

Розглянуті основні особливості алмазного свердління, пов'язані з кінематикою процесу та механізмом обробки тендітних неметалічних матеріалів, наведені дослідження оптимізації режимів різання

Ключові слова: алмазне свердління, неметалічний матеріал, режими різання

Освещены основные особенности алмазного сверления, связанные с кинематикой процесса и механизмом обработки хрупких неметаллических материалов, приведены исследования оптимизации режимов резания

Ключевые слова: алмазное сверление, неметаллические материал, режимы резания

The basic features of diamond drilling connected to the law of course of process and the mechanism of processing of fragile not metal materials are covered the researches of optimization of modes of cutting are given

Key words: diamond drilling, not metal material, modes of cutting

КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ АЛМАЗНОГО СВЕРДЛІННЯ В ДЕТАЛЯХ З ТЕНДІТНИХ НЕМЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

О.Л. Кондратюк

Кандидат технічних наук, доцент*

А.П. Тарасюк

Кандидат технічних наук, доцент, завідувачий кафедрою*

А.О. Скоркін

Аспірант, асистент*

О.О. Литвинова*

Контактний тел.: (057) 733-78-26

E-mail: Kondr20071@i.ua

*Кафедра металоріжучого обладнання і транспортних систем

Українська інженерно-педагогічна академія
вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

Вступ

Тендітні неметалічні матеріали (далі НМ), такі як кераміка, скло, ситали (склокераміка) знаходять усе більше широке застосування в машинобудівній, електротехнічній, приладобудівній, хімічній промисловості, авіаційно-космічній і ракетній техніці, ядерній енергетиці, будівництві.

Скло, кераміка й ситали мають високу твердість, зносостійкість й схильність до тендітного руйнування, тому однією із самих трудомістких і відповідальних операцій при виготовленні деталей із НМ є формування отворів.

Вивченням механіки руйнування НМ присвячені дослідження А. Грифітса, Ф. Боудена, Д. Тейбора, Д. Ірвіна, Д. Моджиса, А. Еванса, Б. Лоуна, Г. М. Бертенева, Е. М. Морозова, В. М. Пострикова, Н. В. Морозова.

Сьогодні для формування отворів від 1,0 до 1000 мм найбільше широко застосовують алмазне свердління, що має ряд особливостей, пов'язаних з

кінематикою процесу й обробкою тендітних матеріалів зв'язаним абразивом.

Внаслідок особливостей тендітного руйнування НМ, процес алмазного свердління протікає досить ефективно лише в режимі самозагострювання інструмента, що у першу чергу забезпечується призначенням оптимальних режимів свердління.

Потрібно відзначити, що не існує широко розповсюджені універсальної методики вибору режимів алмазного свердління, подібної до методики розрахунку режимів обробки для металевих матеріалів. Вибір режимів різання при алмазному свердлінні здійснюється відповідно до технологічних рекомендацій виробників алмазних свердлів залежно від діаметра отвору та матеріалу оброблюваної деталі, причому рекомендуються значення, що до подачі та швидкості головного руху змінюються в широких межах. При призначенні неоптимальних режимів свердління не забезпечується заявлена постачальником стійкість і продуктивність. При цьому не забезпечуються режими обробки опти-

Таблиця 1

Значимі фактори та основні параметри процесу алмазного свердління. Значимі фактори процесу алмазного свердління

Величина	Позначення, одиниці виміру
Подача	S, мм/хв;
Зернистість алмазів	З, мкм;
Швидкість різання	V, м/с;
Відносна концентрація алмазів	З, %;
Межа міцності алмазного порошку на стиск	$\sigma_{сж}^{ан}$, МПа;
Межа міцності зв'язування на вигин	$\sigma_{в}^{св}$, МПа;
Витрата СОЖ	Q _{СОЖ} , л/хв;
Мікротвердість матеріалу деталі	H, кгс/мм ²
Площа контакту свердла з деталлю	F, мм ²
Параметри процесу алмазного свердління	
Осьове зусилля різання	P _y , Н
Шорсткість обробленої поверхні	R _a , мкм
Середня ширина сколовши на вході в отвір	ξ, мм
Питома витрата алмазів	q, мг/мм
Стойкість свердла між виправленнями	l, мм

Класифікація існуючих методів досліджень

Призначення оптимальних режимів обробки, що забезпечують самозагострювання інструмента, дозволяє скоротити кількість виправлень інструмента, стабілізувати процес диспергування матеріалу й одержати максимально можливу продуктивність для заданих властивостей матеріалу й інструмента. А. В. Балакивим встановлено, що продуктивність процесу алмазного свердління має екстремум, що відповідає роботі свердла в режимі самозагострювання.

Процес алмазного свердління супроводжується численними та різноманітними фізичними явищами, і характеризується більшим числом факторів, тому його математичний опис утруднений. Грунтуючись на дослідженнях, розглянутих раніше, виділимо значимі фактори і основні параметри процесу (табл. 1).

Для дослідження процесу алмазного свердління в неметалічних матеріалах використовувалися методи теорії подоби та аналізу розмірностей, які дозволили узагальнити результати обмеженої кількості дослідів, виявити найбільш загальні закономірності процесу, одержати однорідні по розмірності залежності, що становлять математичну модель системи й поширити отримані результати на схожі об'єкти. Для дослідження процесу алмазного свердління доцільне застосування теорії подоби у формі автомоделювання. При цьому як модель і натури розглядають ту саму систему при різних значеннях її параметрів.

Таким чином, вивчивши один з режимів роботи системи, можна описати роботу системи в подібних режимах з іншими значеннями параметрів.

Ідея використання методів теорії подоби та аналізу розмірностей для дослідження процесів механічної обробки НМ, і їхнього шліфування використовувалася А. А. Сухобрусом при вивченні процесу різання кварцового скла алмазними колами. При цьому встановлено, що на подібних режимах обробки об'ємна робота шліфування залишається постійною, тобто при різанні тендітних неметалічних матеріалів алмазно-абразивним інструментом на силові й енергетичні показники процесу, а також на якість обробленої поверхні впливають не абсолютні значення швидкостей подачі та головного руху, а їхнє відношення.

Дослідження процесу алмазного свердління НМ (на прикладі скла) методами теорії подоби й аналізу розмірностей

Процес алмазного свердління в НМ інструментом з алмазами й зв'язуванням заданої марки як механічну систему досить повно можна описати наступними фізичними величинами: швидкість різання V, подача S, ефективна площа контакту інструмента з оброблюваною деталлю F, осьова складова сили різання P_y, межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу σ. Частина із цих величин легко вимірювана й визначається експериментально (V, S, P_y), інші є відомими для конкретного матеріалу (σ), інші (F) розраховуються по відомих геометричних параметрах інструмента, зернистості застосовуваного алмазного порошку З та його відносної концентрації в алмазному шарі С.

Ефективна площа контакту інструмента з оброблюваною деталлю F обчислюється по формулі:

$$F = F_{e.z.} \cdot n_{торці}^p \tag{1}$$

де F_{e.z.} – ефективна площа контакту одиничного зерна з оброблюваним матеріалом рівна площі перетину віддаленому на 0,15 З від вершини зерна, n_{торці}^p – кількість робочих зерен на торці свердла.

У ході аналітичного моделювання кількість алмазних зерен на торці свердла було визначено як:

$$n_{торці} = 0,00184 \frac{C(D^2 - d^2)}{З^2}, \tag{2}$$

де С – відносна концентрація алмазів в алмазному шарі, %; D – зовнішній діаметр свердла, м; d – внутрішній діаметр свердла, м; середньозважений розмір алмазного зерна З, м.

Відповідно до прийнятого подання алмазного зерна у вигляді октаедра з діагоналлю рівною середньозваженому діаметру зерна З, F_{e.z.} можна визначити у вигляді:

$$F_{e.a.} = 0,3^2 \cdot m^2 = 0,09 \left(\frac{3}{\sqrt{2}} \right)^2 = 0,045 \text{ З}^2 \quad (3)$$

де m – ребро октаедра висотою 3 .

Таблиця 2

Фізичні величини, що визначають процес алмазного свердління і їхньої розмірності

Фізична величина	Символ	Формула розмірності
Швидкість головного руху	V	LT-1
Швидкість подачі	S	LT-1
Осьова складова сили різання	P_y	MLT-2
Ефективна площа контакту свердла з оброблюваною деталлю	F	L^2
Межа міцності оброблюваного матеріалу	σ	ML-1T ⁻²

Таким чином, маємо 5 розмірних величин при 3-х основних розмірностях [M], [L], [T], де M – маса, L – довжина, T – час.

Виразимо осьову складову сили різання P_y як основний фактор, що впливає на процес диспергування матеріалу при алмазному свердлінні, через інші величини, обрані для опису процесу.

Згідно π -теоремі теорії подоби залежність $P_y = f(V, S, F, \sigma)$ можна виразити через $n - k = 5 - 3 = 2$ безрозмірного статечного комплексу. При використанні методу Релея за рішенням розмірних систем і з огляду на властивість однорідності по розмірності, шукана залежність прийме вид:

$$P_y = f(V^{-b}, S^b, \sigma), \text{ або} \quad (4)$$

$$P_y / F \cdot \sigma = f([S/V]^b),$$

Безрозмірні комплекси в цьому випадку:

$$\pi_1 = S/V \text{ і } \pi_2 = P_y / F \cdot \sigma. \quad (5)$$

Для опису процесу свердління будь-якого неметалічного матеріалу інструментом з певною маркою алмазного порошку й на певнім зв'язуванні досить виявити залежність між числами подоби $\pi_1 = S/V$ і $\pi_2 = P_y / F \cdot \sigma$.

Комплекс $\pi_1 = S/V$ – відношення лінійної продуктивності процесу до шляху тертя – узагальнена характеристика режиму алмазного свердління, називана також «число подоби режиму».

Комплекс π_2 можна записати в наступному виді:

$$\pi_2 = \frac{P_y}{F \cdot \sigma} = \frac{P_y}{F} \cdot \frac{1}{\sigma} \quad (6)$$

Величина P_y / F являє собою умовну напругу, що створюється в матеріалі в процесі обробки осьовою силою P_y . Виходячи із цього, одержимо:

$$\pi_2 = \frac{P_y}{F} \cdot \frac{1}{\sigma} = \sigma_{\text{дейст}} / \sigma_{\text{пред}} \quad (7)$$

Отже, комплекс π_2 – відношення діючі в матеріалі напруги, створюваного осьовою складовою сили різання, до межі міцності матеріалу на стиск. Диспергу-

вання матеріалу відбувається при створенні в зоні обробки напруг, що перевищують межу міцності. Тобто, умова ходу процесу алмазного свердління записується у вигляді:

$$\pi_2 = \sigma_{\text{дейст}} / \sigma_{\text{пред}} \geq 1 \quad (8)$$

Таким чином, величину π_2 можна назвати «критерій диспергування».

Функціональний зв'язок між $\pi_1 = S/V$ (числом подоби режимів) і $\pi_2 = P_y / F \cdot \sigma$ (критерієм диспергування) є рівнянням подібності процесу алмазного свердління інваріантне у всьому діапазоні оброблюваних інструментом заданої характеристики діаметрів отворів для даного матеріалу.

Відповідно до попередніх розрахунків, що були виконані за даними з відкритих джерел, залежності $P_y / F \cdot \sigma = f([S/V]^b)$, можна апроксимувати лінійною регресією виду:

$$P_y / F \cdot \sigma = b_0 + b_1 \cdot (S/V \cdot 10^5), \quad (9)$$

де b_0 й b_1 коефіцієнти, що розраховуються по методу найменших квадратів.

Отримане в ході аналізу розмірностей рівняння (9) зв'язує виконання умови стабільного протікання процесу свердління (8) з факторами режиму обробки й визначає область адекватності регресійної моделі А. В. Баликова, найбільш повно й адекватно, що описує залежність, показників якості обробленої поверхні та осьового зусилля від основних факторів процесу:

$$\left. \begin{aligned} R_y &= f(S, Z, C, \sigma_{\text{ан}}^{\text{ск}}, H) \\ R_a &= f(V, S, Z, C, H) \\ \xi &= f(S, Z, C, H, Q_{\text{сортс}}) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Основною перевагою отриманої уточненої математичної моделі є те, що вона дозволяє оцінити вплив факторів режимів обробки – швидкості різання V і подачі S , а також їхнього взаємовпливу на основні параметри й хід процесу алмазного свердління в цілому.

Спрощене подання рівняння подоби у вигляді лінійної регресії дозволить поширити дану модель на більш широкий діапазон оброблюваних матеріалів за умови проведення нечисленних додаткових експериментальних досліджень. Експерименти необхідні лише для коректування коефіцієнтів рівняння лінійної регресії (9) і їхня кількість може бути обмежено бажаною точністю визначення коефіцієнтів.

За допомогою залежності (9), використовуючи властивості автомоделювання, можливо пророчити стан системи при зміні режимів обробки, що є іншим важливим достоїнством наведеної моделі. Як і при різанні тендітних НМ алмазно-абразивним інструментом при алмазному свердлінні на силові показники процесу впливають не абсолютні значення швидкостей подачі та головного руху, а їхнє відношення. Таким чином, зміна величини механічної подачі S (і відповідно до лінійної продуктивності у випадку твердої подачі) в n раз і відповідне збільшення швидкості головного руху V в n раз для збереження сталості відносини S/V не приведе до зміни силових або енергетичних параметрів процесу обробки.

Висновки

У результаті досліджень запропонований узагальнений показник процесу алмазного свердління тендітних неметалічних матеріалів - критерій диспергування, що представляє собою відношення умовної напруги свердління до межі міцності оброблюваного матеріалу. З використанням методів теорії подоби та аналізу розмірностей встановлена функціональна залежність між критерієм диспергування й відношенням подачі до швидкості головного руху. Встановлено, що, як і при алмазному різанні неметалічних матеріалів, при алмазному свердлінні на величину осьової сили різання впливають не тільки абсолютні значення швидкостей подачі й головного руху, але і їхнє відношення.

Аналитичним методом визначаються моменти сил пружності в пружних зв'язках трьохмасової механічної системи з урахуванням маси напрямного шкива.

Ключові слова: динаміка, диференціальні рівняння, аналітичне рішення, осцилограми

Аналитическим методом определяются моменты сил упругости в упругих связях трехмассовой механической системы с учетом массы направляющего шкива

Ключевые слова: динамика, дифференциальные уравнения, аналитическое решение, осциллограммы

An analytical method determine the moments of forces of resiliency in resilient svyazyakh to the three-mass mechanical system taking into account mass of sending pulley

Key words: dynamics, differential equalizations, analytical decision ostsyllogrammy

1. Введение

Для определения действительных динамических нагрузок в линии передач подъемника необходимо решить систему дифференциальных уравнений или получить аналитическое решение [1, 2].

Однако оценку этих нагрузок с достаточной точностью можно выполнить по коэффициентам дина-

Література

1. Сердобинцев Ю. П., Бальков А. В., Листунов Л. С. Моделирование системы управления алмазным сверлением в неметаллических материалах./Автоматизация технологических процессов: сб. науч. трудов Калининградский государственный технический университет/КГТУ. – Калининград, 2006 – с. 57-63.
2. Сизый Ю.А., Кондратюк О.Л., Чайка Э.Г. Выбор и расчет параметров привода подачи силовой головки для глубокого сверления //Вестник Национального технического университета. - Харьков: НТУ«ХПИ». - 2007. - №17.С. 25-34.

УДК 621.95.01

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИНАМИЧНОСТИ ПОДЪЕМНИКА С УЧЕТОМ МАССЫ КАНАТА И НАПРАВЛЯЮЩЕГО ШКИВА

Т. Н. Осипова

Аспирантка

Кафедра «Металлорежущее оборудование и транспортные системы»

Украинская инженерно-педагогическая академия
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003
Контактный тел.: (057) 733-78-18

мичности, получив упрощенные формулы для их определения.

2. Основное содержание

Рассмотрим одноконцевой подъемник с направляющим шкивом, представленный крутильной дина-