

УДК 621.91

Я.О. Шахбазов, В.А. Сторощук, І.М. Грінер

Українська академія друкарства

ТЕХНОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ

Розглянуто питання визначення інтервалу режимів обробки шліфуванням та його ефективності встановленням функціонального зв'язку між собівартістю, стійкістю круга та швидкістю зрізання припуску.

Шліфування, шорсткість, стійкість, шліфувальний круг, спрацювання, ефективність, собівартість

Основними технічними вимогами до механічної обробки, що передбачаються конструктором при розробленні креслень деталей, є якість оброблюваної поверхні й точність розмірів. Одержання відповідної точності розмірів залежить від режимів правки шліфувального круга та шліфування. Тому значення режимів процесу формування різального рельєфу абразивного круга і шліфування приймаються як вихідні чинники, які забезпечують необхідні шорсткість оброблюваної поверхні і точність розмірів деталей.

Переважно при визначенні режимів обробки шліфуванням метою є отримання мінімальної собівартості операції. Стійкість шліфувального круга, яка забезпечує якість оброблюваної поверхні та режими шліфування, є основними чинниками, що визначають собівартість операції шліфування. Як відомо [1–5], від стійкості абразивного круга залежать час, який витрачається на формування різального рельєфу, і витрати абразивного круга; від режиму шліфування – основний час, необхідний для зрізання припуску. Тому залежність між стійкістю інструмента і швидкістю зрізання припуску рекомендується вважати основою для економічної оцінки операції шліфування.

Стійкість шліфувального круга залежить від його характеристики, фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, режимів обробки, властивостей мастильно-охолоджувальної рідини та має суттєвий вплив на сили і температуру в зоні різання, а тому й на утворення припалів, структурні перетворення, напружений стан оброблюваної поверхні, її точність і шорсткість. Відомо [4], що залежно від ступеня спрацювання шліфувального круга при інших рівних умовах змінюється величина шорсткості оброблюваної поверхні. Оскільки ступінь спрацювання шліфувального круга значно впливає на

температурний режим роботи, то, відповідно, змінюються і залишкові напруження шару оброблюваної поверхні. Дане питання досліджене в роботі [3]. У результаті встановлено величину і знак залишкових напружень та їх розподіл по глибині оброблюваної поверхні. Показано, що з посиленням спрацювання шліфувального круга напруження зростають, що пояснюється збільшенням радіуса заокруглення робочих зерен.

Спрацювання шліфувальних кругів визначається зношуванням самих зерен, тобто заокругленням і руйнуванням їх різальних кромок, зміною стану робочої поверхні круга за рахунок відокремлення цілих зерен і їх блоків та забивання пор робочої поверхні відходами шліфування, що зумовлено умовами обробки. Тому залежно від умов обробки робота шліфувального круга може відбуватись як у режимі самозагострювання, так і затуплення [2, 5]. Самозагострювання відбувається в міру затуплення зерен і характеризується руйнуванням самих зерен або зв'язки на робочій поверхні при шліфуванні м'якими кругами. Процес самозагострювання бажане явище при шліфуванні на операціях обдирного та чорнового шліфування, де головним завданням є продуктивне зрізання основної частини припуску з поверхні заготовки, а також в умовах шліфування без утворення припалів.

При високих вимогах до точності розмірів і шорсткості оброблюваної поверхні на операціях напівчистового і чистового шліфування робота шліфувального круга в режимі самозагострювання призводить до швидких змін форми та профілю його робочої поверхні, що не дозволяє отримати необхідну шорсткість оброблюваної поверхні [3, 5]. Тому на цих операціях потрібно вибрати такі режими шліфування і характеристики шліфувальних кругів, які б забезпечували роботу круга в режимі затуплення зерен. У цьому випадку, як підтверджується в роботах [1, 4], втрата різальних властивостей абразивних кругів при достатній крихкості і пластичній міцності абразивного матеріалу здійснюється в основному через спрацювання різальних кромок зерен і появу на них характерних площин. Такі явища пояснюються тим, що в процесі шліфування одночасно відбувається адгезійне, абразивне і дифузійне спрацювання.

Метою наших досліджень є визначення ефективності режимів обробки процесу шліфування за рахунок встановлення функціонального зв'язку між собівартістю і стійкістю круга та швидкістю зрізання припуску.

Під час різання на контактуючих поверхнях шліфувального круга і заготовки [1, 4] виникненню інтенсивної адгезії сприяють високі питомі навантаження та неперервний рух новоутворених поверхонь оброблюваного матеріалу відносно поверхні зерна. Унаслідок молекулярного схоплювання на поверхнях ковзання безперервно виникають та зриваються зв'язуючі елементи матеріалу зерна. Ці елементи в момент зриву відривають частину абразивного матеріалу та збільшують спрацювання. Тому для електрокорунду, карбїду кремнію й алмазу переважним є адгезійне спрацювання, що пояснюється

наявністю в оброблюваному матеріалі твердих включень у вигляді цементити і карбідів легуючих елементів, які здатні дряпати поверхню абразивних зерен. Водночас маємо і мікрорізання самого інструментального матеріалу. При малих швидкостях різання контактна температура невисока, твердість абразивних матеріалів вища за твердість карбідів металу, тому абразивне спрацювання є малоімовірним. При високих швидкостях різання утворені високі температури спричиняють зниження твердості матеріалу абразивних зерен та появу абразивного спрацювання. Цей вид зношування не є суттєвим, але сприяє іншим типам спрацювання. В умовах високих контактних температур та наявності хімічної спорідненості між матеріалом абразивного зерна й оброблюваним матеріалом дифузійне розчинення стає основною причиною спрацювання абразивних зерен при шліфуванні. Чим вища хімічна спорідненість, тим інтенсивніше відбувається дифузійне спрацювання. Залежно від питомого навантаження на робочу поверхню шліфувального круга між повним самозагострюванням і затупленням відбуваються перехідні процеси (див. таблицю).

Основні показники роботи шліфувальних кругів

Характер спрацювання абразивного інструмента	Зміна поверхні круга в часі	Характер зміни сили різання	Шорсткість оброблюваної поверхні	Інтенсивність зрізання припуску	Область застосування	Метод відновлення робочої поверхні круга
Часткові самозагострювання і затуплення	Зміна відстані між абразивними зернами	Стійка	Висота шорсткості залежить від режиму обробки та формування рельєфу	Знижується	Напівчистове шліфування	Вимагає формування рельєфу
Спрацювання різальних вершин зерен	Поверхня зерен вигладжується	Стійка, але вища, ніж при змішаному процесі	Висота шорсткості найменша	Значно знижується	Точна розмірна обробка з малою шорсткістю	Вимагає формування рельєфу
Переважне самозагострювання	Збільшується відстань між зернами	Поступово знижується	Підвищена шорсткість	Стабільна	Обдирне шліфування	Переважно не вимагає формування
Налипання металу на поверхню зерен	Покривається частинками металу	Не є стабільною	Підвищена висота шорсткості нестійка	Нестабільна	При обробці пластичних металів, наявність адгезії	Вимагає формування рельєфу

У таблиці наведені й основні показники для окремих видів роботи шліфувальних кругів, які дозволяють досягти певних технологічних вимог при шліфуванні. Затуплення шліфувального круга відбувається зазвичай при його роботі на відносно м'яких режимах, перехід від переважного затуплення до часткового самозагострювання можливий при більш жорстких режимах шліфування. Тому при шліфуванні на операціях напівчистового і чистового шліфування адгезійне і дифузійне спрацювання призводять до поступового збільшення радіуса при вершині абразивного зерна, що негативно впливає на процес шліфування й вимагає періодичного відновлення різальних властивостей абразивних кругів і формування рельєфу їх робочої поверхні.

Визначення режиму шліфування для забезпечення якості оброблюваної поверхні слід виконувати в такій послідовності:

скласти рівняння, які встановлюють технічні обмеження на режим шліфування за можливостями шліфувального верстата;

сформуванати математичний вигляд функції, що визначає мету оптимізації;

розрахувати оптимальний режим шліфування, розглянувши технічні обмеження і функцію оптимізації.

Для забезпечення шорсткості оброблюваної поверхні і точності розмірів відносно зміни значень технологічних чинників формування різального рельєфу абразивного круга та шліфування необхідно передбачити такі обмеження:

а) за шорсткістю оброблюваної поверхні – $R_z^* \geq R_z(S, t, S_n, V_d, V_k)$, де R_z^* – шорсткість поверхні деталі, передбачена технічними вимогами;

б) за точністю деталі – $\delta^* \geq \delta$, де δ^* – допуск на розмір деталі; δ – похибки, пов'язані пружними деформаціями технологічної системи;

в) за потужністю шліфування з умови запобігання утворенню припалів на оброблюваній поверхні;

г) за співвідношенням подачі до ширини контакту кристала алмазу з робочою поверхнею абразивного круга з умови забезпечення неперервності формування його різального рельєфу – $S \leq 2t_n \cdot tg(\gamma_a / 2)$, де t_n – глибина формування різального рельєфу абразивного круга;

д) за частотою обертання шпинделя шліфувального верстата – $n_{\max} \geq \frac{1000V_k}{\pi D_k} \geq n_{\min}$, де n_{\max} і n_{\min} – найбільша і найменша частоти обертання шпинделя шліфувального верстата;

е) за частотою обертання заготовки – $n_{\max}^* \geq \frac{1000V_d}{\pi d} \geq n_{\min}^*$, де n_{\max}^* і n_{\min}^* – найбільша і найменша частоти обертання заготовки деталі за даними шліфувального верстата;

ж) за поздовжньою подачею – $S_{max} \geq S \geq S_{min}$, де S_{max} і S_{min} – найбільша і найменша подача за даними шліфувального верстата;

з) за потужністю приводу абразивного круга – $N \geq \frac{P_z V_k}{1000 \eta_e}$, де η_e – ККД

механізму приводу абразивного круга [5]. Значення тангенціальної складової сили шліфування визначаємо за емпіричним рівнянням – $P_z = C_{Pz} V_d^{0,7} S_n^{0,7} t^{0,6}$, де C_{Pz} – коефіцієнт, який характеризує матеріал заготовки та інші умови шліфування (приймаємо 22 для загартованої сталі, 21 – для незагартованої і 20 – для чавуну).

Основним показником оцінки ефективності обробки є собівартість операції шліфування. За основу визначення умов шліфування слід взяти собівартість як функцію від стійкості круга та швидкості зрізання припуску. Тому собівартість операції є сумою чотирьох видів витрат:

$$C = C_{30} P G^{-1} + C_{30} \Pi \frac{T_n}{C_m} G^{n-1} + k C_q \Pi G^{m-1} + k \Pi \frac{\pi D B H}{1000 C_m} G^{n-1}, \quad (1)$$

де C_{30} – заробітна плата з цеховими накладними витратами, що припадає на операцію, коп/хв;

P – припуск на обробку в одиницях обсягу металу, см³;

G – швидкість зрізання припуску, см³/хв;

k – вартість 1 см³ корисного обсягу круга, грн/см³;

T_n – час на правку шліфувального круга, хв;

C_m – коефіцієнт, який встановлює стійкість круга при $G=1$ см³/хв;

C_q – коефіцієнт, який визначає витрати круга при $G=1$ см³/хв;

H – припуск на правку шліфувального круга в мм;

m, n – показники степені.

У залежності (1) перша складова – заробітна плата верстатника за основний час роботи; друга – заробітна плата верстатника за час, який витрачається на формування різального рельєфу абразивного круга за операцію; третя – витрати, пов'язані зі спрацюванням круга у процесі шліфування; четверта – витрати круга на формування його різального рельєфу. Три останні складові визначають непродуктивні витрати, які впливають на собівартість операції шліфування.

Значення коефіцієнтів і показників C_m, C_q, m, n , отримані експериментальними дослідженнями, наведено в роботі [3]. Наприклад: для сталі 45 незагартованої $C_m = 204, C_q = 0,072, n = 2,1, m = 1,6$; для сталі 45 загартованої $C_m = 21, C_q = 0,072, n = 1,7, m = 1,6$.

Використовуючи дані машинобудівних підприємств по заробітній платі і вартості абразивного інструменту, приймаємо хвилинну тарифну ставку шліфувальника п'ятого розряду рівну $C_{30} = 7,7$ коп/хв, вартість корисного обсягу абразивного круга з електрокорунду нормального $k = 2,7$ коп/см³, а час на фор-

мування різального рельєфу абразивного круга $T_n = 1,5$ хв. Тоді залежність (1) для незагартованої сталі 45 можна записати так:

$$C = 7,7 \frac{P}{G} + 0,194PG^{0,6} + 0,09PG^{1,1}, \quad (2)$$

для загартованої –
$$C = 7,7 \frac{P}{G} + 0,52PG^{0,6} + 0,55PG^{0,7} \quad (3)$$

Витрати, пов'язані з амортизацією обладнання та оснащення, електроенергією й інші, при розв'язанні цього завдання не враховуються, тому що їх величини не змінюються.

У деяких випадках, коли для виробництва важливі не умови мінімальної собівартості, а максимальна продуктивність шліфування, особливо, якщо ця операція є вузьким місцем і затримує виконання програми, для знаходження величини G , що відповідає максимуму продуктивності, слід розглядати лише перші дві складові залежності (1) без урахування їх решти.

З вищевикладеного доходимо наступних висновків. На основі аналізу літературних джерел встановлено, що вплив технологічних чинників процесу шліфування на показники якості оброблюваної поверхні і собівартості обробки не вивчався. Оцінку ефективності вибору режимів шліфування слід розглядати як з точки зору забезпечення необхідної якості оброблюваної поверхні, так і залежно від функціонального зв'язку між собівартістю і стійкістю круга та швидкістю зрізання припуску.

1. Лоладзе Т.Н. Износ алмазов и алмазных кругов / Т.Н. Лоладзе, Г.В. Бокучава. – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с. 2. Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Лурье Г.Б. – М.: Машиностроение, 1967. – 172 с. 3. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Филимонов Л.Н. – М.: Машиностроение, 1979. – 248 с. 4. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей / Ящерицын П.И. – Мн.: Наука и техника, 1971. – 212 с. 5. Ящерицын П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн – Мн.: Высш. шк., 1990. – 512 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ

Рассматриваются вопросы определения интервала режимов обработки шлифованием и его эффективности установлением функциональной связи между стоимостью, устойчивостью круга и скоростью срезания припуска.

GRINDING PROCESS SIMULATION MODE

Questions of definition intervals processing modes and grinding his effectiveness by establishing a functional link between value, stability and speed range of cutting allowance.

Стаття надійшла 17.07.2014