Феноменологічні рівняння поведінки конструкційних матеріалів в процесі різання

Для дослідження процесів різання матеріалів все більше застосування знаходять системи скінчено-елементного аналізу такі як DEFORM, ABAQUS, LS-DYNA, ADVANT EDGE, ANSYS EXPLICIT DYNAMICS тощо.

Будь-яка скінчено-елементна модель розробляється для умов, що визначають процес різання, однак, містить цілий ряд спрощень. Тому призначені розробником умови повною мірою не відображають реальний процес обробки.

Симуляція процесу різання забезпечується комп'ютерними обчисленнями з використанням рівнянь, що характеризують пластичне течіння матеріалу і його руйнування. Подібні рівняння називаються феноменологічними рівняннями або науковими моделями. Кожна з цих моделей описує емпіричний взаємозв'язок явищ таким чином, що вона узгоджується з фундаментальною теорією, але не безпосередньо випливає з теорії. Такими моделями є моделі Джонсона-Кука, Купера-Саймондса, Зеріллі-Армстронга, Літонскі-Батра, Боднер-Партома, «Силової залежності».

В більшості випадків при численному моделюванні процесів механічної обробки матеріалів використовується модель Джонсона-Кука – емпіричне рівняння для металів під дією великих деформацій, високих швидкостей деформації і високих температур, згідно з яким, динамічна межа текучості, σ, записується таким чином:

$$\sigma = \left(A + B\varepsilon^{n}\right)\left(1 + C\ln\dot{\varepsilon}^{*}\right)\left(1 - T^{*m}\right) \qquad (1)$$

де ε – інтенсивність пластичної деформації;

$\dot{\varepsilon}^{*} = \dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_0$ – безрозмірна швидкість пластичної деформації, що визначається як відношення миттєвої швидкості пластичної деформації $\dot{\varepsilon}$ до її граничного значення $\dot{\varepsilon}_0 = 1\,\text{с}^{-1}$;

T^{*} – гомологічна температура;

A – статична межа текучості, B – модуль деформаційного зміцнення, n – показник ступеня в законі деформаційного зміцнення, C – коефіцієнт швидкості деформацій, m – показник ступеня в законі температурного знеміцнення (константи, які визначаються емпіричним шляхом).

Дослідники з метою визначення параметрів, що входять в дані феноменологічні рівняння, досить часто вдаються до методики, що має назву «Split-Hopkinson pressure bar» або аналогічних їй. Ці методики хороші тим, що дозволяють отримати криві текучості при різних температурах зразків і швидкостях деформації. Разом з тим слід зазначити, що дані криві при застосуванні до процесу різання дають значну похибку тому, що зразки піддаються тільки розтягуванню, а при різанні, як відомо, має місце зсув. Крім того, неточності у визначенні параметрів, що входять в феноменологічні рівняння, можуть привести або до неможливості вирішення поставленого завдання,

або до суттєвих помилок у визначенні функціональних параметрів обробки (сил, температур різання тощо) та параметрів якості поверхневого шару.

До основних недоліків моделі Джонсона-Кука можна віднести її емпіричну основу і відсутність зв'язку між швидкістю деформації і температурою в процесі пластичної деформації. Також модель має недоліки у представленні характеристик зміцнення всіх видів матеріалів. Швидкісне зміцнення (в других дужках рівняння (1)) виражене як лінійна функція від логарифма швидкості деформації. В результаті опису швидкісного зміцнення лінійною функцією, межа текучості матеріалу також лінійно залежить від логарифма швидкості деформації, що не є справедливим для всіх поширених металевих матеріалів.

Вважається, що досі не існує жодної моделі, в якій одночасно похибки прогнозування всіх складових сили різання, температури різання, форми стружки та її усадки були б менше 5%. Часто це пояснюється неточністю моделі тертя на передній поверхні, оскільки саме тертя на передній поверхні багато в чому визначає ці показники.

На похибку прогнозування сили і температури різання найбільше впливає похибка показників тертя і радіусу округлення різальної кромки. Іншими важливими факторами впливу є: передній кут інструмента; теплоємність оброблюваного матеріалу; параметр А, що визначає рівняння оброблюваного матеріалу і максимальна величина накопичених пластичних деформацій до руйнування.

Таким чином, якісна розробка скінчено-елементної моделі процесу механічної обробки матеріалу вимагає ретельного врахування великої кількості параметрів, які характеризують різноманітні явища, якими супроводжується процес різання. Комплекс таких параметрів (фізичних, геометричних, кінематичних, технічних тощо) визначає достовірність скінчено-елементної моделі.

Властивості конструкційних матеріалів

Властивості усіх матеріалів залежать від: структури, хімічного та мінералогічного чи фазового складу, на які, у свою чергу, впливають умови утворення матеріалів або властивості сировини та особливості технології виготовлення чи обробки.

Залежно від макроструктури матеріали поділяють на:

- щільні (наприклад, граніт, скло, сталь, тощо);
- пористі (наприклад, піноскло, керамзит, тощо);
- пухкозернисті (наприклад, пісок, щебінь, перліт, цемент, тощо);
- шаруваті (наприклад, фанера, шаруваті пластики, тощо);
- волокнисті (наприклад, деревина, мінеральна вата, тощо).

Будова матеріалу впливає на його властивості, наприклад при збільшенні пористості зменшується вага матеріалу, зменшується його теплопровідність, також істотно змінюються: міцність, водопроникність, морозостійкість та інші властивості.

За структурним станом матеріали бувають ізотропними або анізотропними. Матеріали мінерального походження за мікроструктурою поділяються на кристалічні (з правильним розміщенням молекул, атомів у кристалічних решітках), аморфні (з хаотичним розташуванням молекул). Для деяких матеріалів характерний поліморфізм.

Основні властивості матеріалів поділяють на:

1. Фізичні:

a. структурно-фізичні – характеризують особливості фізичного стану матеріалу (істинна густина, питома вага, середня густина, насипна густина, пористість, порожнистість);

b. гідрофізичні – характеризують реакцію матеріалу на дію вологи (гігроскопічність, капілярне всмоктування, водопоглинання, водостійкість, вологість, водопроникність, гідрофільність, гідрофобність, вологові деформації, морозостійкість);

c. теплофізичні – визначають реакцію матеріалу на дію тепла і вогню (теплопровідність, теплостійкість, вогнестійкість, температурні деформації, вогнетривкість, жаростійкість тощо);

d. фізико-механічні – характеризують здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією різних механічних навантажень (міцність при стиску, розтягу, згині, твердість, стиранність, опір удару, деформативні властивості);

e. фізико-хімічні – характеризують взаємозв’язок фізичного та хімічного станів чи хімічних процесів, що відбуваються у матеріалі (дисперсність, в’язкість, пластичність мінерального тіста, когезія, адгезія, здатність до твердіння чи емульгування).

2. Хімічні:

a. стійкість щодо дії мінералізованих середовищ (морських, ґрунтових, дренажних вод з високим вмістом розчинів солей) характеризується здатністю матеріалу працювати в мінералізованих середовищах без втрати міцності;

b. кислотостійкість – здатність чинити опір дії кислот, характерна для матеріалів, що містять кремнезем;

c. лугостійкість – здатність чинити опір дії лугів, характерна для матеріалів, що містять основні оксиди;

d. токсичність – здатність матеріалу у процесі виготовлення та експлуатації за певних умов виділяти шкідливі для здоров'я людини отруйні речовини.

3. Технологічні:

a. технологічність – здатність матеріалу сприймати різні види, прийоми, методи технологічної обробки;

b. полірувальність – здатність матеріалу (граніт, мармур, базальт) сприймати обробку тонкими абразивними матеріалами;

c. подрібнюваність – здатність матеріалу сприймати механічне подрібнення внаслідок переважно ударних навантажень або дії електричного струму, термічного удару, електрогідравлічного ефекту;

d. абразивність характерна для твердих матеріалів (кварц, топаз, корунд, алмаз), які застосовуються для поверхневої обробки (шліфування, полірування) чи розпилювання інших матеріалів;

e. формівність – характеризує здатність матеріалу набирати певної форми внаслідок різних механічних впливів (пресування, прокатування, вібрування);

f. розшаровуваність – здатність пластичних матеріалів змінювати (погіршувати) однорідність будови при зберіганні, транспортуванні;

g. злежуваність характерна для зернистих, порошкоподібних матеріалів, які при тривалому зберіганні здатні до грудкування, ущільнення, втрати сипкості.

4. Спеціальні:

a. декоративність характеризується спеціальними естетичними властивостями облицювальних матеріалів (колір, блиск, рисунок, фактура);

b. акустичні властивості – звукопоглинання, звукоізоляція, звукопроникність. Звукопоглинання – здатність матеріалу поглинати звукові хвилі, що падають на нього. Звукоізоляція – здатність матеріалу чинити опір проходженню звукових хвиль, характеризується ступенем зниження рівня звукового тиску внаслідок проходження звуку крізь конструкцію. Звукопроникність – здатність матеріалу пропускати крізь себе звукові хвилі;

c. електропровідність – здатність матеріалу проводити крізь себе електричний струм, оцінюється питомою електропровідністю. Хорошу електропровідність мають метали, вологий бетон, волога деревина. Ізоляційними є полімери, фарфор, скло, мармур;

d. прозорість – здатність матеріалу пропускати світлові промені, забезпечує наскрізну видимість (віконне скло, органічне скло, плівки, склопластики);

e. газопроникність може спостерігатися при наявності різниці тисків або температур по обидва боки матеріалу, тобто, коли відбувається рух газу (повітря) через пори, тріщини.

Оцінюється коефіцієнтом газопроникності;

f. радіаційна непроникність – здатність матеріалів бути захисним екраном від радіоактивних впливів (гідратні бетони, барит, лимонит, свинець, магнетит).

5. Експлуатаційні:

a. атмосферостійкість – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під дією атмосферних факторів (зміна температури, сонячне світло, опади, пил, газ);

b. повітростійкість – здатність матеріалу витримувати багаторазове гігроскопічне зволоження та висушування, при яких не спостерігається деформацій, втрати міцності;

c. біологічна стійкість – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню під впливом біологічних процесів (життєдіяльність мохів, лишайників, грибкових організмів);

d. корозійна стійкість – здатність матеріалу чинити опір руйнуванню від спільної дії різних факторів – атмосферних явищ, хімічних процесів, біологічного руйнування, забруднення;

e. старіння – зміна у часі структури та якості матеріалу (поява тріщин, підвищення крихкості, зміна кольору, блиску);

f. надійність поєднує такі характеристики: довговічність, безвідмовність, схоронність, ремонтопридатність. Довговічність – здатність матеріалу служити довгий час у конкретних умовах у встановленому режимі без втрати експлуатаційних властивостей. Безвідмовність – здатність матеріалу зберігати працездатність протягом певного часу без вимушених перерв на ремонт. Ремонтопридатність – це здатність матеріалу чи виробу сприймати ремонт і налагодження, внаслідок якого якість виробу повертається. Схоронність – здатність матеріалу не втрачати якісних показників після зберігання і транспортування;

g. гігієнічність – здатність матеріалу сприймати багаторазове чищення, миття, дезинфікування робочої поверхні без зниження якості. Гігієнічними є матеріали зі щільною, водонепроникною, міцною, стійкою поверхнею – керамічні глазуровані, скляні, емальовані матеріали;

h. транспортабельність – здатність матеріалу без спеціальних пристосувань, тари завантажуватися, транспортуватися, розвантажуватися, причому, без порушення структурної цілісності, появи тріщин, відколів.

Ізотропні матеріали. Матеріал вважається ізотропним, при ідентичності властивостей уздовж усіх напрямків. Ізотропні матеріали можуть мати гомогенну або негомогенну мікроструктуру. Наприклад, існує сталь, яка має ізотропні властивості, незважаючи на негомогенну мікроструктуру.

Гомогенна система – це однорідна система, хімічний склад і фізичні властивості якої у всіх частинах однакові або змінюються безперервно (між частинами системи немає поверхонь розділу). У гомогенній системі з двох і більше хімічних компонентів кожен компонент розподілений в масі іншого у вигляді молекул, атомів, іонів. Складові частини гомогенної системи не можна відокремити одну від одної механічним шляхом. У гомогенних сумішах складові частини не можна знайти ні візуально, ні за допомогою оптичних приладів, оскільки речовини знаходяться в роздробленому стані на мікрорівні. Гомогенними сумішами є змішані гази, а також суміші деяких рідин і твердих речовин, наприклад, сплави.

Гетерогенна система – це неоднорідна система, що складається з однорідних частин (фаз), розділених поверхнею розділу. Однорідні частини (фази) можуть відрізнятися одна від одної за складом і властивостями.

Прикладами гетерогенних систем можуть бути: насичений пар; насичений розчин з осадом; багато сплавів. Твердий каталізатор в потоці газу або рідини – це теж гетерогенна система. У будівництві гетерогенною системою є цегляна і кам'яна

кладка, що складається з елементів кладки (цегли, природних або штучних каменів, бетонних блоків, тощо) і будівельного розчину.

Анізотропні матеріали – це матеріали, що мають неоднакові (механічні, оптичні, магнітні та інші) властивості в різних напрямах.

До анізотропних матеріалів відносяться: кристали і монокристали, заготовки сплавів і сталей (прокат, штампування та ін.), волокнисті і плівкові матеріали, армовані пластики, п'єзокварц, графіт і ін. Великого значення набув один з класів анізотропних матеріалів, а саме композиційні матеріали, в яких поєднуються властивості різних матеріалів: наповнювача (надміцні волокна металів і їх оксидів, ниткоподібні кристали і ін.) і сполучного (полімери і метали). Застосування анізотропних матеріалів з певним чином орієнтованою неоднорідністю властивостей дозволяє скоротити витрату матеріалів і поліпшити якість виробів.

Ортотропні матеріали є окремим випадком анізотропних.

Матеріал вважається ортотропним у разі унікальності і незалежності властивостей уздовж двох (трьох) взаємно перпендикулярних напрямків. Ортотропними матеріалами є дерево, більшість мінералів і металопрокат.

Література:

Цибульник С. О. Системи CAE/CAD. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійної програми «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування» / С. О. Цибульник ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 79 с.