

Рис. 7. Спрощений алгоритм програми Fit_Kikuchi

Література

1. Bubert H., Jenett H. Surface and Thin Film Analysis. – Wiley-VCH Verlag, 2002. – 352 p.
2. Chalker P.R., Johnston C., Werner M. Physical properties of diamond for thermistors and pressure transducers // Semiconductor Science and Technology. – 2003. – V.18. – P.113-116.
3. Ткач С.В., Кузьменко Е.Ф., Ткач В.Н., Гонтарь А.Г., Шульженко А.А. Возможности цифровой растровой микроскопии высокого разрешения при исследовании структуры режущей двухслойной пластины // Сверхтвердые материалы. – 2003. – № 5. – С. 24-30.
4. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi 7. – М.: БИНОМ, 2004. – 1152с.
5. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MatLab. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
6. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

Надійшла 19.9.2009 р.

УДК 678.08

М.Є. СКИБА, Ю.Б. МИХАЙЛОВСЬКИЙ, Г.С. ГОЛОВКО

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРІВ У МОЛОТКОВОМУ ПОДРІБНЮВАЧІ

Розглянуто вплив основних факторів на процес подрібнення полімерів у молотковому обладнанні. Проведено моделювання процесу подрібнення за допомогою програмного комплексу Impact і визначено ступінь впливу окремих факторів.

Influence of major factors on process of crushing polymers in hammer a grinder the equipment is considered. Modeling process of crushing by means of program complex Impact is lead and the degree of influence of separate factors is certain.

Ключові слова: подрібнення полімерів, моделювання процесу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями

В умовах постійно зростаючої конкуренції будь-яка інженерна розробка повинна задовольняти визначені критерії та не поступатися вже існуючим, а навпаки, мати істотні переваги над ними.

Відповідність цим критеріям можлива тільки при комплексній оцінці впливу геометричних параметрів, властивостей використовуваних матеріалів і умов роботи виробу.

Проведення такого аналізу з урахуванням усе зростаючої складності інженерних розрахунків можливе лише із застосуванням найефективніших сучасних комп'ютерних технологій [1].

Для розв'язання таких задач використовуються чисельні методи. Серед чисельних методів найбільш розповсюдженим є метод кінцевих елементів (МКЕ), тому що він є найзручнішим для реалізації на ЕОМ і дозволяє провести комплексну оцінку ступеня впливу всіх факторів на будь-який об'єкт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Широке використання методу скінчених елементів для розв'язання комбінованих нелінійних задач динаміки [2, 3] є наслідком його численних переваг, які були згадані вище.

В наш час найбільшого поширення отримують реалізації метода скінчених елементів для розв'язання комбінованих нелінійних задач динаміки [2, 3]. Це пов'язано з розвитком комп'ютерної техніки, що дозволяє досить швидко і точно розв'язувати задачі динаміки. Також застосування динамічного аналізу дозволяє найбільш точно враховувати фактори впливу на процес, що досліджується.

Розроблена раніше конструкція молоткового подрібнювача [4] передбачає подрібнення полімерів за рахунок сили удару шарнірно закріплених молотків з загостреними ріжучими кромками. Конструкція пристрою та процес подрібнення є достатньо складні і для ефективного проектування такого обладнання необхідно знати ступінь впливу всіх факторів.

Чисельні методи розрахунку дозволяють отримувати практично такі ж самі результати, як і при аналітичному розрахунку, при цьому похибка складає тисячні долі відсотка, що не є суттєвим. Слід також зауважити, що точність чисельного розрахунку, в першу чергу, залежить від того на скільки коректно була сформульована постановка задачі, підібрана належна кількість факторів, зроблена точність і якість розбивки. Безумовно, враховується і точність апроксимації геометрії кінцевими елементами, а також фізичною моделлю, яка закладається в кінцевому елементі.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Для ефективного проектування молоткового подрібнювача полімерів необхідно знати ступінь впливу всіх факторів і враховувати це при розробці обладнання та технологічного процесу. Отже метою моделювання процесу подрібнення полімерів за допомогою молоткового обладнання є визначення найбільш впливових факторів на процес подрібнення.

Виклад основного матеріалу досліджень

Конструкція молоткового подрібнювача з шарнірно закріпленими молотками [4] описана математичною моделлю, що складається з двох взаємопов'язаних частин: взаємодія робочого органу з матеріалом; визначення основних конструктивно-технологічних параметрів пристрою [5]. Ця модель враховує наступні основні фактори.

Геометричні параметри інструменту

- кут загострення;
- форма ножа;
- товщина молотка;
- радіус затуплення ножа.

Технологічний фактор: швидкість взаємодії інструменту з матеріалом.

Для оцінки ступеню їх впливу були розроблені моделі взаємодії матеріалу з інструментом, що дозволяли враховувати ці фактори.

Дослідження впливу кута загострення ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні проводилося при наступних початкових значеннях: товщина молотка $t = 2$ мм; швидкість робочого органу $U = 62,5$ м/с; тип матеріалу, що подрібнюється – гума. Дана модель дозволяє моделювати як звичайне так і посковзне різання. Моделювання проводилося для різних кутів загострення молотка (рис. 1).

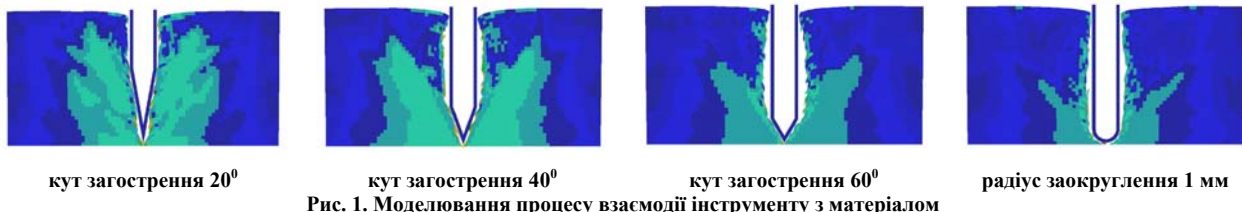


Рис. 1. Моделювання процесу взаємодії інструменту з матеріалом

Проаналізувавши результати розрахунків (рис. 1), були визначені питомі енергії утворення одиниці вільної поверхні, враховуючи усі вище перераховані фактори (рис. 2). В ході моделювання досліджувалось звичайне і посковзне різання. Це дозволило нам визначити, що різниця між ними незначна і не перевищує 0,1%. Це пов'язано з тим, що складова ковзання ножа по матеріалу на декілька порядків нижча, ніж швидкість руху ножа в матеріалі в напрямку різання.

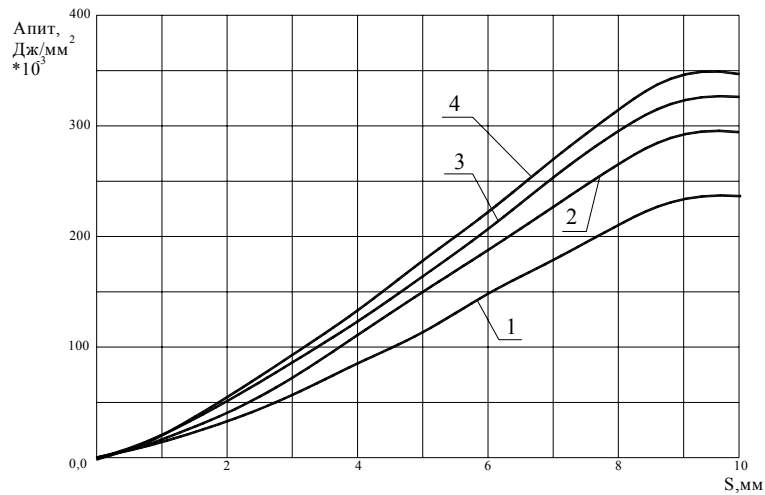


Рис. 2. Питому енергія утворення одиниці вільної поверхні:

- 1 – кут загострення ножа 20° ,
 2 – кут загострення ножа 40° ,
 3 – кут загострення ножа 60° ,
 4 – радіус закруглення 1 мм

Проаналізувавши отримані графічні залежності (рис. 2), була отримана залежність, що описує вплив кута загострення на питому енергію (рис. 3). При збільшенні кута загострення ножа α спостерігається збільшення витрат енергії, яке при досягненні певного значення α зростає повільніше. З рис. 3. також видно, що на ділянці збільшення кута загострення від 10° до 50° спостерігається різкий зріст питомої енергії. В той же час на ділянці від 50° до 60° відбуваються вже незначні зміни її величини. Це зумовлено тим, що кут загострення ріжучого інструменту наближується до різаків з заокругленим кінцем, адже різка матеріалу інструментом з затупленим лезом відбувається з витратами більшої кількості роботи.

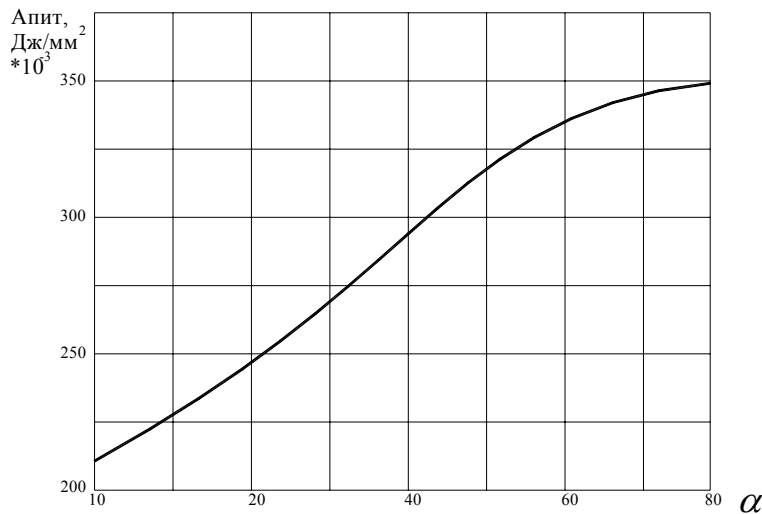


Рис. 3. Залежність питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні від кута загострення молотків

Дослідження впливу форми ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні необхідно проводити для основних типів ріжучих кромки. В даний момент для процесів рубки і різання матеріалів використовуються наступні основні типи ріжучих кромки (рис. 4).

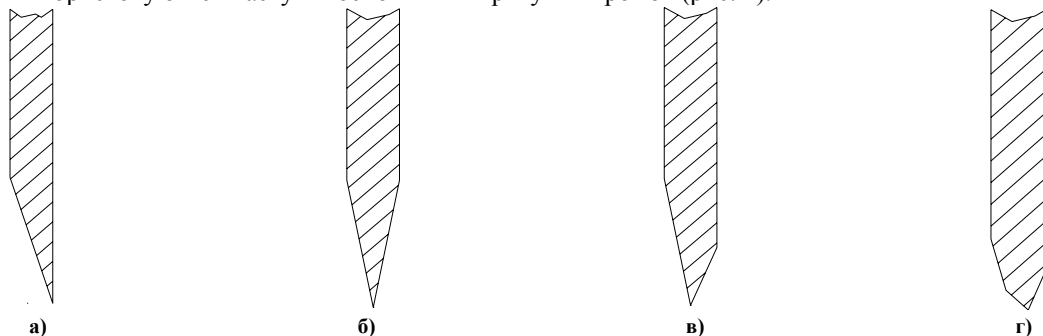


Рис. 4. Основні типи ріжучих кромки різаків: а – з одностороннім загостренням, б – з двостороннім симетричним загостренням, в – з двостороннім асиметричним загостренням, г – зі зміцнюючою кромкою

Для створення попередньої моделі (рис. 1) було взято за основу варіант рис. 4, б, тобто лезо з двостороннім симетричним загостренням, як найбільш розповсюджений тип ріжучої кромки. Для визначення впливу виду ріжучої кромки була створена модель для різача типу рис. 4, а. Усі умови і режими були прийняті з попередньої моделі з ціллю дослідити лише вплив форми ножа на величину питомої енергії.

Для дослідження впливу форми ножа на величину питомої енергії була розроблена модель. За даною моделлю було проведене моделювання, покрокові результати якого представлені на рис. 5.

Для аналізу проведених розрахунків моделі з одностороннім загостренням леза, необхідно порівняти результати з попереднім розрахунком, що проводився для двосторонньо загостреного леза.

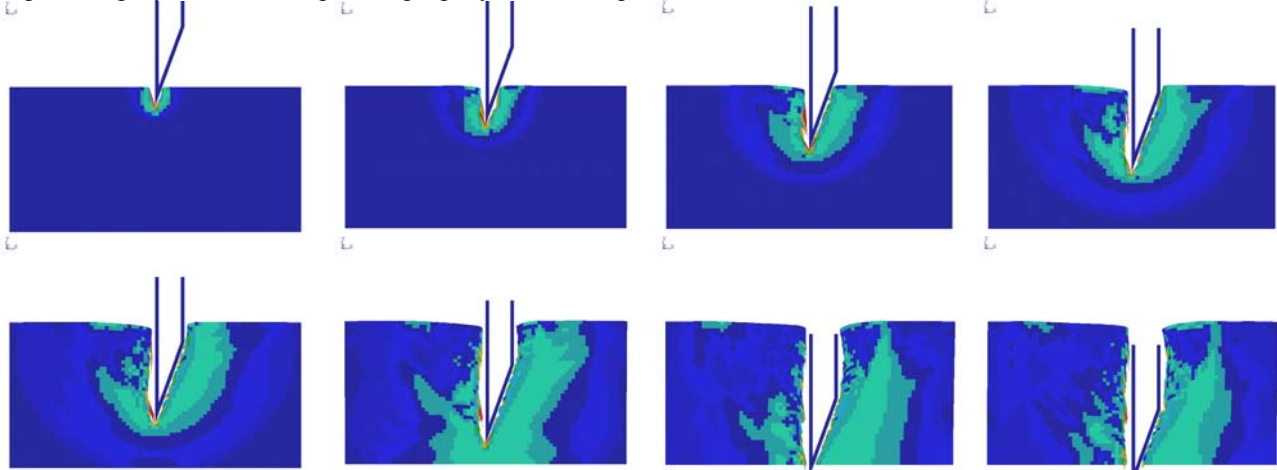


Рис. 5. Покрокова взаємодія молотка з матеріалом

У випадку рівномірно загостреного з обох сторін клина величина деформації з обох сторін леза однакова. А для одностороннього загострення клина величина деформації залишається незмінною, але вона переважно розташовується з однієї сторони, в той час як з іншої сторони відбувається деформація поверхні переважно від сил тертя. З аналізу математичної моделі, що наведена в роботі [5], відомо, що вплив на величину питомої енергії пружної деформації мають нормальні напруження і зсувні деформації $dA_{np}^{num} = \sigma d\varepsilon + \tau dy$. Робота згідно з математичною моделлю [5] на утворення одиниць вільної поверхні, а також робота на стискання і тертя матеріалу буде більшою, ніж при рівномірному загостренні клину, оскільки відбувається стискання більшого об'єму матеріалу, що викликано впливом додаткової деформації матеріалу. Графічні залежності (рис. 6) підтверджують це різким збільшенням величини питомої енергії (пунктирна лінія), що витрачається при односторонньому загостренні ріжучого інструменту відносно величини питомої енергії при рівномірно загостреному лезі (суцільна лінія). Аналогічне збільшення величини питомої енергії відбувається і для інших типів ріжучих. Самі собою впливають висновки, що найоптимальніше використовувати клин з рівномірним загостренням.

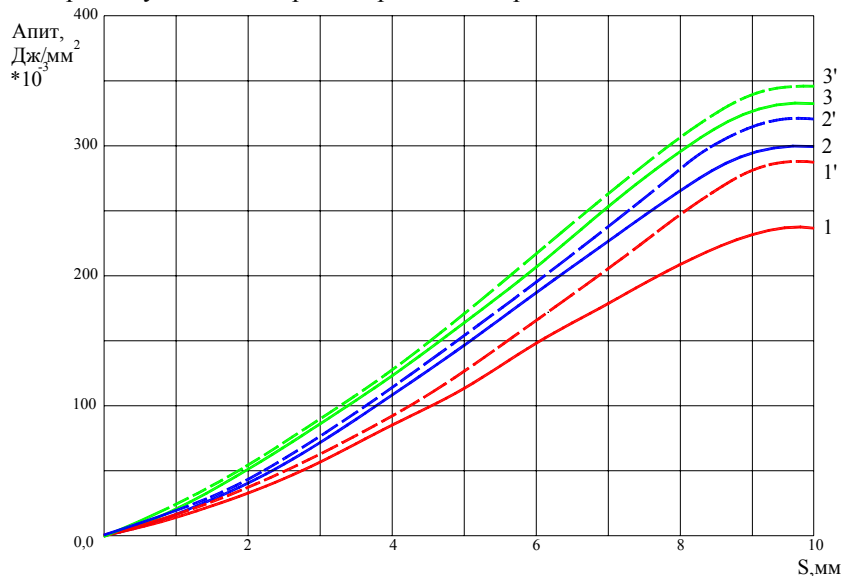


Рис. 6. Питома енергія утворення одиниці вільної поверхні для різних способів загострення ножа:

- 1, 1' – кут загострення ножа 20° ,
- 2, 2' – кут загострення ножа 40° ,
- 3, 3' – кут загострення ножа 60° ,
- 4, 4' – радіус закруглення 1 мм

поверхні (рис. 7). З попередніх досліджень відомо, що робота залежить від степеня і кількості деформації матеріалу. При збільшенні товщини ножа відбувається взаємодія з більшим об'ємом матеріалу, що, в свою чергу, призводить до збільшення питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні.

Розглядаючи вплив товщини ножа на процес подрібнення, було проведено моделювання процесу різання для ножів з товщиною 1 мм, 1.5 мм, 2 мм, 2.5 мм, 3 мм. Таке моделювання дозволило отримати графічні залежності зміни величини питомої енергії від глибини проникнення ножа в матеріал (рис. 7).

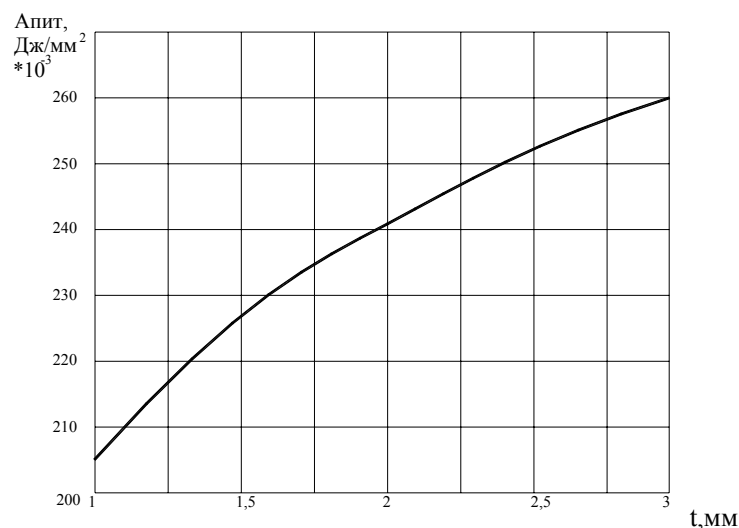


Рис. 7. Вплив товщини ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні

В процесі моделювання впливу товщини ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні було визначено, що при збільшенні товщини ножа збільшуються витрати питомої енергії.

Зі збільшенням товщини ножа збільшується його маса, що в свою чергу, призводить до збільшення кінетичної енергії ріжучого інструменту. Таким чином робота руйнування, яку виконує молоток, збільшується прямо пропорційно зі збільшенням маси молотка.

Для дослідження впливу радіуса заокруглення ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні були розроблені моделі ріжучих молотків з радіусами заокруглення в межах від 0.05 до 0.5 мм. Моделювання проводилось при тих самих режимах, що і в попередніх дослідженнях.

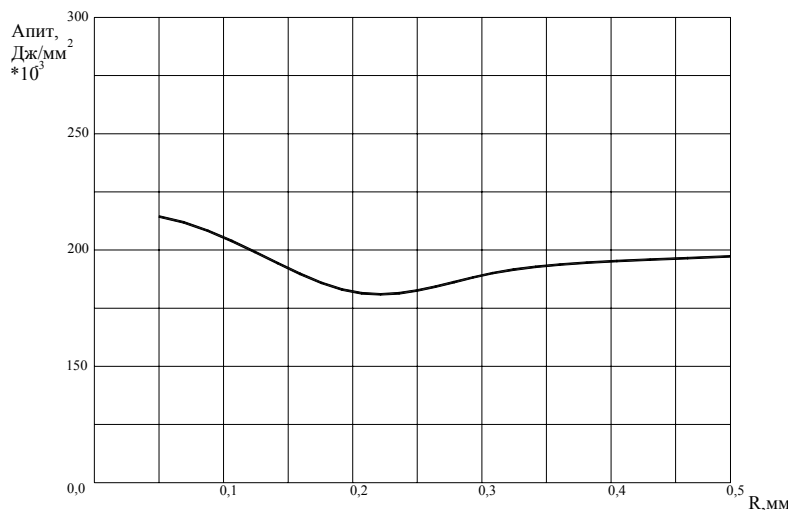


Рис. 8. Вплив радіуса заокруглення ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні

Моделювання впливу величини радіуса заокруглення на величину питомої енергії показало, що при збільшенні радіуса заокруглення величина питомої енергії поступово зменшується, а при радіусі заокруглення в межах 0,15...0,25 мм відбувається різке її зменшення (рис. 8). Це пояснюється тим, що при певному радіусі заокруглення відбувається більш плавне розподілення напруження на кінці леза, що обумовлює зменшення питомої енергії. В цей же час при подальшому моделюванні і збільшенні радіуса заокруглення величина питомої енергії плавно зростає і в подальшому практично не змінюється.

Дослідження впливу швидкості взаємодії ножа з матеріалом на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні проводилося на моделях, в яких змінювалися швидкості молотка в межах від 31.25 м/с до 125 м/с. Це є найбільш розповсюджені режими, при яких працює переробне обладнання. Такий широкий діапазон швидкостей був прийнятий з ціллю якомога точніше дослідити і описати взаємодію

ріжучого органу з матеріалом.

В результаті проведених досліджень були отримані результати, які вказують на те, що при збільшенні швидкості ріжучого інструменту відбувається зменшення витрат питомої енергії. Це пояснюється тим, що при великих швидкостях ріжучого інструменту зона взаємодії ножа з матеріалом не встигає розвинути вглиб матеріалу (рис. 9). Аналізуючи отримані графічні залежності, визначено, що при збільшенні швидкості більше, ніж 62.5 м/с, питома енергія утворення одиниці вільної поверхні зменшується несуттєво. Тобто можна зробити висновки, що збільшення швидкості робочого органу не дає суттєвого зменшення роботи. З цього виходить, що можна зупинитися на значенні швидкості в межах 62.5 м/с.

Дослідження впливу коефіцієнту тертя на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні дозволило підтвердити логічні припущення про те, що зі збільшенням коефіцієнту тертя матеріалу відбувається різке збільшення величини витрат питомої енергії (рис. 10). Це пояснюється тим, що від коефіцієнту тертя залежать зсувні деформації, що виникають по поверхні контакту інструмента з матеріалом. Для зменшення дії коефіцієнту тертя пропонується в процесі подрібнення додавати в робочу зону емульгатор.

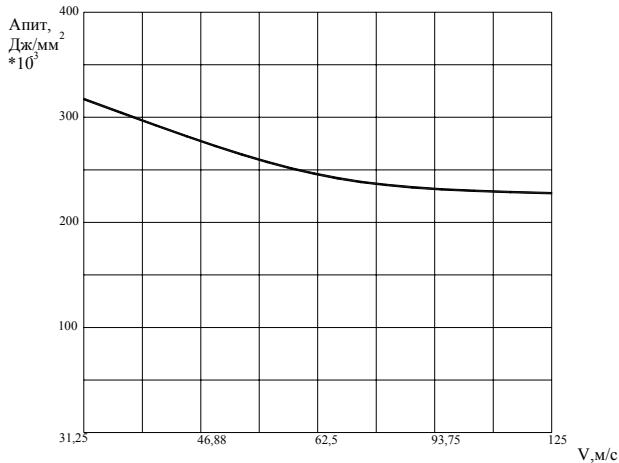


Рис. 9. Вплив швидкості ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні

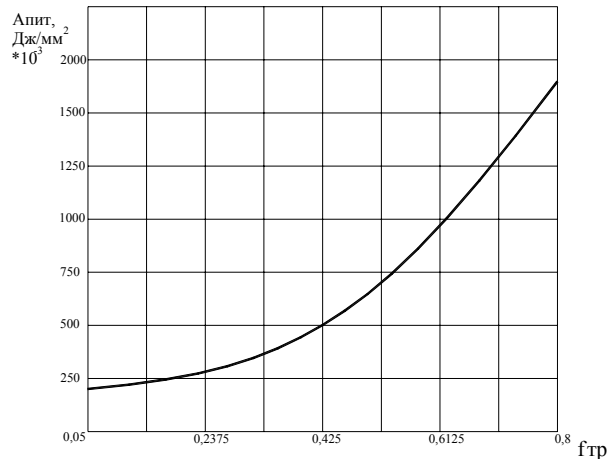


Рис. 10. Вплив коефіцієнта тертя на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні

Висновки

Підсумовуючи проведену роботу, можна зробити висновки про те, що для ефективного проектування молоткового подрібнювача полімерів та технологічного процесу необхідно враховувати наступні пропозиції по проектуванню:

- збільшення кута загострення ножа веде до значного збільшення витрат енергії і обирати його бажано в межах від 10^0 до 30^0 ;
- найоптимальніший тип ріжучої кромки – клин з рівномірним загостренням;
- вплив товщини ножа на величину питомої енергії утворення одиниці вільної поверхні незначний, а зі збільшенням товщини ножа збільшується його маса, що в свою чергу, призводить до збільшення кінетичної енергії ріжучого інструменту і відповідно таким чином робота руйнування, яку виконує молоток, збільшується прямо пропорційно зі збільшенням його маси;
- радіус заокруглення ножа бажано обирати в межах від 0,15 мм до 0,25 мм;
- при збільшенні швидкості руху ножа більше ніж 62.5 м/с питома енергія утворення одиниці вільної поверхні зменшується несуттєво і можна зупинитися на значенні швидкості в межах 62.5 м/с;
- для зменшення дії тертя пропонується в процесі подрібнення додавати в робочу зону емульгатор.

Література

1. Скиба М.Є., Михайловський Ю.Б., Головка Г. С. Impact – програмний комплекс для нелінійного динамічного аналізу // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 1. – С. 70-76.
2. Concepts And Applications Of Finite Element Analysis, Third edition – Robert D. Cook, David S. Malkus, Michael E. Plesha, ISBN 0-471-84788-7
3. The Finite Element Method – Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis – Thomas J. R. Hughes, ISBN 0-484-41181-8
4. Скиба М. Є., Михайловський Ю. Б., Головка Г. С. Проектування молоткового подрібнювача для переробки гуми в високоеластичному стані // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – С. 183-186.
5. Головка Г. С. Розробка наукових основ створення ресурсозберігаючих технологій для проектування високопродуктивного молоткового обладнання // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – Т. 2. – № 2. – С. 63-68.

Надійшла 10.9.2009 р.