

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ У ЗОНІ РІЗАННЯ ДЛЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ ТОКАРНОГО ОБРОБЛЕННЯ

© Ступницький В.В., 2011

Розглядаються проблеми створення скінченно-елементних моделей, які симулюють робочі процеси механічної обробки. Наведено характеристику фізичної моделі процесу різання як найскладнішого виду механічної обробки, подано короткі теоретичні відомості про метод скінченних елементів та опис програм комп'ютерного аналізу САЕ; наведено приклади моделей токарної обробки

Problems of finite-element modeling that simulate the cutting processes is examined in the article. The brought description over of physical model of cutting process as the most difficult type of machining, short theoretical information is given about the method of finite-elements and description of the computer analysis programs (CAE); examples of models of lathe treatment are given.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Під час токарного оброблення деталей завжди видаляється матеріал, що попередньо зазнав пластичної деформації. Так, в процесі стружкоутворення пластично деформується тонкий шар матеріалу на поверхні різання, який потім зрізується за подальшого циклу руху інструменту (через оберт шпинделя). Попередня деформація матеріалу зрізаного шару може бути також наслідком дії попередніх (проміжних) технологічних операцій або результатом видалення припуску за кілька наступних проходів. Матеріал зрізаного шару після поверхневої пластичної деформації має багато специфічних властивостей, які можуть робити істотний вплив на процес різання. Враховування цих чинників може істотно вплинути на ефективність механічного оброблення, забезпечення точності та продуктивності технологічної операції. У той самий час теоретичні дослідження механіки процесу різання металів, зокрема механіки стружкоутворення, ґрунтуються на допущеннях (ізотропія та однорідність властивостей матеріалу зрізаного шару тощо), що виключають аналіз впливу, характерних для поверхневого пластичного деформування, властивостей матеріалу і їх розподілу по перерізу зрізаного шару; фактично не включають дослідження взаємозв'язку деформаційного зміцнення матеріалу з питомими енергетичними характеристиками обробки [4].

Формулювання мети роботи. Отже, доцільним є дослідження напружено-деформованого стану неоднорідного матеріалу в околі вершини гострокутного концентратора напруження (яким є клинова форма токарного різця), що дасть змогу виявити критичні значення еквівалентних напружень, деформації матеріалу та екстраполювати ці дані на умови забезпечення точності та якості оброблюваної поверхні. В одних випадках явище високої концентрації напруження сприяє інтенсивнішому руйнуванню матеріалу, збільшуючи продуктивність оброблення, проте призводить до зношування та викришування інструменту, що є небажаним. Під час різання крихкого матеріалу оброблена поверхня має нерівності, пов'язані з виламуванням стружки. Для знаходження причин такого руйнування необхідно визначити напружений стан в околі вершини розтягнутого вирізу.

Виклад основного матеріалу. Інструментальні матеріали схильні до стирання і руйнування леза, яке відбувається на дуже близькій відстані від різальної кромки, де складно проводити експериментальні дослідження напружено-деформованого стану матеріалу. Звідси випливає необхідність дослідження цього процесу у системах твердотілого моделювання та комп'ютерного САЕ (Computer – aided engineering) аналізу системи “Деталь-Інструмент-Стружка”. Це різноманітні програмні продукти, що уможливають за допомогою розрахункових методів (метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць, метод кінцевих об'ємів) оцінити, як поведеться комп'ютерна модель виробу в реальних умовах оброблення. Використання САЕ систем допомагає переконатися у забезпеченні якості виробу без залучення великих витрат часу і засобів.

Проте велика кількість програм і програмних САЕ-пакетів, призначених для виконання різних інженерних завдань: розрахунків, аналізу і симуляції фізичних процесів призначена для аналізу напружено-деформованого стану виробу, що знаходиться в умовах лінійної пружної деформації, і ґрунтуються на численних методах розв'язання диференціальних рівнянь (метод кінцевих елементів, метод кінцевих об'ємів, метод кінцевих різниць тощо). У разі дослідження процесу різання ми маємо справу з пластичним деформуванням деталі за теорією нелінійної механіки руйнування, динамічною зміною фізико-механічних властивостей заготовки, інструменту та стружки. Важливим чинником аналізу є вплив динаміки температурного поля у зоні різання. З розмаїття програмних продуктів можна виділити такі основні гібридні CAD/CAE-системи, які імітують пластичні деформації, узгоджуючи їх з термодинамічним станом різального околу, як ABAQUS, LS-DYNA, Deform-3D (пакет MACHINING) та AdvantEdge [1].

На рис. 1 показано хронограму еквівалентних напружень (визначених за 4-ю теорією міцності – за критерієм Мізеса) токарного оброблення заготовки з конструкційної сталі за швидкості різання $V=100$ м/хв, подачі $S=0,1$ мм з радіусом при вершині $R=0,25$ мм, змодельованої в системах ABAQUS (а) та AdvantEdge (б). Середньостатистичний розмір градієнтної сітки в системі ABAQUS (а) у 4–8 разів менший, тому можна говорити про вищу адекватність результатів моделювання [5].

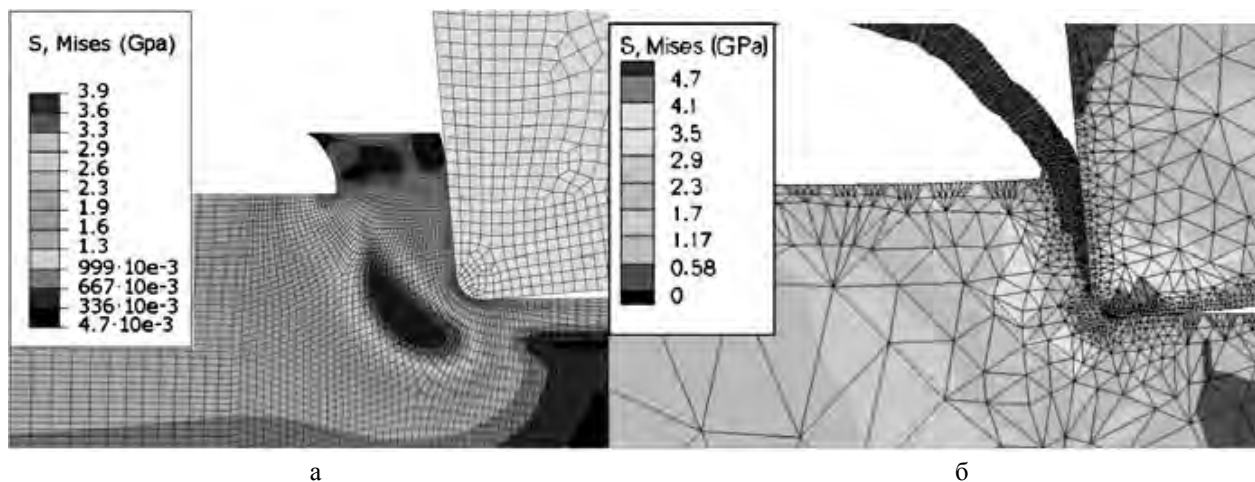


Рис. 1. Хронограма еквівалентних напружень оброблення заготовки з конструкційної сталі за швидкості різання $V=100$ м/хв, подачі $S=0,1$ мм з радіусом при вершині $R=0,25$ мм, змодельованої в системах ABAQUS (а) та AdvantEdge (б)

На рис. 2 показано хронограму температурних полів, а на рис. 3 – хронограму пластичних деформацій матеріалу під час токарного оброблення заготовки з конструкційної сталі за швидкості різання $V=100$ м/хв, подачі $S=0,1$ мм з радіусом при вершині $R=0,25$ мм, змодельованої в системах ABAQUS (а) та AdvantEdge (б).

Важливим є використання градієнтної сітки, що у 3–5 разів зменшує час розрахунку, фактично не спотворюючи результати моделювання (рис. 4).

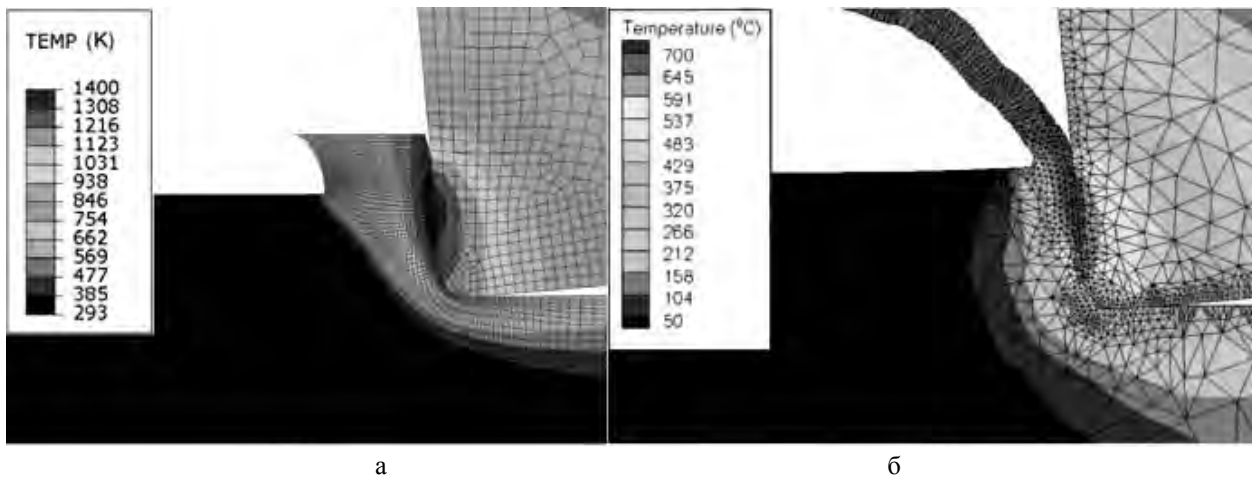


Рис. 2. Хронограма температурних полів під час оброблення заготовки з конструкційної сталі за швидкості різання $V=100$ м/хв, подачі $S=0,1$ мм з радіусом при вершині $R=0,25$ мм, змодельованої у системах ABAQUS (а) та AdvantEdge (б)

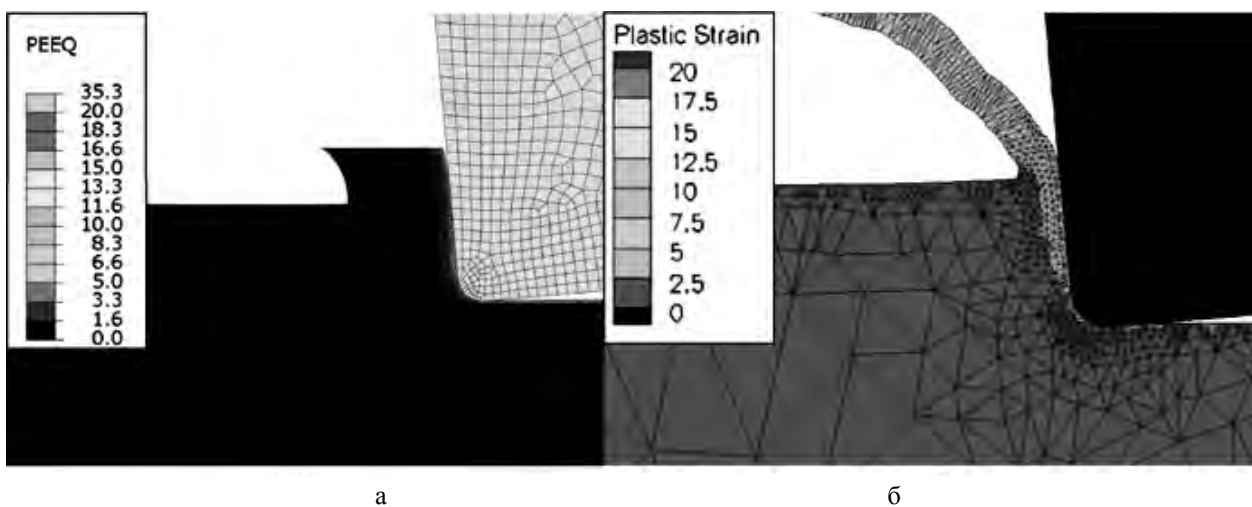


Рис. 3. Хронограма еквівалентних пластичних деформацій, що виникають під час оброблення заготовки з конструкційної сталі за швидкості різання $V=100$ м/хв, подачі $S=0,1$ мм з радіусом при вершині $R=0,25$ мм, змодельованої у системах ABAQUS (а) та AdvantEdge (б)

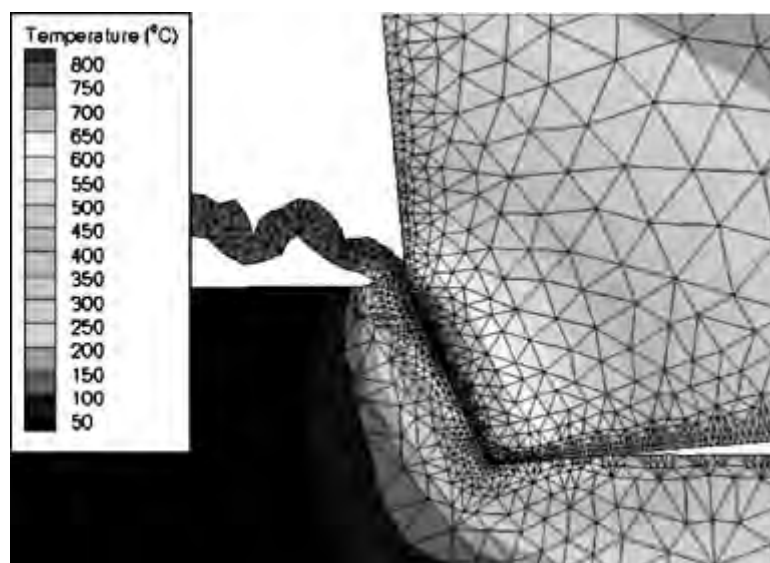


Рис. 4. Використання градієнтної сітки для наведення результатів дослідження температурних полів під час оброблення заготовки з конструкційної сталі у системі AdvantEdge

Розрахунок на міцність різального клина під час проведення подібного роду досліджень традиційно спирається на лінійну теорію пружності [2]. Проте класична теорія пружності має і деякі недоліки, які утруднюють її застосування для вивчення механічної поведінки матеріалу в околах концентраторів напруження – кутових лініях і точках поверхонь, оскільки використовують приведення сил, що діють на інструмент в зоні різання, до його різального леза. Для подальшого розрахунку напруженого стану матеріалу різця відповідно до цієї схеми виявляється необхідним розв'язувати задачу про дію зосередженої сили на вершину клина. У межах класичної теорії пружності розв'язок цієї задачі призводить до необмеженого росту напруження і деформацій [2], що розвиваються поблизу різального леза, за необмежено близького наближення до неї, незалежно від величини сил, прикладених до цієї кромки. Цей результат фізично нереальний, оскільки свідчить про те, що за будь-яких значень (скільки завгодно малих) сил різання матеріал різального леза обов'язково руйнуватиметься під дією цих сил. Вище викладене свідчить про необхідність створення такого методу розрахунку напруження в околі гострокутного концентратора напруження, який уможливив би в описаній ситуації набувати кінцевих, адекватних реальним значень напруження і деформацій матеріалу. Важливим є також використання схем токарного оброблення як з загостреним різальним лезом, на яке не впливають інші зовнішні дії, так і з заокругленою формою різального леза. У цьому випадку вважається, що сила рівномірно розподілена по усій поверхні. Проте в реальності взаємодія різального і оброблюваного матеріалів відбувається за різними виступами (шорсткість, зерна кристалів тощо).

На рис. 5 показано хронограму пластичних деформацій матеріалу під час токарного оброблення заготовки з конструкційної сталі за швидкості різання $V=100$ м/хв, подачі $S=0,1$ мм з радіусом при вершині різця $R=0,25$ мм (а) та з затупленим лезом ($h=1,0$ мм) (б), змодельованої у системі AdvantEdge.

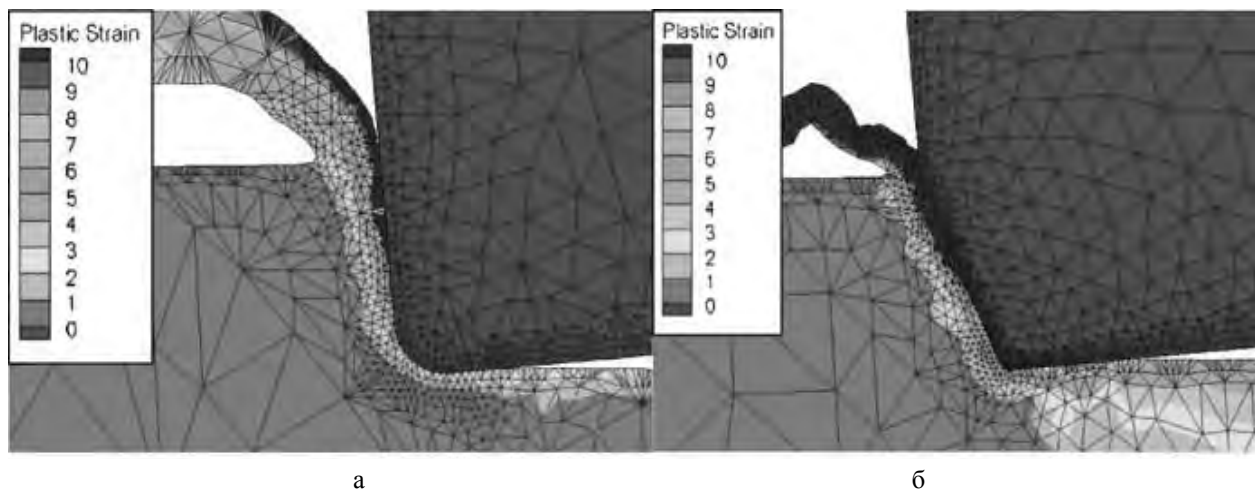


Рис. 5. Хронограма еквівалентних пластичних деформацій, що виникають під час токарного оброблення заготовки з конструкційної сталі з радіусом за вершини різця $R=0,25$ мм (а) та з затупленим лезом ($h=0,75$ мм) (б), змодельованої у системі AdvantEdge

Висновки. Розрахунки показали таке. Найдеформованішою для усіх досліджених варіантів навантаження є зона далекої межі уступу на заготовці (рис. 1, а); зміна напрямку дії зусиль різання визначає перерозподіл напружень в об'ємі заготовки і його якісні характеристики – локалізацію областей деформації, зумовлених переважно розтягуючим або стискаючим напруженням (рис. 3, б). Імовірно кращим, з точки зору формування дефектного шару, є варіант орієнтації навантаження по нормалі до площини уступу гострим клином різця, коли рівень стискаючого напруження, спрямованого в оброблювану поверхню, є мінімальним (рис. 5, а). При цьому основний градієнт напруження зосереджений в об'ємі припуску, що видаляється. Про це свідчать

максимальні значення ризику руйнування окремих зон контакту інструмента і деталі, зосереджені також в області припуску, що видаляється.

1. *Основи 3D-моделирования процессов механической обработки методом скінченних елементів / Д.В. Криворучко, В.О. Залоза, В.Г. Корбач. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 208 с.* 2. *Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.* 3. *Ярославцев В.М. Механика процесса резания пластически деформированных металлов с неоднородными свойствами по толщине срезаемого слоя / Электронное научно-техническое издание МВТУ им. Баумана. – №8. – 2011. – 19 с.* 4. *J. Paulo Davim. Machining of Hard Materials- Springer. – London, 2011. – 225 p.*

УДК 621.787.4

А.А. Ткачук, В.Ю. Заблоцький, С.А. Мороз
Луцький національний технічний університет

ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ ЗАГАРТОВАНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ, ЗМІЦНЕНИХ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

© Ткачук А.А., Заблоцький В.Ю., Мороз С.А., 2011

Описано дослідження характеристик опору нанокристалічних структур термічному розміцненню під час вакуумних відпусків в інтервалі температур 100...600 °С. Встановлено, що зміцнення гартованих вуглецевих сталей у процесі вигладжувального оброблення значною мірою зумовлено ефективним розвитком у тетрагональному невідпущеному мартенситі деформаційного динамічного старіння, що характеризується утворенням на виникаючих під час тертя багаточисленних дислокаціях сегрегації з атомів вуглецю.

The present work describes the study of resistance characteristics of nanocrystalline structures of thermal relaxation during vacation vacuum in the temperature range 100...600 °C. It is established that the strengthening of tempered carbon steel during plastic processing is largely due to effective development in the tetragonal martensite is released strain dynamic aging, characterized by the formation of friction arising during numerous dislocations segregation of carbon atoms.

Постановка проблеми. Відомо, що на експлуатаційні характеристики спряжених деталей типу тіло обертання впливають мікро- та макрогеометричні параметри їхніх робочих поверхонь. Попередніми дослідженнями [1] встановлено, що експлуатаційні характеристики робочих поверхонь деталей зароджуються на початкових заготівельних операціях, а остаточно формуються на викінчувальних операціях механічного оброблення. Зв'язок характеристик якості поверхневого шару з експлуатаційними властивостями деталей свідчить про те, що оптимальна поверхня повинна бути доволі твердою, мати стискуючі залишкові напруження, дрібнодисперсну структуру, згладжену форму мікронерівностей з великою площею опорної поверхні. Широкі можливості в технологічному керуванні якістю поверхні з'являються під час застосування таких прогресивних методів, як різновиди зміцнювально-вигладжувального оброблення, в основу яких покладено поверхневу пластичну деформацію (ППД).

Аналіз останніх досліджень. Оброблення ППД застосовується для підвищення втомної міцності, зносостійкості поверхонь тертя, контактної міцності, жорсткості та покращання інших експлуатаційних і термічних властивостей деталей машин [2].