

УДК: 539.4

О.С. Поліщук*Хмельницький національний університет***РУЙНУВАННЯ ВЗУТТЄВИХ ТА ШВЕЙНИХ МАТЕРІАЛІВ УДАРОМ***Розглянуто питання руйнування взуттєвих та швейних матеріалів ударом.**Ключові слова: ударник, робочий інструмент, матеріал, удар, операції легкої промисловості.***О.С. Полищук****РАЗРУШЕНИЕ ОБУВНЫХ И ШВЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ УДАРОМ***Рассмотрены вопросы разрушения обувных и швейных материалов ударом**Ключевые слова: ударник, рабочий инструмент, материал, удар, операции легкой промышленности.***O. Polishchuk****DESTRUCTION OF FOOTWEAR AND SEWING MATERIALS BY IMPACT***The issue destruction of footwear and sewing materials by impact is considered.**Keywords: drummer, working tool, material, kick, of light industry operations.***Постановка проблеми.**

Руйнування матеріалів легкої промисловості ударом обумовлене можливістю трансформувати кількість руху ударника в імпульс великої сили [1]. Це пояснює широке використання ударних машин в різних галузях промисловості. В теперішній час явище удару використовується в ударно-механічному устаткуванні для виконання різноманітних операцій.

Швейна, взуттєва і шкіряно-галантерейна галузі легкої промисловості мають специфічні технологічні операції, що відрізняють одну галузь від іншої, але широко використовуються операції, аналогічні для всіх галузей і виконуються вони на обладнанні (пресах) зі зворотним - поступальним рухом робочих органів. До таких операцій можна віднести: вирубання деталей для взуття, одягу та шкір-галантерейних виробів; виконання перфорації на деталях; пробивання отворів під металеву фурнітуру. Дані операції припускають взаємодію робочих органів пресів з матеріалами, що мають різні фізико - механічні властивості. Взаємодія носить ударний характер. В даному випадку виконавчий орган преса повинен розрізати матеріал або зробити в ньому отвори. В більшості випадків процес руйнування матеріалу здійснюється одиничним ударом ударника по робочому інструменту. Робочий інструмент (різак, пробійник) занурюється в матеріал під дією хвилі напруження після удару по ньому робочого органу преси.

Ударний ефект при виконанні даних операцій в основному досягається на устаткуванні, що використовує пневматичний, гідравлічний та електромеханічний приводи. Актуальним питанням є руйнування матеріалів при ударному виконанні вище зазначених операцій на пресовому обладнанні з лінійними електричними двигунами (ЛЕД) в якості приводу. Робочий орган устаткування з ЛЕД переміщується зі швидкістю на порядок більшою порівняно з обладнанням з іншими приводами [2]. Тому питання ударного руйнування матеріалів легкої промисловості при виконанні розглянутих операцій є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Явище удару широко використовується при виконанні технологічних операцій в різних галузях промисловості. Цим пояснюється велика кількість наукових праць, присвячених дослідженням різних аспектів цього питання, починаючи від сутності процесу зіткнення твердих тіл і закінчуючи теорією взаємодії робочих інструментів з матеріалами і їх ударного руйнування.

Вивчення ударних процесів відноситься до числа найбільш актуальних проблем механіки, пов'язаних з оцінкою поведінки робочих інструментів і матеріалів в умовах дії імпульсних навантажень. Руйнуванню матеріалів ударною дією та вивченню поздовжніх коливань в машинах ударної дії присвячені роботи Алабужева П.М., Александрова Є.В., Манжосова В.К., Саруєва Л.А., Тагасва Б.Т., Шапошнікова І.Д., Саймона Р. та інших [3].

Постановка завдань. В останні роки з'явилося багато нової інформації, що розширює межі пізнання процесів зіткнення, передачі енергії через проміжні елементи, ударного руйнування матеріалів завдяки створенню більш досконалого експериментального обладнання. Розроблені методики розрахунку ударних систем, що складаються із декількох елементів різних конфігурацій, і способи їх експериментальної перевірки. Все це значно просунуло вперед теорію ударного

руйнування різних матеріалів і дозволило вирішити ряд важливих практичних задач, що стосуються, зокрема, конструювання ударних машин і робочих інструментів [1].

Тому постає задача узагальнення накопиченого досвіду, використовуючи і власний, з метою створення єдиної прикладної теорії розрахунку ударних систем для виконання операцій легкої промисловості, так як в технічній літературі відсутні відомості стосовно їх виконання в ударному режимі.

Необхідно розглянути питання про процеси і явища, що виникають в системі ударник машини – робочий інструмент – матеріал – основа (вирубна плита) та дослідити як впливають геометричні розміри робочих інструментів, властивості матеріалів на к.к.д. передачі енергії удару полімерному матеріалу при їх ударному руйнуванні і що є параметром оптимізації даного процесу.

Викладення основного матеріалу. Процес руйнування взуттєвих, швейних та шкіргалантерейних матеріалів одиничним ударом, що передається через проміжну ланку на робочий інструмент може використовуватися при ударному виконанні вищезазначених технологічних операцій легкої промисловості. Для їх виконання робочий інструмент (різак, пробійник) занурюється в матеріал під дією хвилі напруження після удару по ньому ударником (або разом із ударником) пресу з гідравлічним, електромеханічним чи електромагнітним приводом. Виходячи з цього можна виділити три початкових положення робочого інструменту (рис.1).

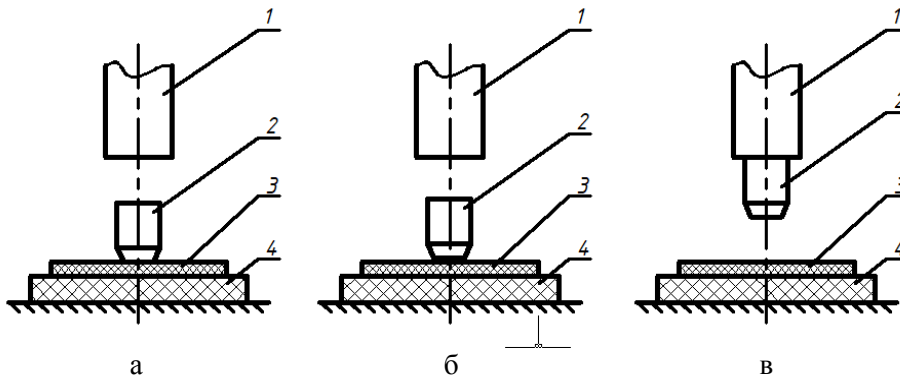


Рис.1. Схема передачі енергії від ударника пресу через робочий інструмент матеріалу: 1-ударник; 2-робочий інструмент; 3-матеріал; 4-основа (вирубна плита)

1. В момент надходження хвилі напруження робочий інструмент дотикається до матеріалу (рис.1, а).

2. В момент надходження хвилі напруження робочий інструмент знаходиться на невеликій відстані від матеріалу, тобто не щільно до нього прилягає (рис.1, б).

3. Робочий інструмент закріплений на ударнику, тобто відсутня проміжна ланка (рис.1, в).

В першому випадку, хвиля напруження стискання, що досягла контактної поверхні, починає переміщати цю поверхню з масовою швидкістю частин у хвилі u і з середньою силою:

$$F = \frac{mv}{t}, \quad (1)$$

де m - маса ударника; v - передударна швидкість; t - час удару.

Зробимо припущення, що поперечний переріз ударника і робочого інструменту однаковий, матеріал має однакові властивості, а сила F залишається постійною на протязі всього періоду удару (прямокутна форма хвилі напруження).

Очевидно, що дійсне напруження залежить від міцнісних властивостей матеріалу і величини контактної площадки леза робочого інструменту. Таким чином, хвиля напруження стискання викликає при переміщенні контактної поверхні леза інструменту зусилля, що перевищує опір матеріалу зануренню, в результаті чого проходить його руйнування з утворенням випереджаючої тріщини.

В другому випадку хвиля напруження стискання, що досягла вільної поверхні, відбивається від неї у вигляді хвилі розтягу, переміщуючи кінець леза з подвоєною масовою швидкістю частин у хвилі u . При цьому переміщення кінця леза буде в два рази більше, чим контактної поверхні кінця ударника.

Дійшовши до кінця ударника, хвиля розтягу відбивається у вигляді хвилі стискання і знову доходить до робочого інструменту, переміщуючи його в тому ж напрямку, що і в першому випадку. Так буде продовжуватися до тих пір, поки поверхня леза щільно не приляже до матеріалу. Потім занурення проходить таким же чином, як в першому випадку. Досліди показують, що втрати енергії у хвилі напруження, що проходять по робочих інструментах, незначні [1].

В третьому випадку хвиля напруження стискання йде на деформацію матеріалу, практично без втрат енергії.

Однією з основних умов правильної технології виконання операції вирубування, перфорування, пробивання слід вважати компенсацію відскоку, тобто створення такого зусилля подачі робочого інструменту до матеріалу, яке б забезпечило постійне відновлення контакту леза робочого інструменту з матеріалом перед кожним наступним ударом.

Відскок робочого інструменту з ударником відбувається, коли опір матеріалу зануренню леза зростає в період удару настільки, що стає більшим (будучи віднесеним до площі контакту) за значення напруження у хвилі, що проходить вздовж ударника. В такому випадку від контактної поверхні починає відбиватися хвиля стискання, що викликає відскок. Найбільше значення напруження у відбитій хвилі в граничному випадку може бути рівним напруженню в початковому імпульсі. Це відбувається в тому випадку, коли лезо робочого інструменту перестає занурюватися, а матеріал веде себе як нерухома границя, не деформується при дії подвоєної сили F .

Розглянемо процес взаємодії рухомого робочого інструменту (різака, пробійника) з матеріалом для випадку 3, як ідеального випадку передачі енергії. При такій взаємодії практично відсутні втрати енергії, і вся запасена енергія йде на виконання технологічної операції.

Матеріал руйнується безпосередньо при ударі ударником із прикріпленим робочим інструментом різак (рис.2). В подальшому лезо різика занурюється в матеріал, долаючи опір матеріалу, що збільшується. Очевидно, опір зануренню зростає тим скоріше, чим вища волокнистість матеріалу і більша контактна площадка леза різика. В пластичних матеріалах вся енергія робочого інструменту витрачається на пластичну деформацію.

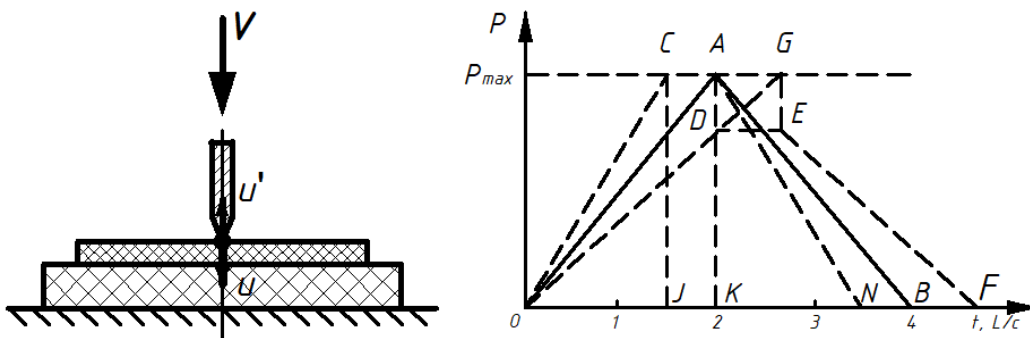


Рис.2. Схема рухомого робочого органу (різака) і графік імпульсу сили $P(t)$ на контактній площадці леза різика: c - постійна швидкість; L - довжина ударника

Процес руйнування матеріалів легкої промисловості рухомим робочим інструментом (різаком) досліджувався багатьма вченими, серед яких Ю.П. Зибін, В.П. Зибін, В.Н. Гарбарук, М.М. Майзель, В.С. Лебедев, І.І. Архіпов, І.А. Плевако, В.І. Толочко, А.І. Комісаров, В.П. Корнілов, А.Р. Молгачов, Д.Р. Амірханов, К.П. Василев, В.Є.Марголін, М.І. Чобітько, Г.П. Базюк [4]. При цьому взаємодія леза різика з матеріалом розглядалася з позиції статички, тобто не враховувався характер зміни діючої сили (сили удару) від часу і хвильові явища, що супроводжують удар ударника із робочим інструментом по матеріалу. Основною теоретичною передумовою є умова рівності кінетичної енергії робочого інструменту роботі руйнування матеріалу і деформації ударної частини інструменту.

Із рівняння, що виражає цю умову, було отримано ряд формул, що зв'язують глибину занурення леза різика з найбільшою силою удару ударника об матеріал, що послужило теоретичним обґрунтуванням розрахунку ударного вирубування деталей з різних матеріалів. Величина найбільшої сили за допомогою цих формул визначається приблизно, виходячи із значення імпульсу, рівного кількості руху ударника в момент дотику ним поверхні матеріалу. Справжню силу удару об матеріал визначити неможливо, так як по формулах класичної механіки

(без залучення хвильової теорії) неможливо вирахувати час, на протязі якого триває удар. Його можна встановити експериментальним шляхом, але це досить складно при малих товщинам взуттєвих та швейних матеріалів, що використовуються для виготовлення взуття та одягу. Такі об'єктивні неточності вносять відомі припущення, які знижують цінність вищезгаданих формул. Зокрема, ці формули недостатньо розкривають механізм взаємодії лека різачка з матеріалом в період занурення і тому не можуть використовуватися для теоретичного обґрунтування оптимізації процесу вирубування.

Розглянемо процес взаємодії лека рухомого різачка і матеріалу з позиції елементарної хвильової теорії. В початковий момент занурення лека різачка не відчуває великого опору матеріалу і швидкість його мало відрізняється від передударної швидкості. По мірі заглиблення опір матеріалу зануренню зростає, а швидкість переміщення лека зменшується. Ця зміна швидкості нижньої частини ударника не може розповсюдитися миттєво на його довжину, вона переміщується у вигляді пружної хвилі напруження стискання. Досягнувши верхнього кінця ударника хвиля стискання відбивається і починає розповсюджуватися назад до різачка як хвиля розтягу, зменшуючи при цьому швидкість руху ударника на величину, рівну подвоєному значенню масової швидкості часток у хвилі.

Так як хвиля напруження стискання виникає безперервно при зануренні лека різачка, безперервно проходить і її відбивання від протилежного кінця ударника, все більше зменшуючи швидкість його руху. Лека рухомого різачка занурюється в матеріал зі швидкістю, що зменшується внаслідок зростання опору матеріалу. При цьому руйнування матеріалу проходить шляхом його стискання і прорізання. При достатньо пружному матеріалі в ньому виникають хвилі напруження стискання, енергія яких витрачається на руйнування. Напруження на лезі рухомого різачка рівне напруженню у хвилі стискання, що розповсюджується від контакту догори.

Занурення рухомого різачка проходить до тих пір, поки хвиля стискання, що відбивається від верхнього кінця ударника не погасить швидкості падіння. Коли масова швидкість частинок у хвилі напруження стискання u досягне $\frac{1}{2}$ значення передударної швидкості v , то першим зупиниться верхній кінець ударника. Дійсно, при відбитті хвилі стискання від вільної поверхні і виникнення хвилі розтягу, що переміщується донизу, масова швидкість частинок подвоюється. Таким чином, верхній (вільний) кінець отримує швидкість рівну по значенню передударній, але протилежно направлену:

$$v_1 = -2u - 2\left(\frac{1}{2}\right)v = -v. \quad (2)$$

Складення швидкостей дає нульову швидкість, відповідно верхній кінець ударника зупиняється. Напруження у хвилі в цей момент дорівнює:

$$\sigma = \frac{\rho cv}{2} \quad (3)$$

Але удар ще продовжується деякий час, необхідний для того, щоб повністю зняти відбиті хвилею розтяги тиску на контактні леза різачка з матеріалом.

Знайдемо на основі елементарної хвильової теорії якісні співвідношення між початковими умовами зіткнення: передударною швидкістю; розмірами ударної частини ударника; характеристикою матеріалу і характеристиками удару. До останнього відносяться глибина занурення лека різачка, час удару, найбільша сила удару. При цьому ставиться задача використати енергію рухомого ударника оптимальним чином.

Нехай рухомий ударник з різачком вдаряє по матеріалу зі швидкістю v (рис.2). Найбільша сила, з якою контактна площадка лека може діяти на матеріал, виражається формулою:

$$P_{\max} = A\rho cv \quad (4)$$

де A - площа поперечного перерізу ударника; ρ - густина матеріалу ударника; c - швидкість звуку в ударнику.

Очевидно, що такого ж значення може досягнути і опір матеріалу зануренню лека різачка.

Будемо вважати, що залежність опору матеріалу зануренню від часу і глибини заглиблення лека різачка прямолінійна.

В момент дотику лезом різачка матеріалу вверх по ударнику починає розповсюджуватися хвиля напруження стискання з лінійно зростаючою масовою швидкістю частинок u . При цьому різак занурюється з швидкістю u' . Значення цих швидкостей зв'язані з передударною швидкістю v співвідношенням:

$$v = u + u'. \quad (5)$$

При ударній взаємодії різачка з матеріалом можуть мати місце три принципово різних випадки.

1. Опір зануренню P наростає з такою інтенсивністю, що досягає значення P_{\max} по закінченню часу $< 2L/c$ (рис.2, пряма ОС). За цей період відбита хвиля розтягу ще не встигає дійти до контактної площадки леза і сила дії на неї зберігається деякий час рівною P_{\max} (відрізок СА), занурення при цьому не проходить. З моменту приходу до контакту відбитої хвилі розтягу (точка А) починається зменшення сили P_{\max} , яке закінчується в момент приходу хвилі з амплітудою швидкості рівною v (точка N). Так як хвиля розтягу є дзеркальним відображенням хвилі стискання, то $\angle ANK = \angle COJ$.

2. Опір зануренню досяг максимального значення P_{\max} в момент часу $2L/c$ (точка А). В цей же момент контактної площадки леза досягла відбита хвиля розтягу.

В послідуєчий період проходить зменшення діючої на контакті сили P по лінії АВ, що є дзеркальним відображенням лінії ОА. Очевидно, що з моменту зменшення сили P (точка А) занурення леза закінчується, а точка В відповідає закінченню удару.

3. Опір зануренню P не досяг свого максимального значення P_{\max} за період часу $2L/c$. Заглиблення леза могло б продовжуватися дальше (відрізок DG), але відбита хвиля розтягу, що з'явилася з наростаючою амплітудою такої ж інтенсивності, що і у хвилі стискання, в кожний новий момент часу зменшує діючу на контакті силу рівно на стільки, на скільки вона збільшується. Таким чином, з моменту часу $2L/c$ (точка D) занурення леза закінчується. Опір зануренню P залишається деякий час постійним до моменту можливого досягнення ним значення P_{\max} (точка Е), а потім зменшується по прямій EF, що є дзеркальним відображенням OD.

Аналізуючи описані випадки взаємодії рухомого різачка з матеріалом, можна побачити, що оптимальним із них є другий. Дійсно, робота, що виконується різачком при зануренні леза різачка в матеріал, рівна енергії хвилі напруження, що утворюється в ударнику в період зростання сили P , тобто при заглибленні леза. Для другого випадку вона визначається площею трикутника ОАК:

$$W_0 \approx \int_0^{2L/c} P^2(t) dt \quad (6)$$

де W_0 - робота різачка при зануренні в матеріал.

Для першого і третього випадків робота різачка при зануренні в матеріал визначається відповідно площами трикутників ОСJ і ОDK, які при визначенні енергії хвилі дають менші порівняно із другим випадком значення. Таким чином, найбільша робота руйнування матеріалу може бути виконана в другому випадку. Як буде показано нижче, нахил прямої $P(t)$ до осі часу t залежить від зміни приведеної контактної площі S з глибиною занурення h (рис.3), тобто від кута загострення леза α :

$$S = 2lhtg\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (7)$$

де l - довжина леза.

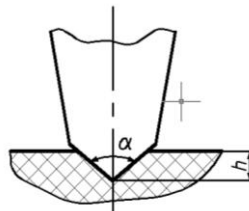


Рис.3. Профіль леза різачка

В оптимальному випадку половина всієї енергії може бути витрачена на корисну роботу (рис.2). Друга половина, що відповідає трикутнику АВК, витрачається на пружну деформацію ударника і відскокування. Відразу можна відмітити, що в інших випадках енергія, що затрачується на ці процеси, більше тої, що корисно використовується (трапеція CANJ і KDEF).

Глибина занурення леза різачка:

$$h = \frac{P_{\max}}{2[\sigma_{\text{дин}}] \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (8)$$

де $\sigma_{\text{дин}}$ - динамічна твердість матеріалу, що визначається дослідним шляхом.

Підставивши у формулу (8) вираз P_{\max} (4), отримаємо:

$$h = \frac{A\rho cv}{2[\sigma_{\text{дин}}] \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (9)$$

Запишемо роботу, що витрачається на руйнування матеріалу, у вигляді:

$$W_0 = \frac{P_{\max} h}{2}. \quad (10)$$

Підставивши сюди вираз (4) і (8), отримаємо:

$$W_0 = \frac{A^2 \rho^2 c^2 v^2}{4[\sigma_{\text{дин}}] \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (11)$$

Відповідно, при інших рівних умовах величина W_0 визначається кутом загострення леза α .
Енергія рухомого різака:

$$W = \frac{mv^2}{2} \quad (12)$$

де m – маса різака і ударника, рівна $Al\rho$.

Враховуючи, що в оптимальному випадку 50% енергії може бути використано на корисну роботу, прирівняємо:

$$\frac{mv^2}{4} = W_0 \quad (13)$$

Підставивши сюди замість W_0 його вираз (11) і замінивши m добутком $Al\rho$, отримаємо формулу для кута α :

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{A\rho c^2}{[\sigma_{\text{дин}}] lL} \quad (14)$$

Замінивши ρc^2 на E , в кінцевому варіанті запишемо:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \frac{AE}{[\sigma_{\text{дин}}] lL} \quad (15)$$

де α - кут загострення леза різака, що визначає оптимальний процес ударного вирубування.

Підставивши значення (15) в формулу (9), отримаємо вираз для оптимальної глибини занурення леза в матеріал:

$$h_0 = \frac{vL}{2c}. \quad (16)$$

Визначимо повний час T_n удару різака по матеріалу для всіх випадків зіткнення.

Із рис.2 очевидно, що в оптимальному (другому) випадку:

$$T_n = \frac{4L}{c} \quad (17)$$

На основі прийнятої прямолінійної залежності $P(t)$ і $P(h)$ складемо пропорцію:

$$h_0 I : \left(\frac{2L}{c}\right) = h : t,$$

Звідки:

$$t = \left(\frac{h}{h_0}\right) \left(\frac{2L}{c}\right).$$

В даному випадку час зручніше вимірювати проміжками рівними $\frac{L}{c}$ (час проходження звуковою хвилею відстані, рівній довжині ударника), тому останній вираз запишемо у вигляді:

$$t' = \frac{2h}{h_0}. \quad (18)$$

Підставивши вирази (9) і (16), отримаємо:

$$t' = \frac{2AE}{[\sigma_{\text{дин}}] L \operatorname{Ltg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (19)$$

В першому випадку зіткнення $t' < 2$ (рис.2, відрізок ОJ відповідає часу t'). Відрізок $JK = 2 - t'$, тоді із геометричної форми імпульсу ОСНА випливає:

$$T_n = 2 \left(\frac{2-t'}{2} + t' \right) \frac{L}{c} = \left[2 - \frac{2AE}{[\sigma_{\text{дин}}] L \operatorname{Ltg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right] \frac{L}{c}. \quad (20)$$

В третьому випадку $t' > 2$, розмірковуючи аналогічно, знаходимо:

$$T_n = 2 \left(\frac{t'-2}{2} + t' \right) \frac{L}{c} = \left[\frac{6AE}{[\sigma_{\text{дин}}] L \operatorname{Ltg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 2 \right] \frac{L}{c} \quad (21)$$

Очевидно, що час, що знаходиться за формулами (17), (20) і (21), має звичайну розмірність.

Таким чином, розгляд процесу взаємодії рухомого різака з матеріалом на основі елементарної хвильової теорії дає можливість визначити аналітично найбільше значення сили P_{max} на контактній площадці леза, глибину h занурення леза, тривалість удару T_n і знайти їх значення, що відповідають оптимальним умовам вирубування.

Проведемо аналіз граничних умов в твердому матеріалі, що виникають в зоні контакту з робочим інструментом.

Під граничними умовами на контакті робочих інструментів з матеріалом при ударних видах вирубування, перфорування, пробивання розуміється такий напружений стан, який приводить до руйнування матеріалу під контактною площадкою леза.

Більшість матеріалів вуглецевого, швейного та шкіргалантерейного виробництва відносяться до в'язко-пружних та в'язко-пружно-пластичних матеріалів [5]. Перші характеризуються відсутністю пластичних деформацій в момент передруйнування, їх поведінка при дії зовнішніх сил підпорядковується закону Гука, тобто напруження пропорційне деформації до моменту руйнування. Другі в деякий період передруйнування починають проявляти пластичні властивості, тобто їх деформація збільшується не пропорційно діючому напруженню. Очевидно, що таке розділення до якоїсь міри умовне, так як в чистому вигляді ці властивості ніколи не проявляються через неоднорідність властивостей певних матеріалів. Однак вивчення поведінки деяких матеріалів, що мають добре виражені в'язко-пружні та в'язко-пружно-пластичні властивості, при дії на них різного виду руйнуючих навантажень допомагає встановити кількісні закономірності процесу руйнування подібних до них матеріалів, що є важливим для самої операції вирубування, так і для удосконалення технології вирубування та пресового устаткування.

Проведений аналіз наукових робіт по дослідженню ударного вирубування матеріалів вуглецевого, швейного та шкіряно-галантерейного виробництва показав, що їх можна розділити на дві групи. До першої можна віднести найбільш багаточисельні (практично всі) дослідження, в основу яких покладено передумову про аналогію занурення леза робочого інструменту під дією удару статичному зануренню клина. В результаті такого навантаження під дією сили удару в матеріалі розвивається поле напружень, що викликає появу випереджаючої тріщини, яка в подальшому викликає його руйнування (розрізання) та залежить від геометричних розмірів леза і тимчасового опору матеріалу розрізанню.

Пропонується до другої групи віднести дослідження ударного руйнування матеріалів, в основу яких покласти передумову про хвильовий характер взаємодії робочого інструменту з

матеріалом. Таких робіт по руйнуванню швейних та взуттєвих матеріалів не проводилося. Це мабуть було пов'язано із складністю проведення експериментальних досліджень та можливостей вимірювального та фіксуєчого устаткування.

Існують роботи по дослідженню руйнування гірських порід матеріалів. В даних роботах, підкреслюючи однорідність картини напруженого стану під площадкою леза інструменту при статичному і динамічному навантаженні, автори вказаних робіт велику увагу приділяють процесу передачі енергії удару хвилею напруження, а також ефекту руйнування, що пов'язаний з внутрішнім відбиванням хвилі при розповсюдженні її в глибину масиву. Аналогічними показниками можна охарактеризувати динамічне руйнування матеріалів взуттєвої, швейної та шкіряно-галантерейної промисловості.

Вплив і характер хвильових процесів, що проходять при передачі енергії удару і взаємодії робочого інструменту з матеріалом можна отримати завдяки використанню сучасних методів досліджень, а також новітнього електронного обладнання і приладів.

Розглянемо граничні умови напруженого стану матеріалу, що передують руйнуванню і процес занурення робочого інструменту. Представимо поверхню матеріалу як площину ізотропного напівпростору з ідеалізованими пружними властивостями. Під дією зосередженої сили P в цьому просторі виникає поле напружень (рис.4); ізолінії головних напружень відповідно до рішення задачі Бусінеска мають в вертикальній площині вигляд окружностей, що дотикаються границі напівпростору в точці прикладення сили P . У випадку дії на матеріал леза довжиною l сила P є навантаженням, що приходить на одиницю довжини леза. Теоретичні висновки підтверджуються результатами дослідів з фотопружними матеріалами, проведеними автором роботи [1]. При цьому не відмічається принципової різниці в структурі полів напруження при ударному і статичному навантаженнях.

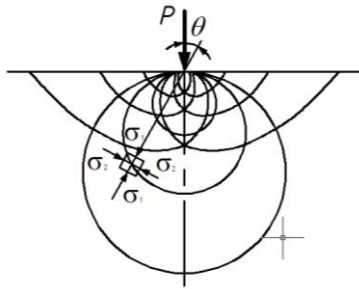


Рис.4. Поле напружень в пружному напівпросторі під дією зосередженої сили

Очевидно, що ізолінії поля напруження в ізотропному пружному напівпросторі є ізолініями максимальних дотичних напружень, що визначаються:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (22)$$

де σ_1 і σ_2 - головні напруження.

По теорії Мора руйнування твердих тіл проходить при досягненні в них максимальним дотичним напруженням τ_{\max} граничного значення, що називається також граничним напруженням зсуву. Відомо з [1], що напруження τ_{\max} діє по площадках, нахилених під кутом 45° до головних напружень. Тому в кожній точці ізолінії головних напружень максимальне дотичне напруження діє по елементарній площадці, кут нахилу якої до радіуса-вектора, що співпадає по напрямку з головним напруженням σ_1 рівний 45° .

В момент початку руйнування пружного напівпростору, тріщина, що в ньому зародилася, починає розвиватися по лінії зсуву, тобто в напрямку дії напруження τ_{\max} і переходить з одного радіуса-вектора на інший, попадаючи при цьому на нову ізолінію з меншим значенням τ_{\max} . Крива, по якій розвивається тріщина майбутнього початку руйнування (різання) матеріалу, повинна мати постійний кут нахилу до радіуса вектора в будь-якій точці напівпростору. Таку властивість має логарифмічна спіраль, яка була вперше описана Декартом і пізніше інтенсивно досліджена Бернуллі.

По формулі Бусінеска радіальне напруження (σ_1 на рис.4) визначається за формулою:

$$\sigma_r = \frac{2P \cos \theta}{\pi r} \quad (23)$$

де P - сила, що віднесена до довжини леза робочого інструменту; θ - кут між радіусом-вектором і вертикаллю; r - довжина радіуса-вектора.

Відповідно до форми (23) головне напруження в точці дії сили P рівне безкінечності, однак реальна контактна площадка леза має певну ширину і тому $r \neq 0$.

Експерименти з фотопружними матеріалами і теоретичні дослідження проведені в роботі [1] показують, що найбільші напруження виникають на деякій глибині від поверхні, що залежить, зокрема, від ширини контактної площадки. Так, якщо прийняти ширину площадки рівною $2a$, найбільші напруження виникають на глибині a . Такий самий висновок впливає також із розміщення напруження τ_{\max} під кутом 45° до головних напружень.

Як було відмічено вище, реальні матеріали взуттєвого та швейного виробництва тільки умовно можуть бути віднесені до ізотропних пружних матеріалів. Тому ударне руйнування матеріалів робочим інструментом проходить подібно до теоретичного процесу з відхиленням окремих результатів в ту чи іншу сторону при збереженні в той же час цілком визначених середньостатистичних показників.

При ударних видах вирубування, перфорування, пробивання занурення робочого інструменту в матеріал відбувається з самого початку дії удару – надходження початкової хвилі напруження. Під лезом, в зоні найбільших напружень, починає рости ядро ущільнення стиснутого матеріалу (рис.5, а), завдяки якому слідує більш плавний перерозподіл і передача тиску ударного імпульсу на навколишній масив матеріалу. В масиві утворюється наростаючий об'єм стискання з градієнтом напруження, що постійно збільшується в сторону ядра ущільнення. Збільшення напруження проходить як внаслідок занурення леза і росту ядра ущільнення, так і в результаті внутрішнього відбивання в глибину масиву хвильової енергії, що випромінюється лезом.

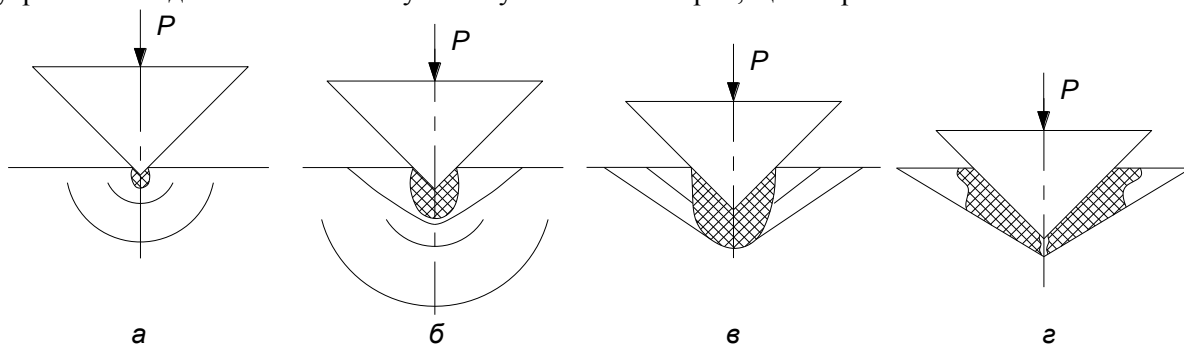


Рис.5. Схема ударного руйнування полімерного матеріалу клиновидним інструментом

При досягненні напруженням граничного значення для певного матеріалу в зоні, що примикає до ядра, починають зароджуватися тріщини, які розвиваючись по лініях різку, звільняють частину пружної енергії і викликають розривання об'єму стискання певного шару матеріалу (рис.5, б).

Далі картина повторюється. В наступному шарі, що примикає до ядра, напруження досягає критичного значення. Проходить зародження тріщини, її розвиток і розрізання нової порції матеріалу. (рис.5, в). Потім знову відбувається приріст ядра, і так до тих пір, поки опір матеріалу зануренню леза не зрівняється із силою дії імпульсу або не закінчиться удар. В цей момент напруження на контактній поверхні падає, різко зменшується тиск на ядро ущільнення, і пружна енергія, що накопичена в незруйнованому об'ємі стискання йде на розрізання та розсування шарів матеріалу, що залишилися (рис.5, г).

Для кількісного оцінювання результатів руйнування матеріалу ударним навантаженням деякі дослідники використовують поняття «динамічна твердість матеріалу» $[\sigma_{дин}]$. Цей показник є тим граничним значенням напруження на контакті леза з матеріалом, при якому матеріал руйнується в період удару. При зануренні леза в формі клину контактна площа рівномірно збільшується, що супроводжується, як показують експерименти, відносно рівномірним збільшенням сили опору зануренню.

Динамічна твердість одних і тих же матеріалів, особливо анізотропних, може коливатися в широких межах. Ці коливання пояснюються впливом тих дефектів і неоднорідностей властивостей, в результаті яких по теорії Гріффітса і починається руйнування твердих тіл.

Для практичного використання енергії удару при виконанні операцій вирубування, перфорування, пробивання найбільший інтерес представляє оптимальний процес руйнування матеріалу під лезом різачка. Критерієм такого процесу є мінімальна енергоємність при найбільшому к.к.д. передачі енергії матеріалу. Енергоємність руйнування може коливатися в деяких границях в залежності від геометричних розмірів робочого інструменту та параметрів удару. Але при одних і тих же умовах, головну роль в оптимізації технологічного процесу грає к.к.д. передачі енергії удару.

При кожній комбінації кута загострення леза різачка і динамічній твердості матеріалу втрати енергії при ударі будуть різні. Так при малому загостренні леза і малій динамічній твердості матеріалу опір зануренню наростає повільніше і основна частина енергії відбивається у вигляді хвилі розтягу. При великому куті загострення леза різачка (більшій початковій контактній площі) та матеріалі з більшим коефіцієнтом динамічної твердості матеріалу відбивається також основна частина енергії, але вже у вигляді хвилі стискування. Відповідно, для кожного конкретного початкового імпульсу є оптимальне співвідношення кута загострення леза різачка і динамічної твердості матеріалу при якому к.к.д. передачі енергії максимальний.

Висновки.

1. Руйнування матеріалу при передачі енергії удару від ударника із закріпленням на ньому робочим інструментом, або від ударника через робочий інструмент супроводжується виникненням під контактною площадкою інструменту об'ємної зони стискування з ядром ущільнення і градієнтом напруження, що змінюється; появою випереджаючої тріщини при досягненні напруженням значення динамічної твердості матеріалу та подальшим його руйнуванням (різанням). При цьому занурення леза проходить в більшості випадків плавно з поступовим зростанням опору занурення.

2. Енергія удару передається полімерному матеріалу через контактну площу подібно до передачі енергії на границі двох стержнів (робочий інструмент і полімерний матеріал). При цьому другий стержень (полімерний матеріал) може змінювати площу свого поперечного перерізу в тривалості удару від нуля до безмежності.

3. Залежність опору занурення P від глибини заглиблення h і часу t , на протязі якого відбувається занурення леза, може бути апроксимовано прямою лінією у випадку лінійної залежності приведеної контактної площі від глибини заглиблення леза і лінійної зміни амплітуди напруження в початковому імпульсі.

4. Величина кута загострення леза, що визначає закономірність зміни приведеної контактної площі, впливає на к.к.д. передачі енергії удару полімерному матеріалу і є параметром оптимізації процесу ударного виконання операції вирубування.

Список використаних джерел:

1. Шелковников И.Г. Использование энергии удара в процессах бурения. – Л: Недра, 1977. – 159 с.
2. Поліщук О.С. Процес передачі енергії при ударному виконанні операцій легкої промисловості // Наукові нотатки. – 2018. – Вип. 63. - С.163-171.
3. Жуков И.А. Разработка научно-методических основ исследования и совершенствования ударных систем (на примере машин, применяемых при разрушении хрупких сред): Автореферат дис.... кандидата техн. наук: 01.02.06 / Жуков Иван Алексеевич. – Томск., 2010. – 32.
4. Поліщук О.С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій промисловості: дис.... кандидата техн. наук: 05.05.10 / Поліщук Олег Степанович. – К., 2001. – 155с.
5. Поліщук О.С., Кармаліта А.К., Бурмістенков О.П. Полімерні матеріали для виробництва виробів легкої промисловості та їх фізико-механічні властивості // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – №2 – С. 134 – 140.

Рецензенти:

Кармаліта А.К., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету, к.т.н., професор.

Місяць В.П., професор кафедри прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну, д.т.н., професор

Стаття надійшла до редакції 11.10.2018