

УДК 621.923

А.И. ДОЛМАТОВ, М.А. КУРИН

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ТИПОРАЗМЕРА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАНЕТАРНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Представлено доказательство существования корреляции между типоразмером абразивного инструмента, величиной снимаемого припуска единичным зерном за проход и временем между двумя последовательными актами съема стружки с одного и того же участка поверхности при планетарном шлифовании плоских поверхностей. Уточнено выражение для определения подачи детали при планетарном шлифовании.

параметры обработки, планетарно-шлифовальная головка, встречное вращение, попутное вращение, неравенства, припуск, типоразмер

Введение

Рост количества шлифовальных операций при производстве лопаток ГТД на таких авиадвигателестроительных предприятиях как ОАО “Мотор Січ”, ММПП “Салют”, ОАО “Рыбинские Моторы” ставит задачу совершенствования данного метода обработки [1].

Вопросу повышения эффективности шлифования путем соблюдения критериев “необходимости” и “достаточности” посвящены многие работы [2 – 5]. Интенсификация процесса шлифования плоских поверхностей кинематическим методом, наиболее перспективным из предложенных, потребовала разработки принципиально новых способов планетарно-сопряженного шлифования и планетарного шлифования, представляющего его дальнейшее развитие.

Таким образом, исследования, посвященные совершенствованию способов шлифования плоских поверхностей с целью обеспечения благоприятных условий стружкообразования, являются актуальными и заслуживают внимания.

Формулирование проблемы. В работах [4, 5] представлена принципиальная схема шлифования плоских поверхностей с помощью планетарной

шлифовальной головки (ПШГ) (рис. 1). Из условия получения максимально возможного промежутка времени $\Delta\tau_p$ между двумя последовательными актами съема стружки с одного и того же участка обрабатываемой поверхности получены следующие соотношения между технологическими, кинематическими и геометрическими параметрами обработки:

при встречном вращении круга и головки

$$\frac{l_0}{V_{\dot{\epsilon}\delta}} \geq \frac{\sqrt{d_{\dot{\epsilon}\delta}[a_z]}}{V_{\dot{\lambda}}}, \quad (1)$$

при попутном

$$\frac{l_0 - \sqrt{d_{\dot{\epsilon}\delta}[a_z]}}{V_{\dot{\epsilon}\delta}} \geq \frac{\sqrt{d_{\dot{\epsilon}\delta}[a_z]}}{V_{\dot{\lambda}}}, \quad (2)$$

а также выражение для определения подачи детали

$$S_{\dot{\alpha}\dot{\delta}} = 0,445m\omega_{\dot{\alpha}}[a_z]\sqrt{\frac{D_{\dot{\lambda}}}{t}}, \quad (3)$$

где l_0 – среднее расстояние между режущими абразивными зернами, расположенными друг за другом в одной плоскости;

$V_{кр}$ – линейная скорость абразивных кругов;

$V_{Г}$ – линейная скорость планетарной головки;

$d_{кр}$ – диаметр абразивных кругов;

$[a_z]$ – предельно допустимая величина припуска, которая снимается одним режущим зерном за проход;

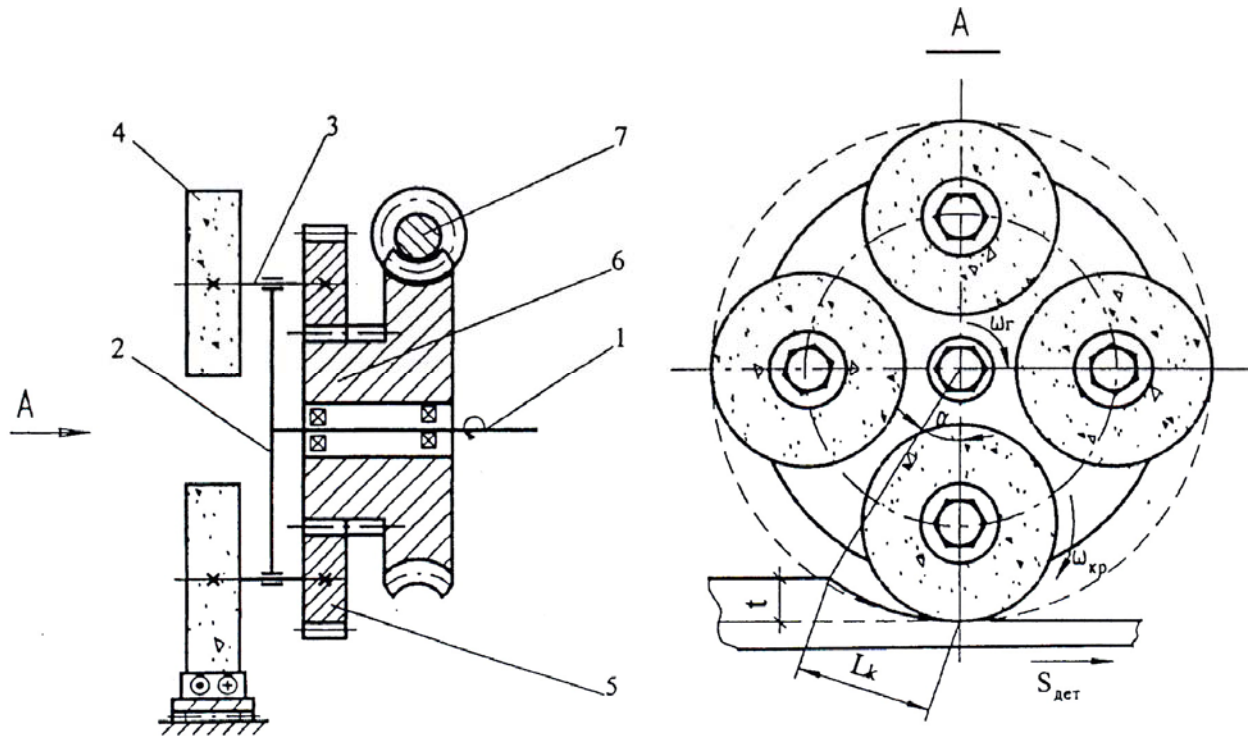


Рис. 1. Принципиальная схема ПШГ для реализации способа планетарного шлифования:
1 – шпиндель; 2 – водило; 3 – вал; 4 – абразивные круги головки; 5 – сателлиты; 6 – солнечное колесо;
7 – червяк

m – количество шлифовальных кругов;

ω_z – угловая скорость планетарной шлифовальной головки;

$D_г$ – диаметр планетарной головки;

t – глубина шлифования.

Однако, если учесть, что $V_г = f(d_{кр})$ и $V_{кр} = f(d_{кр})$, то возникает вопрос о влиянии таких параметров обработки как $d_{кр}$ и $[a_z]$ на промежуток времени Δt_p и как следствие – необходимость в разработке рекомендаций по выбору численных значений данных параметров.

Решение проблемы

Рассмотрим неравенства (1) и (2). Для того чтобы решить их относительно $d_{кр}$, необходимо перейти от линейных скоростей к угловым. С учетом выше сказанного неравенства (1) и (2) примут следующий вид:

– при попутном вращении круга и планетарной головки

$$\frac{l_0 - \sqrt{d_{\text{ед}} [a_z]}}{(\omega_{\text{ед}} \pm \omega_{\text{аі а}}) d_{\text{ед}}} \geq \frac{\sqrt{d_{\text{ед}} [a_z]}}{\omega_{\text{ед}} (d_1 + d_2 + d_{\text{ед}}) d_2 / d_1}, \quad (4)$$

– при встречном вращении круга и головки

$$\frac{l_0}{(\omega_{\text{ед}} \pm \omega_{\text{аі а}}) d_{\text{ед}}} \geq \frac{\sqrt{d_{\text{ед}} [a_z]}}{\omega_{\text{ед}} (d_1 + d_2 + d_{\text{ед}}) d_2 / d_1}, \quad (5)$$

где $\omega_{кр}$ – угловая скорость вращения круга;

$\omega_{\text{дов}}$ – угловая скорость дополнительного поворота абразивных кругов;

d_1 – диаметр солнечного колеса;

d_2 – диаметр сателлита.

Знак “+” в неравенствах (4), (5) применяется в том случае, когда направление $\omega_{кр}$ и $\omega_{\text{дов}}$ совпадает.

Согласно изобретению [6], в процессе обработки абразивным кругам сообщают дополнительное независимое от главного привода вращательное движение с угловой скоростью $\omega_{\text{дов}}$, определяемой по формуле:

$$\omega_{\text{аі а}} = \frac{\omega_{\text{ед}}}{360} \arcsin 2 \sqrt{\frac{t}{d_1 + d_2 + d_{\text{ед}}}}. \quad (6)$$

Рассмотрим выражение (6). Если учесть, что глубина шлифования t не превышает 20 мм (для глубинного шлифования), а $d_1 + d_2 = 210$ мм ($d_1 = 150$ мм, $d_2 = 60$ мм – делительные диаметры солнечного колеса и сателлита планетарной шлифовальной головки, реализованной в металле), то можно утверждать, что максимальное значение угловой скорости дополнительного поворота не превысит значения $0,1\omega_{кр}$.

В силу того, что неравенства (4) и (5) содержат такие параметры, как l_0 , $[a_z]$ и $\omega_{доб}$, примем во внимание следующие рассуждения.

Для того, чтобы неравенства (4) и (5) выполнялись при любых значениях параметров l_0 , $[a_z]$ и $\omega_{доб}$, необходимо их решить при таких значениях данных параметров, при которых левая часть неравенств принимает минимальное значение, а правая – максимальное.

Вполне очевидно, что левая часть неравенств примет минимальное значение в случае, когда угловая скорость дополнительного поворота максимальна и совпадает по направлению с угловой скоростью вращения круга. Таким образом, неравенства (4) и (5) преобразуются к виду:

при попутном вращении

$$\frac{c(l_0 - x\sqrt{[a_z]})(b + x^2) - 1,1x^3\sqrt{[a_z]}}{1,1x^2c(b + x^2)} \geq 0, \quad (7)$$

при встречном вращении

$$\frac{cl_0(b + x^2) - 1,1x^3\sqrt{[a_z]}}{1,1x^2c(b + x^2)} \geq 0, \quad (8)$$

где $c = d_2/d_1$ – отношение диаметров сателлита и солнечного колеса;

$b = d_2 + d_1$ – сумма диаметров солнечного колеса и сателлита;

$$x = \sqrt{d_{\epsilon\delta}}.$$

Рассмотрим левые части полученных неравенств как функции двух переменных x и $[a_z]$:

$$f(x, \sqrt{[a_z]}) = \frac{c(l_0 - x\sqrt{[a_z]})(b + x^2) - 1,1x^3\sqrt{[a_z]}}{1,1x^2c(b + x^2)}$$

$$g(x, \sqrt{[a_z]}) = \frac{cl_0(b + x^2) - 1,1x^3\sqrt{[a_z]}}{1,1x^2c(b + x^2)}$$

Тогда получим:

$$f'_x(x, \sqrt{[a_z]}) = \frac{x\sqrt{[a_z]} - 2l_0}{1,1x^3} + \frac{\sqrt{[a_z]}(x^2 - b)}{c(x^2 + b)^2}, \quad (9)$$

$$g'_x(x, \sqrt{[a_z]}) = \frac{-2l_0}{1,1x^3} + \frac{\sqrt{[a_z]}(x^2 - b)}{c(x^2 + b)^2}, \quad (10)$$

$$f'_{\sqrt{a_z}}(x, \sqrt{[a_z]}) = -\left(\frac{1}{1,1x} + \frac{x}{c(x^2 + b)}\right), \quad (11)$$

$$g'_{\sqrt{a_z}}(x, \sqrt{[a_z]}) = -\frac{x}{c(x^2 + b)}. \quad (12)$$

Так как всегда выполняются условия $b > x^2$ $l_0 > x\sqrt{[a_z]}$ (иначе неравенства (4) и (5) не имеют смысла), то можно утверждать, что выражения (9) – (12) всегда отрицательны. Следовательно, $f(x, \sqrt{[a_z]})$ и $g(x, \sqrt{[a_z]})$ – функции убывающие как по x , так и по $\sqrt{[a_z]}$, а это значит, что увеличение диаметра абразивного инструмента и предельно допустимой величины припуска снимаемого одним зерном за проход, способствуют уменьшению времени между двумя последовательными актами съема стружки с одного и того же участка поверхности.

Вернемся к неравенствам (7) и (8). Как уже было сказано выше, достаточно решить неравенства (7) и (8) при таких значениях параметров l_0 и $[a_z]$, при которых левая часть неравенств (3), (4) принимает минимальное значение, а правая – максимальное. Является вполне очевидным, что решения, полученные для минимального l_0 и максимального $[a_z]$ будут адекватными и при любых других значениях данных параметров. Действительно, для выполнения нера-

– для встречного вращения

$$[a_z] \leq \left(\frac{cl_0 (b+x^2)}{1,1x^3} \right)^2. \quad (16)$$

Таким образом, неравенства (15) и (16) позволяют уточнить выражение для определения подачи детали (3):

– для попутного вращения

$$S_{\dot{a}\dot{a}\dot{\delta}} \leq 0,445m\omega_{\dot{a}} \left(\frac{cl_0 (b+d_{\dot{\epsilon}\delta})}{(cb+cd_{\dot{\epsilon}\delta}+nd_{\dot{\epsilon}\delta})} \right)^2 \times \sqrt{\frac{b+d_{\dot{\epsilon}\delta}}{d_{\dot{\epsilon}\delta}^2 t}}, \quad (17)$$

– для встречного вращения

$$S_{\dot{a}\dot{a}\dot{\delta}} \leq 0,445m\omega_{\dot{a}} \left(\frac{cl_0 (b+d_{\dot{\epsilon}\delta})}{nd_{\dot{\epsilon}\delta} \sqrt{d_{\dot{\epsilon}\delta}}} \right)^2 \sqrt{\frac{b+d_{\dot{\epsilon}\delta}}{t}}, \quad (18)$$

где n – коэффициент, зависящий от величины и направления угловой скорости дополнительного поворота, его значение изменяется в пределах $n = 0,9 \dots 1,1$.

Заключение

Установлена корреляция между такими параметрами обработки как $d_{кр}$, $[a_z]$ и $\Delta\tau_p$, а именно доказано, что увеличение диаметра абразивного инструмента и величины припуска снимаемого одним зерном за проход, способствуют уменьшению времени между двумя последовательными актами съема стружки с одного и того же участка поверхности.

Уточнено выражение для определения подачи детали при планетарном шлифовании.

Литература

1. Крымов В.В., Елисеев Ю.С., Зудин К.И. Производство лопаток газотурбинных двигателей / Под ред. В.В. Крымова. – М.: Машиностроение:

Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.

2. Сурду Н.В., Долматов А.И., Горбачев А.Ф., Горбачев А.А. Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. научн. тр. – Х.: НАКУ “ХАИ”, 2000. – Вып. 22(5). – С. 118-125.

3. Сурду Н.В., Долматов А.И., Горбачев А.Ф., Горбачев А.А. Влияние скорости круговой подачи и катодной поляризации обрабатываемой поверхности на эффективность круглого врезного шлифования // Сб. научн. тр. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ “ХАИ”, 2000. – Вып. 21(4). – С. 1-6.

4. Горбачев А.А. Определение кинематических параметров планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 2 (18). – С. 19-22.

5. Горбачев А.А. Определение технологических параметров планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 3 (19). – С. 20-23.

6. Патент 78872 Україна, МПК В24В 1/00. Способ планетарного шлифования / А.А. Горбачев, Н.В. Сурду, А.И. Долматов, О.В. Телегин. – №а200504196; Заявлено 04.05.2005; Опубл. 25.04.2007; Бюл. №5. – 6 с.

7. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.

8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Госуд. издательство физико-математ. литературы, 1962. – 608 с.

Поступила в редакцию 20.11.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.