміри готового продукту; розподілення напружень і температур по поверхні контакту метал-деформуючий інструмент.

Широке впровадження в практику ОМТ технологічних мастил обумовило необхідність аналізу умов спільної течії металу і охолоджуючої рідини в осередку деформації, що, в свою чергу, сприяло використанню математичного апарату теорії в'язких рідин. При урахуванні неоднорідності температурних полів в теорії ОМТ разом з рівняннями механіки використовують рівняння термодинаміки.

Фізичний напрямок вивчає механізм здійснення пластичної деформації (перехід від пружного до пластичного стану), зв'язок механічних властивостей з умовами формозміни, закономірності порушення суцільності (руйнування) при пластичній деформації металів і сплавів. Дослідження носять, як правило, емпіричний характер. Широко використовуються фізичні моделі для вивчення деформаційних параметрів в лабораторних умовах.

Фізико-хімічний напрямок вивчає структурні зміни, що відбуваються при ОМТ, і встановлює зв'язок пластичності з хімічного складом і фазовим стану металів і сплавів.

Всі три напрямки нерозривно і органічно зв'язані між собою, і перспективи розвитку теорії ОМТ показують, що тенденція до їх злиття стає все більш очевидною.

Викладення матеріалу. Як відзначалось вище, математичний опис процесу пластичної деформації як фізичного процесу в своїй основі базується на загальних законах і принципах механіки і термодинаміки, фундаментальних законах збереження маси, енергії, кількості і моменту кількості руху.

У 1755 р Л. Ейлер вивів рівняння руху ідеальної однорідного суцільного середовища. Ці рівняння тотожно задовольняють умові збереження кількості руху. Наприкінці XIX і початку XX ст. в роботах Мопертюї, Лагранжа, Гамільтона було надано математичне обґрунтування одного з найважливіших принципів механіки - принципу найменшої дії. У роботах Якобі було доведено, що при застосуванні до механіки системи матеріальних точок принцип найменшої дії («принцип Гамільтона») еквівалентний законам Ньютона і представляє просте математичне формулювання законів руху для будь-якої консервативної системи при будь-яких зв'язках. Цей принцип, розповсюджений на механіку суцільного середовища, дає можливість виводити за допомогою відносно простих математичних викладок диференціальні рівняння руху, аналогічні рівнянням Ейлера. З цього ж принципу може бути отриманий закон збереження енергії для консервативних систем.

Закон збереження енергії широко використовується в механіці, однак, як було показано Больцманом, виходячи з енергетичних принципів (закону збереження енергії), вивести загальні диференціальні рівняння руху (у тому числі закони руху суцільного середовища) неможливо.

У 1822 р. Коші опублікував результати своїх досліджень, які можна розглядати як першу наукову роботу з механіки суцільного деформованого середовища, в якій представив рівняння зв'язку деформацій і переміщень (формули Коші), розробив систему рівнянь зв'язку дев'яти складових тензора напружень в точці, обґрунтував закон парності дотичних напружень як математичного аналога закону збереження моменту кількості руху, встановив зв'язок між складовими тензорів напружень і пружних деформацій для ізотропного суцільного тіла.

Починаючи з другої половини XIX ст. теоретичні та емпіричні дослідження з вивчення особливостей поведінки матеріалів в умовах пластичної формозміни привертають все більшу кількість теоретиків і експериментаторів. Механіка суцільного пластично деформованого середовища формується в самостійну науку, що було зумовлено інтенсивним розвитком техніки і промисловості. Період з кінця 60-х років XIX ст. до початку 30-х років XX ст. ознаменувався вирішенням ключової проблеми теорії пластичності - умови переходу матеріалу з пружного стану в пластичний. У 1868 р. Тріска на основі експериментів по одноосному деформуванню запропонував умови переходу від пружних деформацій до пластичності (умова пластичності, умова першого граничного стану), згідно яких незалежно від схеми напруженого стану максимальне дотичне напруження повинне досягти певної критичної величини і розробив теорію, відповідно до якої тверде тіло при достатньому стисканні поводить себе як рідина і рухається за законом найменшого опору. Цей висновок вже можна розглядати як першу спробу

феноменологічного підходу до створення абстрактної, ідеалізованої моделі твердого пластично деформованого тіла. Спираючись на положення Тріски, Сен-Венан, наприкінці XIX ст. вивів основні рівняння теорії пластичності для плоскої деформації ізотропного нестисливого матеріалу, припускаючи збіг напряму головних напружень і деформацій. На початку XX ст. Губер, а пізніше Мізес запропонували умову пластичності, відповідно до якої незалежно від схеми напруженого стану перехід до пластичної течії матеріалу настає при рівності інтенсивності напружень деякій критичній величині. Методика математичного виведення умови пластичності, запропонована Генки у 1925 р. найбільш використовується до теперішнього часу.

Експериментальні дослідження Лоде, Роша і А. Ейхінгера, А.І. Жукова, Г.А. Смирнова - Аляєва та інших показали, що умова текучості Мізеса-Губера-Генки дещо краще узгоджується з дослідними даними, ніж умова Тріска - Сен-Венана.

Скориставшись результатами досліджень Сен-Венана, Прандтля та інших, Мізес розробив основні положення теорії об'ємної пластичної течії жорстко-пластичного тіла при допущенні можливості знехтування компонентами пружної деформації порівняно з компонентами пластичної деформації. Ця теорія стала основою для розроблення перших аналітичних методів наближеного визначення енергосилових параметрів формозміни в конкретних технологічних процесах ОМТ. Також набув широкого розповсюдження і не втратив свого практичного значення метод спільного вирішення рівнянь пластичності і рівноваги, заснований на припущеннях «гіпотези плоских перерізів», висунутих Карманом. Був удосконалений і отримав подальший розвиток запропонований наприкінці XIX ст. Леві метод ліній ковзання (метод характеристик).

Гіпотеза про пропорційність компонентів пластичної деформації відповідним компонентам девіатора напружень привела до створення в 1925-1927 рр. теорії пружно-пластичних деформацій, яка отримала закінчене формулювання в працях О.А. Іллюшина. Дві найбільш відомі теорії пластичності: теорія малих пружно-пластичних деформацій і теорія в'язко-пластичної знаходять широке застосування для вирішення практичних задач металургії. Можливість використання теорії в'язко-пластичної течії при аналізі процесів ОМТ заснована на тому, що в цих процесах (за винятком імпульсних методів обробки) зовнішні навантаження змінюються плавно і в усіх точках тіла практично реалізуються траєкторії малої кривизни.

Основи сучасного фізико-хімічного напрямку теорії ОМТ були закладені видатним російським ученим Д.К. Черновим, який вперше встановив зв'язок між температурою металом, його фазовим станом і механічними властивостями. Досліди Оберхоффера (1916 р.) і Чохральського (1923 р.) дозволили встановити залежність між розмірами кристалічних зерен металу і його механічними властивостями. Результатом цих досліджень була розробка цілої серії режимів термообробки, що дозволяють цілеспрямовано регулювати механічні властивості металів і сплавів.

У результаті проведених досліджень до початку 30-х років XX ст. було створено надійну науково-практичну базу для розвитку теорії ОМТ як самостійної прикладної науки про особливості пластичної формозміни металів і сплавів, методах вибору їх оптимальних параметрів у конкретних технологічних умовах.

Подальший розвиток теорії ОМТ пов'язаний з багатоплановими дослідженнями багатьох науковців. Можна виділити (з певною часткою умовності, звичайно) наступні основні етапи розвитку теорії ОМТ, які характеризуються різним рівнем досліджуваних питань, розв'язуваних проблем і використовуваних методів дослідження і аналізу.

I етап (середина 30-50-х рр. минулого століття). У цей період у роботах О.А. Іллюшина отримує своє завершення математична теорія пластичності. Розвиваються наближені методи визначення енергосилових параметрів обробки металів різними способами (С.І. Губкін, І.М. Павлов, Р.І. Целіков, О.П. Чекмарьов, П.Т. Ємельяненко, С.І. Борисов та ін.) Аналітичні викладення цього етапу виконуються методами спільного рішення рівнянь пластичності і рівноваги елементарного об'єму з використанням гіпотези «плоских перерізів», ліній ковзання і опору металів пластичним деформаціям в рамках припущень про плоский або вісесиметричний характер деформації. Деформоване середовище в цих дослідженнях представлено моделлю ідеального жорстко-пластичного тіла [1].

У цей же час накопичені великі експериментальні дані про вплив основних параметрів формозміни (температури металу, швидкості, ступеня деформації, умов контактної тертя) на розподіл контактних напружень, величини кінцевих деформацій вихідної заготовки, а також на енергетичні витрати в конкретних процесах ОМТ.

II етап (середина 50-х - кінець 60-х рр.) - характеризується впровадженням обчислювальної техніки в практику аналізу і розрахунку параметрів ОМТ. Широко впроваджуються нові методи теоретичного вивчення закономірностей пластичної формозміни металів: енергетичний, варіаційно-енергетичний, метод верхньої оцінки (І.Я. Тарковський, В.Н. Видрін, А.А. Поздєєв, О.О. Ганаго, В.Л. Колмогоров, Л.Г. Степанський, Д. Джонсон, Х. Кудо та ін.) Застосовуються методи конформних відображень, математичних аналогій з сипучим та суцільним середовищами при аналізі параметрів процесів ОМТ (Г.Я. Гун, П.І. Полухін, В.К. Воронцов та ін.). Наприкінці цього періоду були сформульовані та знайшли експериментальне підтвердження основні положення теорії руйнування металів при пластичній деформації (Г.А. Смирнов-Аляєв, В.Л. Колмогоров), що відкрило широкі перспективи для оптимізації процесів ОМТ з метою їх інтенсифікації. У цей період вдосконалюються методи дослідження параметрів ОМТ на промислових агрегатах і лабораторних установках, розвивається теорія моделювання, широко впроваджуються в практику ідеї моделювання реальних процесів з використанням матеріалів, що мають відмінні від природи реологічні властивості, та елементи теорії планування експериментів (Ю.М. Алексєєв, Я.Д. Васильєв, А.К. Григор'єв, А.А. Диннік, О.П. Грудєв, Ю.Г. Гуляєв, В.Н. Данченко, П.Л. Клименко, А.І. Лісцін, О.А. Мінаєв, В.Я. Острєнко, В.С. Смирнов, О.П. Чекмарьов, Г.Г. Шломчак та ін.). При аналізі результатів досліджень впроваджуються статистичні методи обробки емпіричних даних (Ю.П. Адлер, М.С. Вінарський, М.В. Лур'є, В.Г. Жадан та ін.).

III етап (з кінця 60-х років минулого століття) нерозривно пов'язаний з прогресом в області підвищення швидкодії і збільшення обсягу оперативної пам'яті ЕОМ, стрімким розвитком комп'ютерних технологій. При аналізі конкретних технологічних процесів широко використовуються скінченнорізницеві та скінченноелементні чисельні методи [2,3].

Проте обмеженість досліджень окремими експериментами в певних технологічних умовах, необхідність і трудомісткість визначення великої кількості емпіричних коефіцієнтів і залежностей роблять ці методи і методики обмеженими для загального практичного використання. Разом з тим слід відзначити, що ці роботи в наш час перевіряються практикою і, певною мірою, ще вимагають доопрацювання і вдосконалення.

З розвитком і широким упровадженням на початку 80-х років минулого століття обчислювальної техніки, з'явився цілий ряд "нових" розрахункових методів, так званих методів "машинного рахування". Розвиваються методи спільного вирішення рівнянь деформованого середовища та теплопровідності. З'являється можливість дослідження чисельно-аналітичними методами особливостей течії багатокомпонентних середовищ (систем метал - мастило, бі - і поліметалів); прогнозування руйнування металу під час його теплової обробки. На початку періоду робляться перші спроби відмови від використання в теорії ОМТ детерміністських методів феноменологічної механіки суцільного середовища (Б.М. Готліб, Г.Я. Гун, П.І. Полухін та ін.). Подальші розробки в цьому напрямку привели до створення досить перспективного статистичного методу розв'язання задач про пластичну течію й руйнування металів, який зараз перебуває в стадії становлення і розвитку.

Значний інтерес представляють перші і, що особливо важливо, успішні спроби оптимізації за тими чи іншими параметрами деяких технологічних процесів на основі їх комплексного аналітичного або емпіричного вивчення (В.В. Єрклінцев, Г.І. Гуляєв, Д.С. Фрідман, А.А. Костава та ін.).

Аналіз методів розрахунку і моделювання процесів ОМТ показав, що, наприклад, недостатньо досліджені залежності напруження тертя від основних факторів: тиску, швидкості ковзання, сумарного відносного переміщення поверхні металу і інструменту, стану поверхні, температури, наявності мастила, окалини на контактних поверхнях. Так на практиці використовуються два спрощених закони тертя: закон Амонтона-Кулона - $\tau = fP$ і закон Прандтля (Зибеля) - $\tau = f\sigma_s$, де τ - модуль вектора напруження тертя, f - умовний коефіцієнт тертя, який повинен відображати вплив вище перелічених факторів; P - тиск; σ_s - плинність (текучість) металу. Для коректного вирішення такого завдання недостатньо визначення параметрів в якості точкових оцінок, необхідно задавати умови по всьому об'єму металу, що знаходиться, наприклад, в осередку деформації.

Для забезпечення ефективності процесів ОМТ необхідний математичний опис процесу знаходження нагрітого металу в осередку деформації. Відсутність адекватної математичної моделі для таких багатфакторних процесів примушує або використовувати без належного обґрунтування теоретичні одновимірні рішення, або спиратися на емпіричні залежності, що

отримані на експериментальних дослідженнях в конкретних технологічних умовах. На наш погляд, цікавим може бути використання нелінійного рівняння для неньютоновської рідини, течія якої описується рівнянням Бінгама-Шведова: $\tau = \tau_0 + \eta(\partial v / \partial h)$, де τ_0 і τ - початкове і текуче динамічні напруження зсуву відповідно; η - коефіцієнт в'язкості; $\partial v / \partial h$ - градієнт швидкості металу по нормалі к потоку.

Але в реальних умовах технологічного процесу неможливо адекватно і точно врахувати всю доступну вихідну інформацію, що створює необхідність використовувати методи чисельного моделювання. Актуальним для теорії ОМТ є питання комплексного впровадження теоретичних досліджень при практичному вирішенні конкретних технологічних завдань. Використання ймовірнісних та статистичних методів дозволяє отримати більш достовірну оцінку відповідних процесів ОМТ, що досягається відповідною обробкою вихідної інформації.

Головна перевага числових комп'ютерних методів у їх гнучкості до варіацій вихідної інформації і можливості швидкого виконання аналізу впливу різноманітних визначальних змінних параметрів на механічні властивості та геометрію металу при його обробці [4,5].

До основних недоліків цих методів слід віднести ту обставину, що вони вимагають наявності важкоодежованої і (або) невизначеної інформації (наприклад, про фізико-механічні властивості металу, критерії руйнування, різні коефіцієнти та ін.). Стандартні програмні комплекси дозволяють вирішувати завдання лише в загальному вигляді; урахування специфіки конкретного технологічного, або фізико-механічного процесу потребує значних доробок програмного забезпечення.

Висновки і напрямок подальших досліджень. При аналізі науково-дослідних праць стосовно питань розвитку теорії та методів моделювання процесів ОМТ можна зробити висновок, що найближчим часом існуючі теоретичні основи пластичної формозміни металу принципів змін не перетерплять. У подальших дослідженнях будемо розглядати безперервне гаряче прокатування, для якого, як показує аналіз, найбільш важливими факторами, що визначають геометрію і механічні властивості вихідного продукту є нерівномірність опору металу обтисненню по ширині валків і по довжині смуги. Перспективним напрямком, на думку авторів, є використання числових методів моделювання при аналітичному дослідженні процесів ОМТ, коли основні параметри процесу, граничні умови і механічні властивості металу мають чітко виражений ймовірнісний характер.

Список літератури

1. Бэкофен В. Процессы деформации.- М.: Металлургия, 1977. - 288 с.
 2. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. -Учебн. пособие для вузов.- М.: Металлургия, 1983. - 352 с.
 3. Грудев А.П.. Теория прокатки: учебник для вузов. - М. Металлургия, 1988. - 240 с..
 4. Липовик В.В., Максимов О.В., Коломойцева Л.В. Теория ймовірностей. - Кривий Ріг, Видавничий дім, 2007 – 247 с.
 5. Клименко В.М., Онищенко А.М. Кинематика и динамика процессов прокатки. - М.: Металлургия, 1984. – 232 с.
 6. Прокатное производство. - Учебн. для вузов. - 3-е изд. // П.И. Полухин, Н.М. Федосов, А.А. Королев, Ю.М. Матвеев.: Металлургия, 1982. - 695 с.
- Рукопис подано до редакції 12.12.11

УДК 622-233

Л.А. БУГАЙ, ст.препод., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА АБРАЗИВНОЙ ЗАТОЧКИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Предложены методы повышения эксплуатационных характеристик режущих кромок бурового инструмента.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданими. В горно-добывающей промышленности при выработке сырья широко используют буровой инструмент, который работает в жестких условиях эксплуатации. Производительность и надежность горных машин, комплексов, агрегатов невозможны без создания и применения высокоэффективных горных инструментов, поскольку они непосредственно определяют характер взаимодействия машин с забоем. Ресурс работы бурового инструмента зависит от качества заточки режущих кромок. Поэтому проведение работ по повышению качества заточки горного инструмента есть актуальным.