

УДК 621.791:621.926

В.Г.Лебедев, І.В.Уряднікова, С.В.Марчук

Одеський національний політехнічний університет

ЗАКОНОМІРНОСТІ УТВОРЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ І ШКІДЛИВИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ ПРИ ШЛІФУВАННІ МАТЕРІАЛІВ

Розглядається питання закономірностей утворення шкідливих факторів, зокрема пилу, при шліфуванні матеріалів. Визначення цих закономірностей дає можливість розрахувати запиленість робочої зони при шліфуванні "в суху" і вжити заходів для забезпечення безпеки оператора.

Ключові слова: шліфування, шкідливий фактор, параметри шліфування, охорона праці

Шліфування, на сьогоднішній день є найбільш простим і доступним методом поліпшення якості поверхні деталей. Цей процес забезпечує високу точність деталей і чистоту їх поверхонь, багато в чому визначають зносостійкість поверхневого шару і довговічність деталей, а також к. п. д., надійність і швидкохідність всієї машини в цілому. Безсумнівно, що прогрес машинобудування певною мірою залежить від можливості одержувати більш точні деталі з більш високою чистотою їх поверхонь і більш зносостійким поверхневим шаром. Безперервне вдосконалення шліфувальних верстатів і поліпшення якості шліфувальних кругів поставило шліфування в число високопродуктивних процесів точної обробки металів. Широкий розвиток техніки шліфування пояснюється значним зростанням масового виробництва, вимогою взаємозамінності деталей при безперервному підвищенні їх точності та чистоти поверхні.

В даний час шліфування металів набуває великого значення у зв'язку із застосуванням нових марок високоякісних термічно оброблених сталей і сплавів, а також наових важкооброблюваних матеріалів. Широке впровадження новітніх методів гарячої обробки металів (штампування, лиття в металеві форми тощо), характерних для поточно-масового виробництва, супроводжується безперервному зменшенням припусків на обробку. У зв'язку з цим заготовки, що надходять з гарячих цехів, значною мірою обробляються безпосередньо шліфуванням, що дозволяє забезпечити високу точність і чистоту поверхонь деталей. Процес шліфування є досить складним процесом різання, що мають свої специфічні особливості, якими він відрізняється від процесів різання металів металевим інструментом з правильною геометрією.

Складність процесу шліфування і мінливість різального інструменту - шліфувального круга - створюють великі труднощі при експериментальному і теоретичному дослідженні цього процесу.

Крім того, вдосконалення та впровадження нових абразивних матеріалів дозволяє значно підвищити режими різання, а це призводить до збільшення кількості відходів, що утворюються, у вигляді пилу, а в разі застосування МОР і аерозолів.

При шліфуванні різних матеріалів запиленість повітря значно перевищує гранично допустимі концентрації, а половина стружка є джерелом очного травматизму. Крім того пил і стружка знижують надійність і погіршують працездатність засобів автоматики і систем управління і металорізального устаткування.

Незважаючи на безліч видів шліфування, практично всі вони входять у два способи - це шліфування "в суху" і шліфування з застосуванням СОЖ.

Шліфування "в суху" займає велике місце серед всіх видів шліфувальних робіт. Наприклад, величезна область заточування інструменту і не менш величезна область заготівельного виробництва - порізка матеріалу, (яка проводиться дисковими абразивними кругами) проводиться без застосування МОР. Стрічкове шліфування, яке займає велике місце в обробці складнопрофільних деталей також проводиться без МОР. Обробка багатьох високоточних деталей, зокрема шліфування зубів точних зубчатих коліс, також проводиться "в суху".

З точки зору охорони праці шліфування "в суху" може розглядатися як безперервний генератор небезпечного і шкідливого виробничого фактора - пилу, яка залежно від шліфується матеріалу може бути різного розмібра і хімічного складу, а отже і різним ступенем шкідливості. Пил при шліфуванні "в суху" представляє собою сукупність мікростружек, які зрізаються абразивними зернами. Розміри цих стружок досить невеликі від часток мікрометра до кількох мікрометрів. Таким чином, розміри стружок створюють можливість створення пилової суспензії,

швидкість осідання досить мала і яка у великих концентраціях перебуває в робочому просторі під час роботи.

Крім того, під дією температури шліфування, дрібні пилки можуть сплавлятися, зварюватися і злипатися в досить великі конгломерати, розміром до декількох мм, що вже становить серйозну загрозу травматичних ушкоджень працівника (особливо його очей), оскільки швидкість польоту таких часток становить 50 - 25 м / с.

Відомо, що виробнича пил - зважені в повітрі повільно осідають тверді частинки розміром від кількох десятків до часток мікрметра є однією з різновидів шкідливих речовин. Пил являє собою дисперсну систему.

Порошинки діаметром 1 мкм і менше з повітрям утворюють аерозольну суспензію.

Швидкість осідання пилу зростає в міру збільшення діаметра порошинок. Час осідання порошинки діаметром 0,05 мкм з висоти 1 м, дорівнює 320 годинам, а порошинка розміром 1 мкм цей же шлях проходить за 3 години, а частинки діаметром 100 мкм осідають протягом 3 секунд. [5] Тому в повітрі, потрапляє в дихальні шляхи, знаходиться відносно мало частинок діаметром більше 5 мкм. Залежність швидкості осідання пилинок від їх розмірів показана на рис.1.

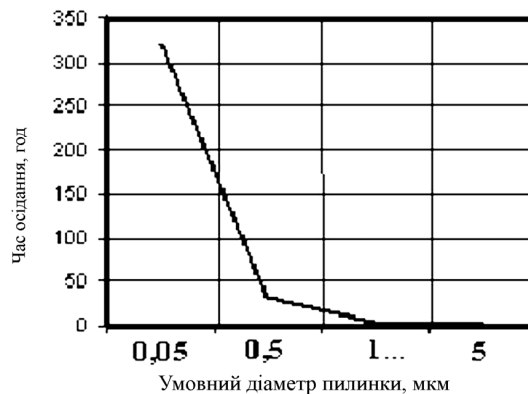


Рис.1. Швидкість осідання пилинок в повітрі, в залежності від їх розміру

При диханні в порожнині носа, майже повністю, затримуються пилові частинки діаметром більше 5 мкм. У міру просування у все більш і більш дрібні бронхи, осідають пилові частинки все менших і менших розмірів, так що в бронхіоли потрапляють в основному пилові частинки діаметром менше 3 мкм. При спокійному диханні, вдихаємо повітря просувається тільки до альвеолярних протоків, а його обсягу ледве вистачає для заповнення дихальних шляхів і альвеолярних протоків. Загальний об'єм повітря в дихальних шляхах дорівнює 870 мл. У альвеоли потрапляють пилові частинки діаметром менше 0,4 мкм у вигляді аерозолів шляхом дифузії як газу. При глибокому вдиху збільшується обсяг вдихуваного повітря і в альвеоли потрапляє повітря, що містить порошинки діаметром до 3 мкм. Із загальної кількості не затриманого пилу, що потрапляє при вдиху в дихальні шляхи, третя частина виділяється з повітрям, що видихається.

Патогенна дія пилу на дихальні шляхи. Пил, що осідає в дихальних шляхах, може надавати патогенна дія в залежності від її хімічних, біологічних і фізичних властивостей. Іншим дуже істотним і вирішальним фактором у прояві хвороби і її ступеня, є коефіцієнт поразки, що є твором часу дії і концентрації шкідливого чинника. Потрібно пам'ятати, що при оцінці концентрації шкідливого пилу в повітрі потрібно враховувати тільки ті пилові частинки, діаметр яких дозволяє проникнути в глибину дихальних шляхів. Не байдуже також властивість людського організму, його індивідуальні особливості - стійкість або підвищена чутливість до даного роду пилу.

Нейтральна в хімічному і біологічному відношенні пил легко розчиняється у воді, не викликає ніяких наслідків, навіть при великій концентрації, т. к. розчиняється в місці осідання і всмоктується слизовою. У той же час, пил цієї ж групи, тільки важко розчиняється при високому коефіцієнті схильності, може бути причиною неспецифічних хронічних катаральних процесів, викликаних механічною дією (окису заліза, вугілля).

Якщо пил речовин активних біологічно або хімічно, розчиняється і всмоктується слизовою, то в організмі можуть виникнути загальні патологічні зміни або патологічні зміни в окремих органах (наприклад, сполуки свинцю, миш'яку). Важко розчиняються речовини цієї групи викликають патологічні зміни в органах дихання запального характеру (наприклад, томасинове

запалення легенів), алергічні (різна біологічна пил) або злоякісні зміни (хром, пил радіоактивних речовин).

Пилові захворювання легень - один з найважчих і поширених у світі видів професійних захворювань. Основними типами професійних захворювань при дії пилу є пневмоконіози, хронічний бронхіт та захворювання верхніх дихальних шляхів.

Пневмоконіози - захворювання легень, які залежно від виду пилу поділяються на **силікоз** (дія кварцового пилу), **металоконоіоз** (вплив пилу металів) і т. д.

Пил може також шкідливо впливати і на органи зору, викликаючи кон'юнктивіт, професійну катаракту; шкірну тканину, сприяючи розвитку екземи, алергічним захворюванням.

Як бачимо пил, що утворюється при шліфуванні, є дуже шкідливим виробничим фактором, тому дослідження закономірностей пилоутворення при шліфуванні, визначення концентрацій пилових суспензій і визначення ймовірного хімічного складу пилу, є актуальним завданням для розробки адекватних способів захисту.

Визначення розмірів пилинок і закономірності розсіювання цих розмірів. Абразивні зерна є многогранниками. Розміри і форма їх різні. Найбільш часто зустрічаються абразивні зерна за своєю геометричній формі нагадують октаедр або восьмигранну ди-піраміда (рис.2). У значній кількості зустрічаються абразивні зерна, що нагадують трапецієд тригональний (рис.3). Зустрічаються також абразивні зерна, за своєю формою нагадують ромбічний тетраедр (рис. 4) і навіть призму тригранну (мал. 5). [2]



Рис.2.



Рис.3.



Рис.4.

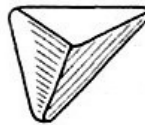


Рис.5.

Рис. 2 - 5. Різновиди форми абразивних зерен

Таким чином, можна стверджувати, що абразивні зерна є многогранниками неправильної форми, а різальний елемент абразивного зерна має, як правило, пірамідальну форму, кут при вершині ріжучого елемента найбільш часто буває, близький до 90°. Кожен ріжучий елемент абразивного зерна має округленої вершину, причому радіус заокруглення цієї вершинки залежить від зернистості - більші абразивні зерна мають великі радіуси заокруглень вершин. Схематично абразивну зерно може бути представлено рис.6, рис.7

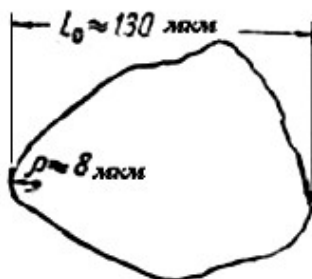


Рис.6.Схема абразивного зерна

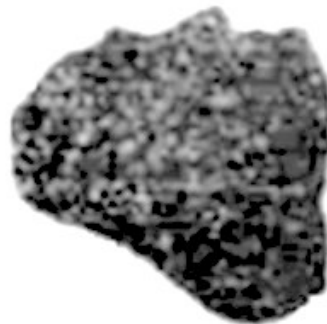


Рис.7 Тіньова проекція зерна

Схема утворення стружки, виходячи з форми абразивного ріжучого зерна наступна.

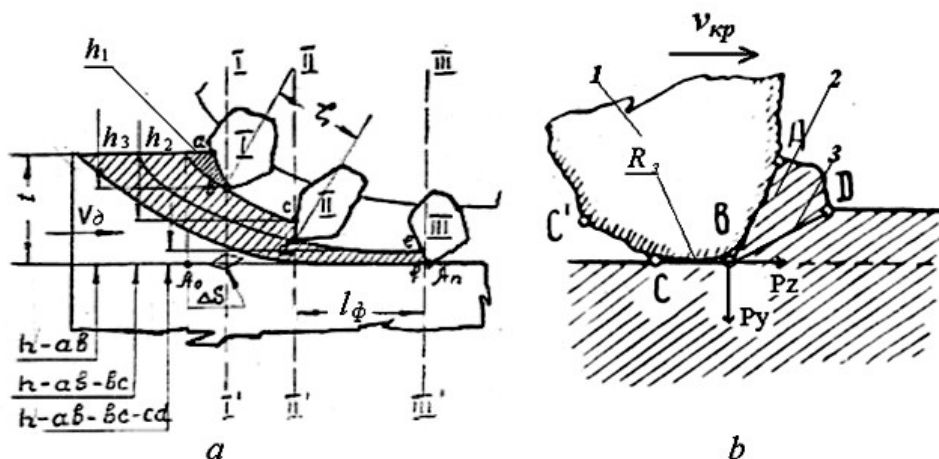


Рис.8. Схема утворення стружки (пилінки) при шліфуванні. *a*-траєкторії руху ріжучих зерен: h_1 , h_2 , h_3 - товщини стружок, l_ϕ - фактична відстань між ріжучими зернами, t -глибина різання при шліфуванні, *b*-схема утворення стружки :1-ріжуче зерно, 2 - ADB - контур утворюється стружки, 3-BD-слід площині сколювання, R_g - радіус заокруглення вершини ріжучого зерна

Як видно з наведеного малюнка для того, щоб визначити товщину стружки, що знімається різальним абразивним зерном, необхідно знати радіус заокруглення вершини зерна (залежить від номеру зернистості шліфувального кола), фактичне відстань між ріжучими зернами (у роботі різання беруть участь лише 10 - 12% зерен [4]). Питома кількість ріжучих зерен в одиниці поверхні круга (залежить від l_ϕ), а також режими різання $v_{кр}$ - швидкість обертання кола - м/с, $V_{дем}$ - швидкість переміщення деталі - м/с, t - глибина шліфування - мм. або м. S -поперечна подача-мм/хід столу або мм/об деталі.

Ці величини, крім режимів шліфування, які встановлюються технологом, визначалися за методикою, пов'язаною з використанням на пів штучних мікротермопар з діаметром електрода 10 мкм, викладеної в роботах [1,2,3] і яка полягає в наступному.

Зразок складався з двох половин (рис.9).

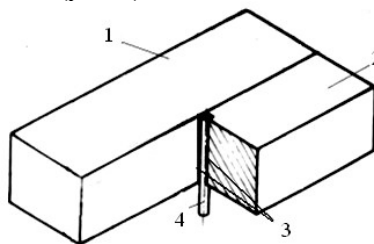


Рис.9. Зразок для вимірювання температури з заставних термоелектродів. 1-ліва половинка зразка, 2 - права половинка зразка, 3-термоелектрод, 4 - ізоляція.

Площина роз'єму розташовувалася нормально до шліфованій поверхні і паралельно руху теплового джерела по цій поверхні. На одній з площин роз'єму прокреслюють канавку алмазним зерном, глибиною, приблизно, 20 мкм, нормально до шліфованій поверхні, в яку закладають термоелектродів, покритий ізолюючим лаком з теплопровідністю не більше 0,1 В/м.град, наприклад, полістиролом. Тривалість дії імпульсу від окремих зерен залежатиме від зернистості кола, від швидкості його обертання, від діаметра термоелектродів, від товщини ізоляції.

При установці термоелектродів до зразка один кінець виводиться на шліфованій поверхні зразка та зашліфовується. При цьому, безпосередньо на поверхні зразка в одній точці відбувається з'єднання термоелектродів з металом зразка, внаслідок наволочення металу, в результаті чого виникає термоспай товщиною 2-3 мкм, і, отже, утворюється термопара типу "термоелектрод - деталь", мала інерційність якої дозволяє реєструвати теплові імпульси тривалістю $0,5 \cdot 10^{-6}$ с, тобто реєструвати теплової імпульс від кожного різального зерна.

Тривалість контакту зерна з термоелектродів τ' дорівнює:

$$\tau' = \frac{d + S + r'}{V_{кр}} \quad (1)$$

де d - діаметр термоелектроду, мкм; S - товщини ізоляції, мкм; r' - довжина хорди округлості радіусу закруглення зерна, при певному заглибленні його в метал.

В свою чергу r' визначиться як:

$$r' = \sqrt{2hr - h^2} \quad (2)$$

де h - величина заглиблення зерна в метал або товщина стружки r - радіус закруглення зерна.

Реєстрація імпульсів вироблялася по ланцюгу: термопара – аналоговий високочастотний підсилювач (не менше 10 МГц) – аналого-цифровий перетворювач – комп'ютер (ноутбук). Характерний вигляд теплового імпульсу показаний на рис.2.

По зареєстрованій осцилограмі легко визначити тимчасові інтервали між моментами різання зерном мікротермопари

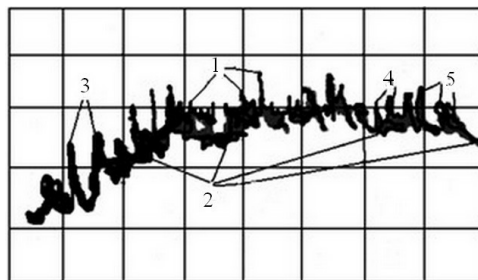


Рис.10. Характерний вид теплового імпульсу.

2 - загальний температурний фон; 1 - температурні спалахи від ріжучих зерен, 3 - τ_1 , 4 - τ_2 , 5 - τ_3 - тимчасові проміжки між моментами різання зернами τ_{cp} - середній час між діями зерен визначиться.

$$\tau_{cp} = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_n}{n} \quad (3)$$

Знаючи швидкість обертання шліфувального круга, можна легко визначити середня відстань між ріжучими зернами кола:

$$l_{\phi} = V_{кр} \cdot \tau_{cp} \quad (4)$$

Питома кількість ріжучих зерен або ж кількість фактично ріжучих зерен в одиниці поверхні кола визначаємо за формулою [1]:

$$z = \frac{1}{l_{\phi}^2} \quad (5)$$

Середня товщина стружки, яка знімається ріжучим зерном або ж середня величина поглиблення зерна в метал визначиться з таких міркувань:

- Час контакту шліфувального круга з даною точкою шліфованій поверхні (мікротермопарою) дорівнюватиме:

$$\tau_{конт} = \frac{\sqrt{D \cdot t}}{v_{дет}} \quad (6)$$

де D – діаметр шліфувального кола

Довжина окружності кола, яка пройде по даній точці за цей час:

$$L = \tau_{конт} \cdot v_{кр} = \frac{\sqrt{D \cdot t}}{v_{дет}} \cdot v_{кр} \quad (7)$$

Кількість зерен n , що зняли припуск в даній точці

$$n = \frac{L}{l_{\phi}} = \frac{\sqrt{D \cdot t} \cdot v_{кр}}{v_{дет} \cdot l_{\phi}} \quad (8)$$

Середня товщина стружки, знімна ріжучим зерном, або ж середня величина поглиблення ріжучого зерна в метал, при відомій глибині різання t дорівнюватиме:

$$h = \frac{t}{n} = \frac{t \cdot v_{\text{дем}} \cdot l_{\phi}}{\sqrt{D \cdot t} \cdot v_{\text{кр}}} \quad (9)$$

При визначенні товщини зрізу за допомогою мікротермопар необхідно враховувати наступне; термопара реєструє не тільки імпульси, що виникають при перерізанні зерном цієї термопари, але й теплові імпульси від зерен, що проходять поруч. Чим далі зерно проходить від термопари, тим менше величина імпульсу і в кінці - кінців такі імпульси зливаються із загальним температурним фоном. Відстань від термопари, на якому імпульс практично не реєструється можна оцінити за висловом для миттєвого точкового джерела. [4] У діапазоні температур 1300-8000С ця величина складає приблизно 250 мкм. Якщо враховувати проходження зерен з двох сторін термопари, то ширина смуги, в якій термопара реєструє теплові імпульси складе 600 мкм. Кількість цих імпульсів буде:

$$n_{\text{зн}} = \frac{\sqrt{Dt}}{V_{\text{д}}} \cdot \frac{V_{\text{кр}}}{l_{\phi}} \quad (10)$$

Нас цікавлять тільки ті зерна, які перерізали термопару, в смузі, що дорівнює діаметру термопари і ще приблизно по одній чверті радіуса зерна з кожного боку, коли вони зачіпають термопару. Ширина смуги, в якій знаходяться зерна, ріжучі термопару, буде дорівнює (d термопари + $0,5 r$ зерна). Кількість цих зерен буде у стільки разів менше, на скільки ширина "робочої смуги" буде менше, ніж ширина "теплової смуги" тобто

$$n_{\text{рзт}} = \frac{\sqrt{Dt}}{V_{\text{д}}} \cdot \frac{V_{\text{кр}} \cdot (d_{\text{мер}} + 0,5r_z)}{l_{\phi} \cdot 500} \quad (11)$$

Наприклад зернистість ельборового кола $160/125$ $D_{\text{кр}} = 0,3\text{м}$, $t = 0,03 \cdot 10^{-3}\text{м}$, $V_{\text{д}} = 0,166$ м/с; $V_{\text{кр}} = 30$ м/с, $r_{\text{зерна}} = 10,6 \cdot 10^{-6}$ м, $l_{\phi} = 2,08 \cdot 10^{-3}$ м.

Число зерен у тепловій смузі складе 260 шт. співвідношення ширини смуг буде $(20 \text{ мкм} + 0,5 \cdot 10,6 \text{ мкм}) / 500 \text{ мкм} = 5,06 \cdot 10^{-2}$. Примножуючи цю величину на кількість зерен в тепловій смузі, отримаємо 13 зерен, середня товщина зрізу кожним зерном буде

$$h = t/13 = 30 \text{ мкм}/13 = 2,3 \text{ мкм} \quad (12)$$

Провівши аналогічні розрахунки по зернистості від 400/250 до 125/100, можна отримати середню ймовірність того, що ріжучі зерна будуть знаходитися на одній лінії тобто "В потилицю". Величина цієї ймовірності становить 0,05. Отже фактична відстань між ріжучими зернами на одній лінії, тобто тими зернами, які послідовно ріжуть метал в даній точці деталі складе:

$$l'_{\phi p} = l_{\phi} / 0,05 \quad \text{или} \quad l'_{\phi p} = 20 \cdot l_{\phi} \quad (13)$$

У цьому випадку формула 11 набуде вигляд:

$$n_{\text{рз}} = \frac{\sqrt{Dt}}{V_{\text{д}}} \cdot \frac{V_{\text{кр}}}{20 \cdot l_{\phi}} \quad (14)$$

У цьому випадку товщина зрізу одним зерном або величина порошинки становить

$$h = \frac{20 \cdot t \cdot v_{\text{д}} \cdot l_{\phi p}}{v_{\text{кр}} \cdot \sqrt{D \cdot t}} \quad (15)$$

Де $V_{\text{д}}$ - швидкість деталі, $v_{\text{кр}}$ - швидкість обертання кола, t - глибина шліфування, $l_{\phi p}$ - фактична відстань між ріжучими зернами в колі, D - діаметр кола. Середній розмір стружок (порошинок) показаний на рис.11.

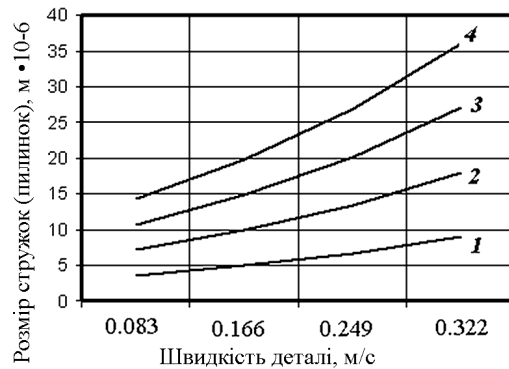


Рис. 11. Середній розмір стружок (порошинок) залежно від зернистості абразивного круга і режимів обробки: $v_{кр} = 35$ м/с; t -глибина шліфування $0,01$ мм; S - поперечна подача $= 1$ мм/хід (оберт) деталі. 1-зернистість 6; 2 - зернистість 10; 3 - зернистість 16; 4 - зернистість 25

Кількість стружок (порошинок), що утворюються в 1с очевидно складе,

$$N_{num} = v_{кр} S z \quad (16)$$

де n_{num} - кількість стружок (порошинок), що утворюються в 1с, z -питоме число ріжучих зерен в одиниці поверхні шліфувального круга, рівне [1,2,3]

$$z = 117 \cdot 10^6 \cdot N_z^{-1,3} \cdot N_{ctr}^{-0,167} \quad (17)$$

Де N_z - номер зернистості абразивного круга, N_{ctr} - номер структури абразивного круга. Питоме число пилюнок, що утворюється при шліфуванні, на режимах відповідних рис.11, представлено на рис 12.

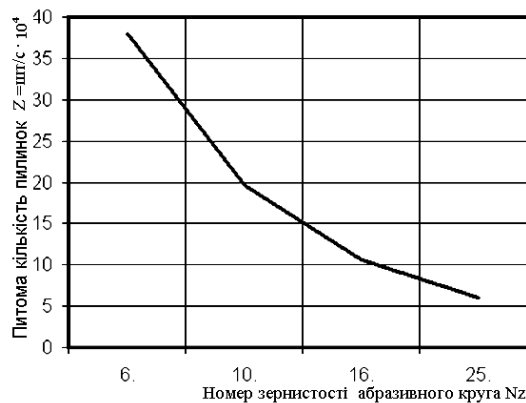


Рис.12. Питоме число пилюнок при шліфуванні

Хвилинна концентрація пилу при шліфуванні, при розмірах робочої зони $0,5 \times 0,5 \times 0,5$ м $= 0,125$ м³ може бути в межах $1,68.108 - 0,28.108$ шт/м³

Є два істотних фактора режимів шліфування, які впливають на розмір порошин. Це швидкість обертання кола $v_{кр}$ і глибина різання t при шліфуванні. Аналіз формули 15 показує, що розмір порошин обернено пропорційний швидкості кола, тобто при збільшенні швидкості кола розмір порошин знижується. Що стосується глибини різання при шліфуванні, то розмір порошинки прямо пропорційний $t \cdot 0.5$.Таким чином, оскільки зі швидкостями менше 30 м/с шліфування не виконується, то можна очікувати зменшення розміру пилюнок при переході до швидкісного шліфування зі швидкостями близько 50 м/с. Таким чином діапазон розмірів показаний на рис 9 зміниться. Діапазон $0,5 - 3,5$ мкм перетвориться в діапазон $0,35 - 2,1$ мкм.

Що стосується глибини шліфування, то при шліфуванні "в суху" глибину різання більше $0,03$ мм практично не використовують. Таким чином, при використанні цієї глибини можна отримати діапазон розмірів $0,86 - 6$ мкм.

Таким чином, при шліфуванні, розміри частинок пилу, що утворюється саме такі, які володіють найбільшим патогенним впливом на організм людини.

Для більш точного визначення розміру пилюнок необхідно врахувати імовірнісний розподіл розмірів абразивних зерен, з яких складається коло. Розподіл розмірів зерен підпорядковується закону нормального розподілу. Рис.13.

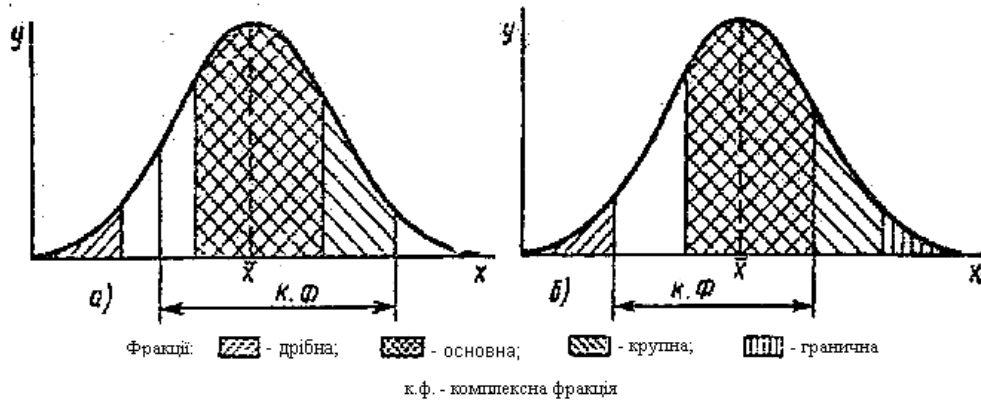


Рис.13. Закон розподілу розмірів абразивних зерен. а-велика і середня зернистість, б-середня і дрібна зернистість

Умовно розміри абразивних зерен, в діапазоні розмірів, який вказується ГОСТом можна розбити на 3 фракції - середню, дрібну й велику. Це означає, що при одному номері зернистісті в колі знаходяться зерна різних розмірів. Відповідно більш великі зерна більше виступають зі зв'язки і отже знімають велику стружку, ніж дрібні. З великою ймовірністю можна стверджувати, що розміри стружок (порошинок) також будуть підкорятися цьому закону.

Зазвичай розмір основної фракції становить 45%. Тоді дрібна і крупна фракція містять по 27,5%. Розміри великої та дрібної фракцій відрізняються від середньої величини на 11,5%. Якщо ці закономірності застосувати до порошинок, то отримаємо такі значення: (Таблиця 1)

Таблиця 1

Розміри фракцій пилинок, що утворюються при шліфуванні мкм				
N_s / V_0 м/с	0,083	0,166	0,249	0,332
6	0,4; 0,45; 0,5	0,448; 0,50; 0,56	0,58; 0,65; 0,724	0,81; 0,9; 1,0
10	0,67; 0,75; 0,84	0,89; 1,0; 1,15	1,25; 1,4; 1,56	1,52; 1,7; 1,9
16	0,98; 1,1; 1,22	1,34; 1,5; 1,67	1,88; 2,1; 2,34	2,06; 2,3; 2,56
25	1,34; 1,5; 1,67	1,79; 2; 2,23	2,33; 2,6; 2,9	3,22; 3,6; 4,0

Як видно з таблиці 1, навіть якщо припустити, що режими обробки будуть відбуватися при глибині шліфування 0,03 мм, розміри порошин будуть такими, які володіють найбільшим патогенною дією на людину та швидкість осідання яких у повітрі складе кілька годин.

Визначення хімічного складу пилинок. У зоні контакту круга з деталлю при шліфуванні утворюється велика кількість тепла. Частина цього тепла (приблизно 10%) переходить в стружку. Цього часто виявляється досить для того, щоб нагріти стружку до температури горіння.

Експерименти проведені в роботі [7] показують, що іскри, що виникають при шліфуванні досить міцних металів, являють собою дрібні розпечені або розплавлені частки металу, що летять по дотичній до тієї точки окружності обертового кола, до якої притиснутий шліфований зразок. Розпечені стружки або розплавлені частки металу, відкинуті відцентровою силою кола, не тільки не гаснуть внаслідок різкої різниці між їхньою температурою і температурою навколишнього середовища, але, пролітаючи з великою швидкістю в повітрі, розжарюються ще сильніше. При наявності в металі вуглецю зіткнення розпечених часток - стружок з повітрям супроводжується окисленням, причому вуглець С згорає в вуглекислоту CO_2 , утворюючи яскравий світловий ефект у вигляді іскор.

Якщо на шляху іскор поставити скляну пластинку, то вона покриється дрібними металевими частинками, які частково міцно чіпляються до поверхні пластинки.

Дослідження цих найдрібніших частинок під мікроскопом показує, що частина їх досягає пластинки в розплавленому стані і застигає на ній у вигляді найрізноманітніших фігур. Даний досвід доводить, що багато іскри досягають пластинки в розплавленому стані. Порівняно великі стружки іскри, які не досягнули температури плавлення, ковзають по пластинці, зберігаючи форму, отриману ними при відділенні від основної маси металу.

Отже, стружка або утворений пил повинні складатися як з оксидів металів, так і з самих шліфованих металів. Однак, якщо сталь лугована такими тугоплавкими і жаростійкими елементами як вольфрам, молібден, ванадій, ніобій, реній, платина і деякими іншими, то кількості тепла, яке переходить в стружку може і не вистачити для їх згорання. У цьому випадку ми маємо право очікувати, що утворений пил буде складатися як з оксидів, так і з металів. Для більш повного розгляду питання визначимо температуру нагрівання стружки.

З рис. 8б видно, що при відділенні від металу деталі стружка третя об поверхню зерна АБ, яку можна розглядати як передню поверхню ріжучого елемента (зерна). У цьому випадку температуру стружки можна визначити як температуру її тертя об передню поверхню.

Тепловий потік, що утворюється при терті стружки об передню поверхню ріжучого елемента (зерна) приймаємо:

$$q_{od} = P_{zee} \cdot v_{кр} \cdot k_{mp} \quad (18)$$

де q_{od} - тепловий потік, створюваний одиничним ріжучим зерном, k_{mp} - коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,1.

Питомий тепловий потік при терті визначаємо виходячи з того, що він виділяється на площі квадратної форми зі стороною h .

$$q_{y\partial} = \frac{q_{od}}{h^2} \quad (19)$$

Температуру стружки визначаємо з урахуванням того, що в стружку переходить тільки 10% тепла за формулою Ієгера, [6]

$$T_{стр} = \frac{1,064 \cdot q_{y\partial}}{\lambda} \cdot \left(\frac{2 \cdot a \cdot l}{v_{кр}} \right)^{0,5} \quad (20)$$

На рис.14 показана температура стружки при шліфуванні цементованої сталі 12Х2Н4А (високоякісна сталь, поверхневий шар С - 1%, основа 0,12%, Cr - 2%, Ni -4%, решта Fe), при шліфуванні колами різної зернистості. З малюнка видно, що при шліфуванні з глибинами близько 10 - 35 мкм, кругами зернистості 6 - 25, стружка не згорає, при шліфуванні колами зернистості 40 при глибинах 10 - 15 мкм, можна очікувати пил, що складається з оксидів заліза і не згорілих металів Cr і Ni.

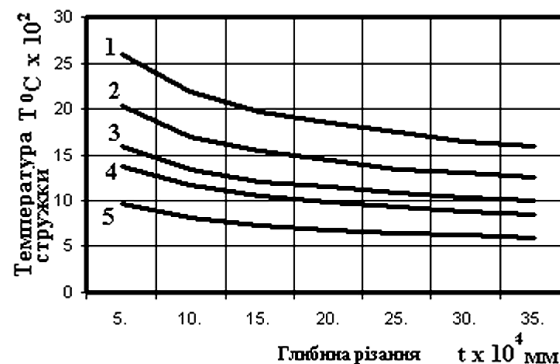


Рис.14. Температура стружки при шліфуванні колами різної зернистості. Зернистості: 1-40; 2-25; 3-16; 4-12; 5-6; $V_{кр} = 35$ м/с; $V_{\partial} = 0,166$ м/с; $S = 1$ мм/хід столу

Висновки:

1. Шліфування "в суху" без застосування СОЖ характеризується високою запиленістю повітря робочої зони. Цей вид шліфування займає велике місце серед всіх видів шліфувальних робіт - заточка інструменту, заготівельне виробництво - порізка матеріалу, (яка проводиться дисковими абразивними кругами) проводиться без застосування МОР. Стрічкове шліфування, складнопрофільних деталей, шліфування зубів точних зубчатих коліс.

2. Пил при шліфуванні "в суху" представляє собою сукупність мікростружок, які зрізуються абразивними зернами. Розміри цих стружок досить невеликі від часток мікрметра до кількох мікрметрів. Таким чином, розміри стружок створюють можливість створення пилової

суспензії, швидкість осідання досить мала і яка у великих концентраціях перебуває в робочому просторі під час роботи.

3. Розміри стружок при шліфуванні знаходяться в діапазоні $0,4 - 6 \text{ мкм}$.

Час осідання таких частинок становить кілька годин, що створює значні хвилинні концентрації пилу - в межах $1,68.108 - 0,28.108 \text{ шт/м}^3$. Розміри пилинок знаходяться в діапазоні найбільшого патогенного впливу на людину.

4. Хімічний склад пилу залежить від виду шліфованих матеріалів, а також від температури нагріву стружки, яка може бути нижче або вище температури горіння конкретного матеріалу. Таким чином, при шліфуванні, особливо, високолегованих сталей і сплавів склад пилу може складатися з оксидів заліза і порошків легуючих елементів, що в першу чергу відноситься до таких тугоплавким і жаростійким матеріалами, як *W, Mo, Ti, Nb, Va* і деякі інші.

Знання закономірностей утворення пилу, включаючи розміри порошин, концентрацію, хімічний склад і швидкість осідання пилинок дає можливість визначити ступінь шкідливості того чи іншого процесу шліфування і розробити адекватну систему захисту працюючого.

1. Лебедев В.Г., Чумаченко Т.В. Фактична відстань між ріжучими зерна і питоме число ріжучих зерен в одиницю поверхні ельборові кола. Проблеми техніки . Науково – виробничий журнал. №3, 2009- С.128 – 136. Одеса
2. Лебедев В.Г., Аль-Аджелат С.А. Радіус закруглення зерен з кнб і середня величина стружки, що знімається ріжучим зерном. Проблеми техніки . Науково – виробничий журнал. №4, 2009- С.76 – 85. Одеса
3. Лебедев В.Г., Аль-Аджелат С.А. Аналітичне визначення сил і температур різання одиничним ельборовим зерном. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Випуск 81.
4. Редько С.Г. Процеси теплоутворення при шліфуванні металів// - Саратов: вид. Саратовського університету, 1962. - С.231.
5. «Пыль и дыхательные пути» <http://www.spontan.ru/pnevmoniozy/186-pyl-i-dyhatelnye-p>
Пыль и дыхательные пути uti.html
6. Ієгер Д.К. Рухомі джерела тепла і температура тертя // - Прикладна механіка в машинобудуванні, 1952.
7. Маслов Е.М. Теорія шліфування матеріалів. М., "Машинобудування", 1974.