

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ ПРИ ПЛОСКОМУ ВИСІКАННІ

Розрахунок висікального апарата для виготовлення заготовок коробок з картону, і зокрема кріплення ножів, вимагає оцінки сил, що діють під час висікання. Для спрощення завдання розглянемо врізання клиноподібного ножа, закріпленого на плиті, яка здійснює плоско-паралельне переміщення, в картон, що лежить на плоскій опорній поверхні. При аналізі сил допускаємо, що всі механізми, які беруть участь у висіканні, є абсолютно жорсткими.

Розділу картону на частини під впливом ножа передус попередня деформація ним картону до виникнення на його пружку руйнівної контактної напруги σ_p . Момент її появи визначається значенням зусилля F , яке прикладається до ножа та долає різні перешкоди, що виникають в картоні.

Розглянемо взаємодію клиноподібного ножа з картоном (рис., а).

При заглибленні леза в картон товщиною δ на глибину λ_x , коли на його ріжучому пружку виникає руйнівна контактна напруга σ_p , починається різання. На ніж діють такі сили:

F_p — сила опору руйнування картону під дією пружка ножа;

$F_{обт}$ — сила обтискання бокових фасок ножа, що виникає внаслідок деформації картону в горизонтальному напрямі;

$F_{ст}$ — сила опору деформації картону у вертикальному напрямі.

Отже, на фаску ножа діє сила F_n , яка є сумою проєкцій сил $F_{обт}$ та $F_{ст}$ на напрям нормалі до фаски клиноподібного ножа

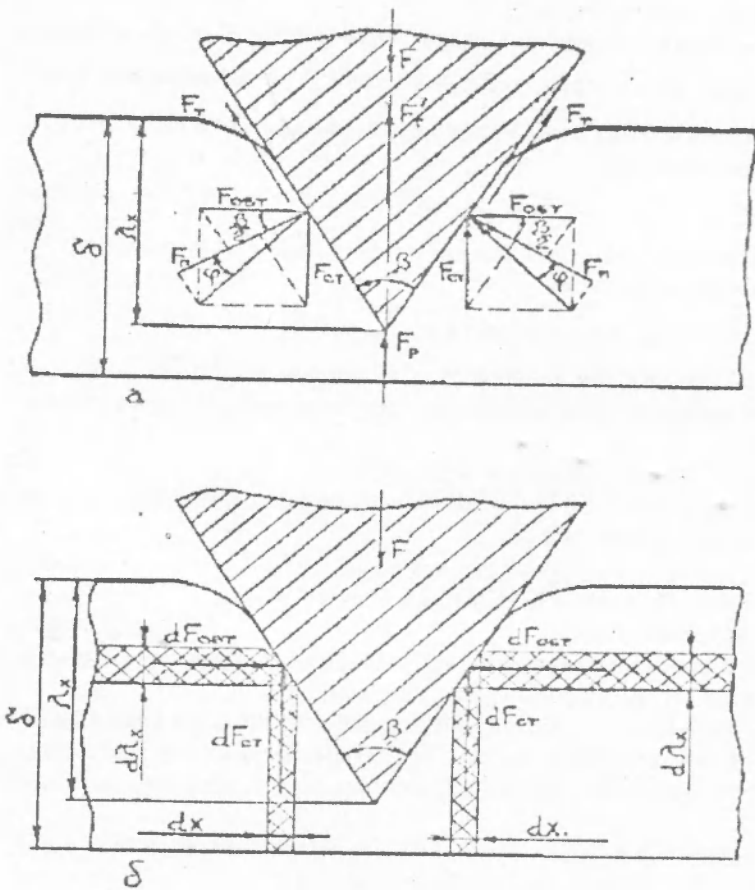


Схема до визначення сил у процесі висікання:
 а — розподіл сил у контактній парі; б — схема дії елементарних сил.

$$F_n = F_{cm} \sin \frac{\beta}{2} + F_{обm} \cos \frac{\beta}{2}.$$

Від нормальної сили F_n на фасці ножа виникає сила тертя

$$F_m = F_n f, \quad (1)$$

де $f = \operatorname{tg} \varphi$; φ — кут тертя.

Аналогічна сила виникає і на другій фасці ножа. Сила F_m напрямлена вздовж фаски ножа, тобто під кутом $\frac{\beta}{2}$ до вертикальної лінії проникнення пружка ножа в картон. Проекція сили F_m на цю вертикаль дорівнюватиме

$$F_m' = F_m \cos \frac{\beta}{2}. \quad (2)$$

Підставивши значення сили F_n у рівняння (1), а результат у рівняння (2), отримаємо

$$F_m' = f \left(F_{cm} \frac{1}{2} \sin \beta + F_{обm} \cos^2 \frac{\beta}{2} \right). \quad (3)$$

У момент початку різання сила F , що прикладається до ножа, повинна подолати суму всіх сил, які протидіють їй у вертикальному напрямі

$$\bar{F} = F_p + 2 F_{cm} + 2 F_m'. \quad (4)$$

Силу F_p можна визначити як добуток площі пружка ножа A_{np} на руйнівну контактну напругу σ_p

$$F_p = A_{np} \sigma_p = 2r \Delta l \sigma_p, \quad (5)$$

де $2r$ — ширина пружка в два радіуси її загострення;

Δl — довжина леза.

Залежність значення сил F_{cm} та $F_{обm}$ від інших параметрів процесу аналітично можна визначити наступним чином.

Розглянемо дію елементарних сил dF_{cm} та $dF_{обm}$ на фаску ножа при проникненні його в картон з боку елементарних вертикального та горизонтального стовпчиків, які виділені з товщини картону (рис., б).

Відносна деформація ϵ будь-якого вертикального стовпчика в межах фаски на відстані x від вершини леза буде

$$\epsilon = \frac{\lambda_x}{\delta}. \quad (6)$$

Матеріали типу картону при деформації підлягають степеневій залежності виду

$$\sigma^m = E \epsilon,$$

звідки

$$\sigma = E_y \epsilon^n,$$

де

$$E_y = E^n, \quad n = \frac{1}{m}.$$

Площа фасок ножа, на яку діють згадані вище сили, залежить від глибини проникання ножа λ_x у картон і змінюється за законом

$$A_x = \Delta l \lambda_x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Тоді елементарну силу dF_{cm} , що діє на фаску ножа з боку горизонтального елементарного стовпчика площею dA_x , довжиною в одиницю та шириною dx , можна представити як

$$dF_{cm} = E_y \epsilon^n d\lambda_x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (7)$$

Підставивши значення ϵ з рівняння (6) у вираз (7), отримаємо

$$dF_{cm} = E_y \frac{\lambda_x^n}{\delta^n} d\lambda_x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Після інтегрування в межах від 0 до λ це рівняння матиме вигляд

$$F_{cm} = \frac{E_y}{\delta^n} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \int_0^\lambda \lambda_x^n d\lambda_x = \frac{E_y}{\delta^n} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \frac{\lambda^{n+1}}{n+1}. \quad (8)$$

Як бачимо, сила F_{cm} є у степеневої залежності від глибини проникнення клиноподібного ножа у картон λ .

Якщо у горизонтальному напрямі відносна деформація становить ϵ_1 , то елементарна сила, що діє на фаску ножа, у горизонтальному напрямі,

$$dF_{обт} = \epsilon_1^n E_y d\lambda_x.$$

Виразимо відносну деформацію в горизонтальному напрямі ϵ_1 через відносну деформацію у вертикальному напрямі ϵ :

$$\epsilon_1 = \epsilon \mu,$$

де μ — коефіцієнт Пуассона.

$$\epsilon_1 = \mu \frac{\lambda_x}{\delta}.$$

Тоді елементарна сила $F_{обт}$ буде дорівнювати:

$$dF_{обт} = \mu^n \frac{\lambda_x^n}{\delta^n} E_y d\lambda_x.$$

Проінтегрувавши це рівняння, отримаємо

$$F_{обт} = \mu^n \frac{E_y}{\delta^n} \int_0^\lambda \lambda_x^n d\lambda_x = \mu^n \frac{E_y}{\delta^n} \frac{\lambda^{n+1}}{n+1}. \quad (9)$$

Підставляючи у рівняння (4) значення всіх сил з рівнянь (3), (5), (8), (9), одержуємо

$$F = 2r\sigma_p + 2 \frac{E_y \lambda^{n+1}}{\delta^n (n+1)} \left[\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + f \left(\sin^2 \frac{\beta}{2} + \mu^n \cos^2 \frac{\beta}{2} \right) \right].$$

З отриманої залежності впливає: сила F , яку треба прикласти до клиноподібного ножа, щоб розділити (розсікти) картон на дві половини, залежить від характеристик матеріалу (E_y , n , f , μ), від деформації λ , товщини картону δ , кута між гранями ножа β , напруги σ_p та радіуса загострення пружка ножа r .

1. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М. 1975.
2. Тир К.В. Механика полиграфических автоматов. М., 1965.

Статья принята до редколлегии 15.01.94.