

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПІД ЧАС ЇХ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ У ЗОНІ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ

© Ступницький В.В., 2012

Наведено реологічну модель різання ізоморфної заготовки. Проаналізовано напружено-деформований стан деталей машин під час їх механічного оброблення у зоні стружкоутворення. Встановлені зони впливу згинних, стискаючих та розтягуючих сил під час різання.

A reological model of cutting of isomorphic parts is described in the article. The tensely-deformed state of machining parts in the zone of shaving formation is analysed. Set affected of bend zones, squeezing and stretching forces at cutting.

Постановка проблеми. Процес утворення стружки під час різання пластичних ізоморфних матеріалів складається з двох етапів: стиску деякого об'єму металу, що знаходиться під впливом силової дії інструментального клина і наступного його сколювання [1–3]. Напрямок деформацій всередині стружки відповідає напрямку ліній сколювання, по яких метал заготовки деформується на стадії стиску. Після того, як напружено-деформований стан металу досягне порогового енергетичного чи деформаційного значення, відбувається його руйнування, що призводить до формоутворення окремого стружкового елемента. У цей момент відбувається сколювання елементів стружки і подальше їх зрушення в площині ВС (рис. 1). Причому пластична деформація поширюється в зоні, обмеженій кутом дії ψ . Відповідно кут β_1 стає кутом сколювання або кутом зрушення, а площина ВС — площиною сколювання.

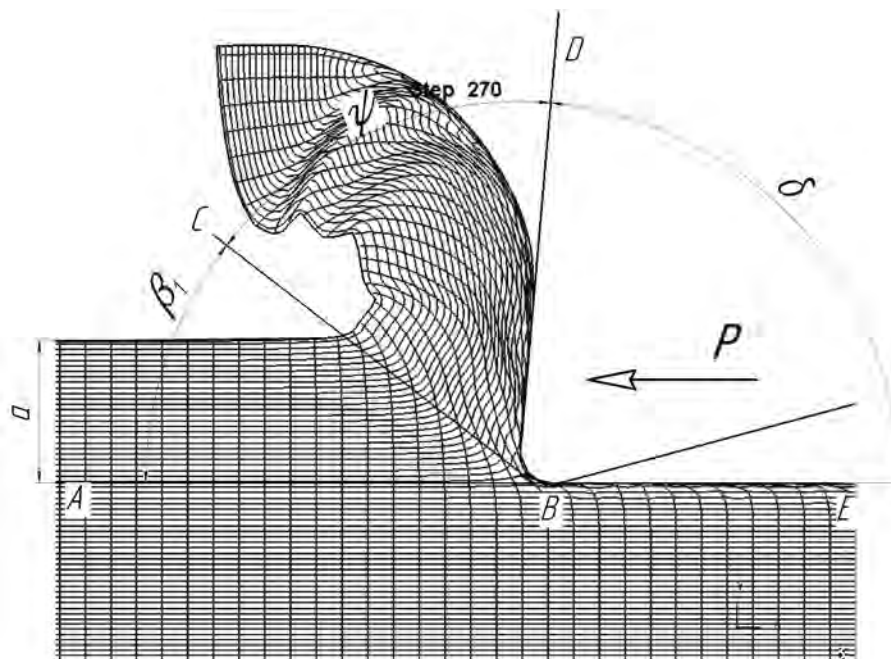


Рис. 1. Схема формоутворення стружки

Вказаний процес утворення стружки характеризує руйнування пластичних або квазіпластичних матеріалів, що обробляються з великою товщиною зрізу і за малого переднього кута різання. Сколювання відбувається в одній площині, а не в об'ємі. Аналіз імітаційних моделей різання, показав, що пластичні деформації відбуваються у сімействі площин віялоподібно, площини цих зрушень проходять через лезо інструмента, що підтверджує відому гіпотезу, висловлену проф. Н.Н. Зоревим [2] (рис. 2).

Поверхня із слідом ВС — межа між початковим металом і металом з сильнішою деформацією. Метал, що знаходиться під обробленою поверхнею, теж виходить пластично деформованим, тобто відбувається наклеп поверхні, хоча міра деформації тут значно менша.

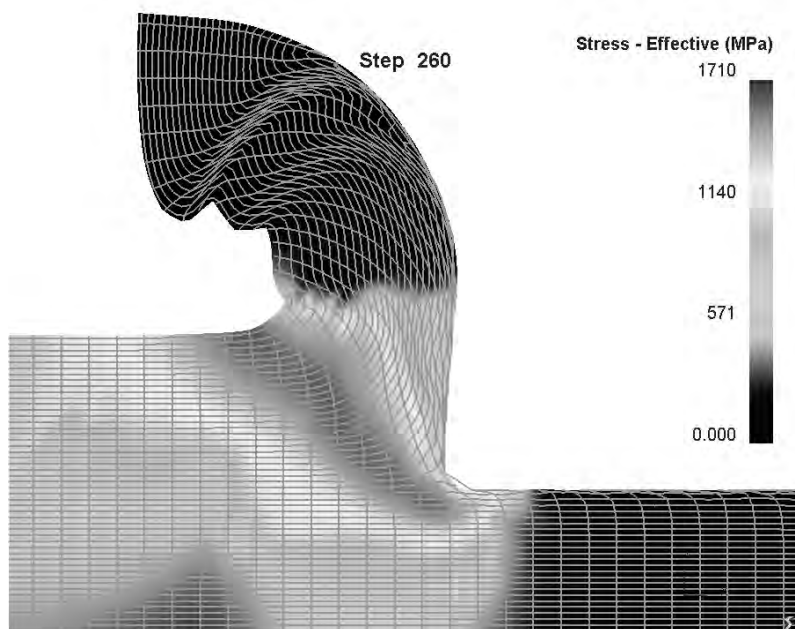


Рис. 2. Реологічна картина розподілу ефективного еквівалентного напруження у зоні стружкоутворення

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Велике значення питанням прогнозування і управління процесом формоутворення стружки надається у роботах вчених у галузі машинобудування. Так, дослідження, проведені в Японії серед науковців, що працюють в галузі машинобудування, показали, що зі спектра проблем, пов'язаних з різанням металів для токарних операцій, проблема видалення стружки стоїть на третьому місці після довговічності інструмента і точності обробки [5]. У [2, 3, 6, 7] керуваність процесом стружкоутворення ставиться в один ряд з потужністю різання, терміном служби інструмента, якістю обробленої поверхні. Проблема управління формоутворенням та напружено-деформованим станом заготовки у зоні утворення стружки впродовж кількох десятиліть активно обговорюється в Науково-технічному комітеті з проблем різання металів при Міжнародній організації промислових досліджень США [6]. Провідні учені світу відзначають, що завдання прогнозування стану заготовки і управління формою стружки належить до важковирішуваних проблем теорії різання [5, 7]. Загальне вирішення проблеми припускає теоретичне обґрунтування і створення оптимальних форм передньої поверхні різців, режимів і методів проектування технологічних процесів металообробки, що забезпечують отримання сприятливої форми стружки під час обробки пластичних металів і сплавів [2]. Незважаючи на численні дослідження, до сьогодні проблема не вирішена ні теоретично, ні практично. Отриманих в ході досліджень знань досі недостатньо для однозначного пояснення причин утворення різних форм зливної стружки і тим більше прогнозування цих форм, управління процесом її формоутворення та напружено-деформованого стану заготовки у зоні її контакту з різальним клином. Теоретичні роботи переважно охоплюють аналіз механізму в аналітичному вигляді і спрямовані на створення фізичної моделі процесу [1, 6]. Практичні рішення переважно ґрунтуються на використанні виробничого досвіду. Розроблені емпірично рекомендації з проектування і використання різальних пластин мають обмежене застосування.

Постановка завдання. Метою досліджень є аналіз імітаційної реологічної моделі для багатofакторного вивчення напружено-деформованого стану у зоні утворення стружки під час різання ізоморфної заготовки з пластичного або квазіпластичного матеріалу.

Основний матеріал. Для матеріалів, що характеризуються високою мірою анізотропії пружних і міцнісних властивостей, вплив застосування різних критеріїв руйнування матеріалів на результати розрахунків насамперед залежить від швидкості деформації $\dot{\epsilon}$. Як показали численні розрахунки та аналіз результатів імітаційного моделювання в системах Deform 2D(3D), ABAQUS, Advantedge, LS Dyna [4], вибір критерію руйнування істотно впливає на процес руйнування. Врахування різних характеристик матеріалу в зоні стружкоутворення при розтягуванні і стискуванні дає змогу адекватніше моделювати процес різання, але збільшення кількості незалежних міцнісних характеристик пред'являє вищі вимоги до адекватності поправкових коефіцієнтів, визначених на основі експериментальних даних.

Очевидно, що в області контакту стружки з передньою поверхнею леза інструмента і в місці її затискання біля вершини леза виникає розтягування об'єму металу заготовки, а з протилежного боку – його стискування. У цьому випадку в області біля вершини леза повинні формуватися показники виду напруженого стану зі знаком (-), а на протилежному боці кореня стружки – зі знаком (+).

З метою аналізу напружено-деформованого стану заготовки у зоні стружкоутворення була побудована та реалізована в системі Deform 2D реологічна імітаційна модель, що дала змогу детальніше розглянути динамічні процеси формоутворення стружки та поширення впливу силових та енергетичних чинників процесу різання, дослідити вплив технологічних показників (глибини різання, подачі, швидкості різання, геометричних параметрів різального клина тощо) на формування стружки та стан обробленої поверхні.

В імітаційній реологічній моделі зона розподілу інтенсивності деформацій розділена адаптивною градієнтною сіткою з меншою густиною в області інтенсивних деформаційних процесів. Найменше значення густини сітки (зона контакту передньої поверхні різального клина до заготовки) становить 0,01 мм, густина концентрації сітки – 25 %. Потім ця сама сітка переноситься на графічно представлені результати розрахунку. Внаслідок чого можна для будь-якої області, окресленої вибраним осередком, встановити значення ефективного та еквівалентного напруження ($\bar{\sigma}, \sigma_{\max}$), деформацій ($\bar{\epsilon}$), швидкості поширення деформацій ($\dot{\bar{\epsilon}}$), температури T тощо. Як це було пояснено вище, для матеріалів, що характеризуються високою мірою анізотропії пружних і міцнісних властивостей, вплив застосування різних критеріїв руйнування матеріалів на результати розрахунків насамперед залежить від швидкості деформації ($d\epsilon/dt$). Тому картину деформаційного поля необхідно побудувати саме для цього чинника.

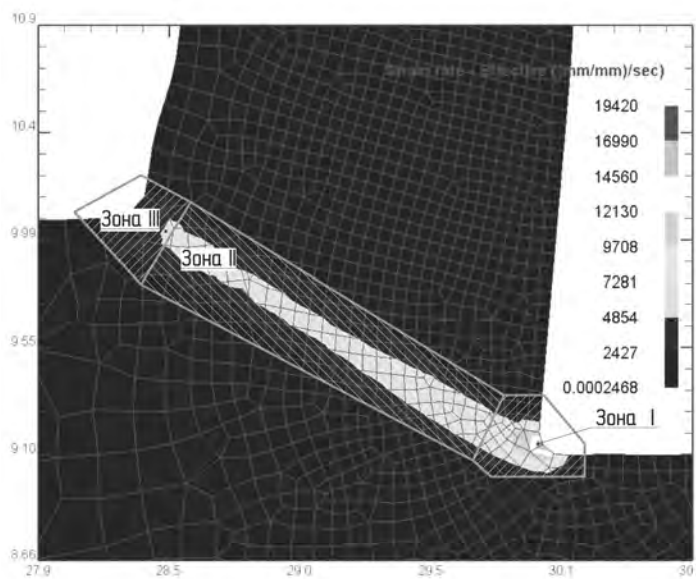


Рис. 3. Зони розподілу в інтенсивності деформацій в області сколювання стружки

Можна чітко окреслити три зони поширення деформаційних явищ. Зона I знаходиться на вершині різального клина і характеризується значними стискаючими деформаціями. Протилежна їй зона III має також пікові показники напруження, які викликані інтенсивною зміною геометрії поверхневого шару заготовки внаслідок поширення зсувних та згинальних деформацій. Зона II є проміжною ланкою, що інтерферентно та локально поширює деформації вздовж площини сколювання. Отримані результати імітаційного моделювання показують (рис. 3), що біля різальної кромки леза формуються два види напруженого стану: стискування і розтягування. Позитивні значення розташовуються безпосередньо біля кромки. Цей ефект стискування отримується внаслідок входження леза інструмента в матеріал заготовки. Далі створюється область розтягування. Зони I і III характеризуються нерівномірністю напруженого стану. Вони збільшуються у міру зростання навантаження. Напруження в зоні II переважно рівномірне. У міру наближення пластичної області в район умовної площини сколювання до стану пластичного «шарніра» зони I і III зближаються за рахунок зменшення зони II.

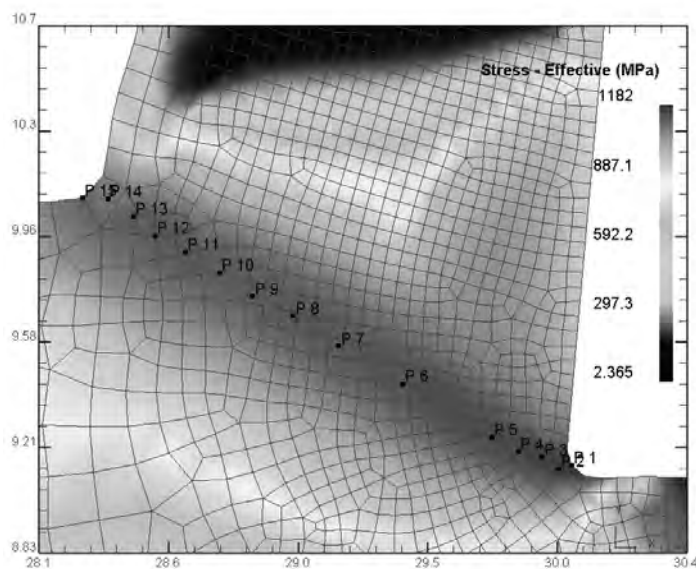


Рис. 4. Аналіз деформаційних, силових та температурних характеристик вздовж площини сколювання стружки

Основні характеристики напружено деформованого стану (рис. 4) наведені в таблиці.

Значення реологічних параметрів в характерних точках площини сколювання

№ точки	Деформація (мм/мм)	Швидкість поширення деформації ((мм/мм)/с)	Енергетичний критерій руйнування (Кокроф-та-Лейтема)	Температура (°C)	Середні напруження (МПа)	Еквівалентні напруження Мізеса (МПа)
1	13,05	17617	0,58	655	1094,00	1177,00
2	4,89	12987	0,33	390	844,00	1157,00
3	2,94	11554	0,26	333	663,00	1162,00
4	1,92	8751	0,27	265	579,00	1149,00
5	1,29	7644	0,21	252	561,00	1142,00
6	1,14	5809	0,17	233	498,00	1133,00
7	1,10	5219	0,14	244	494,00	1125,00
8	1,30	5182	0,13	268	519,00	1123,00
9	1,35	5184	0,11	272	542,00	1119,00
10	1,34	5253	0,12	293	561,00	1120,00
11	1,77	5458	0,13	303	580,00	1122,00
12	2,03	6092	0,15	300	595,00	1126,00
13	2,44	5323	0,24	295	556,00	1117,00
14	4,07	4045	0,34	278	529,00	1089,00
15	2,37	5276	0,14	211	770,00	1115,00

Критерії міцності за умовною площиною сколювання повністю відповідають доведеній гіпотезі про взаємодію під час різання робіт стискування і згину [4]. Біля різальної кромки запас пластичності для цієї розрахункової схеми вичерпаний найбільшою мірою. Очевидним є зростання критерію руйнування при наближенні до місця «затискання» стружки-консоли у зоні стиску III.

Виконані розрахунки вказують на безпосередній вплив вигину (разом із стиском) на формування критеріїв руйнування. Це дає змогу визнавати аналітично доведеною взаємодію робіт стискання і згину під час різання, на чому й ґрунтується механізм стружкоутворення [1, 3].

Висновки. В результаті імітаційного моделювання реологічного стану заготовки під час різання встановлені закономірності зміни напружено-деформованого стану зони різання і питомої роботи стружкоутворення, інваріантні в широких інтервалах зміни умов та режимів оброблення, що може стати теоретичною основою механіки процесу різання пластичних металів з ізоморфними механічними властивостями. Отримані аналітичні залежності та практичні рекомендації можуть бути теоретичним апаратом для кількісного аналізу внутрішніх взаємозв'язків і чинників, що визначають ефективність цього методу оброблення як засіб підвищення оброблюваності матеріалів різанням, а також можуть застосовуватися під час створення інших методів обробки, що використовують додаткові види механічної дії на матеріал.

1. Ящерицын П.И. Теория резания / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2006. – 512 с. 2. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания. – М.: Машгиз, 1956. 367 с. 3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / под ред. П.Р. Родина; АН УССР. Ин-т сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с. 4. Швець С.В. Применение феноменологической теории деформируемости при исследовании процесса стружкообразования // Вісник СумДУ. – 2003. – № 3 (49). – С.144–161. 5. Окусима, К. Тенденции исследований обработки резанием / К. Окусима // Оёкикай когаку. – 1975. Т. 16, № 7. – С.82–86. (ВЦП, перевод № Ц-87172. – М., 1976. – 21 с.). 6. Вейц, В.И. Моделирование процесса стружкообразования при лезвийной обработке / В.Л. Вейц, В.В. Максаров // СТИН. – 2002. – № 4. – С. 3–6. 7. Klufft W. Present Knowledge of Chip Control / W. Klufft, W. Konig, C. A. Luttervelt, K. Nakayama, A. J. Pekelharing // Annals of the CIRP. – Vol 28/2/1979. – P. 441–455.