УДК 621.753.5

Г.А. Колосов, А.П. Минаков, д-р техн. наук, проф., О.А. Воробьева, И.Д. Камчицкая

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОНАКАТНИКА ИМПУЛЬСНО-УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Оптимизированы геометрические параметры, определяющие наиболее выгодное положение приводящих и деформирующих шаров в накатнике импульсно-ударного действия для обработки плоских поверхностей в сравнении с аналогом.

Экспериментальные исследования [1, 2] по упрочняющей пневмовибродинамической обработке плоских поверхностей пневмонакатником импульсно-ударного действия не дают однозначного ответа на вопрос, является ли максимальным, при заданных конструктивных параметрах, усилие деформирования в поверхностном слое металла.

Для решения этой проблемы сделаем попытку исследовать кинетостатические параметры инструмента.

Нас интересует «среднеударная» нагрузка, при которой происходит некоторое переменное уплотнение слоев на задаваемую глубину только за счет изменения угла α между направляющей поверхностью и нормалью к обрабатываемой поверхности (рис. 1, а, б).

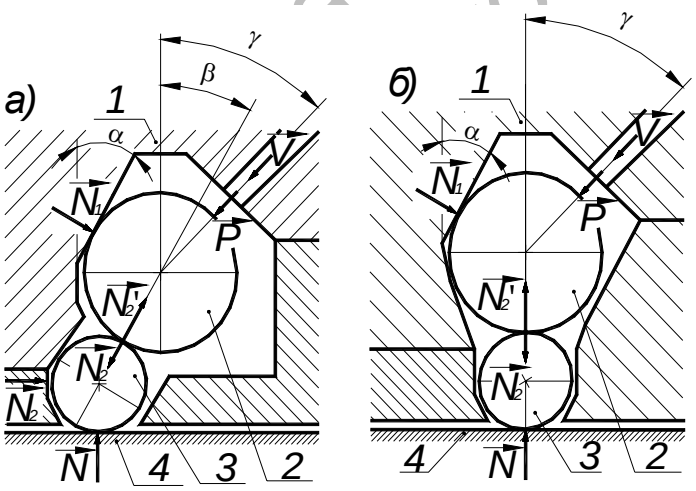

Рис. 1. Принципиальные схемы воздействия сил на шары инструмента и обрабатываемую поверхность: а - $\beta \neq 0$; б - $\beta = 0$; 1 - направляющая поверхность; 2 - шар-ударник; 3 - боек (шар); 4 - обрабатываемая поверхность

Действительно, управление процессом (движением) может быть как «пассивным», так и «активным». Управление «пассивное» происходит за счет назначения начальных условий непрерывно в процессе. Если установить зависимость $\alpha = \alpha(h, \Delta)$, где h – глубина уплотняемого слоя, Δ – твердость, причем $\Delta = \Delta(h)$, то будет решена задача «пассивного» управления процессом.

Очевидно, что для простого увеличения реакции обрабатываемой поверхности необходимо и достаточно выполнение конструктивных условий $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $\gamma = 0$, то

Электронная библиотека Белорусского государственного университета

есть использовать прямой центральный удар, тогда пассивное управление возможно за счет величины давления в воздушной камере.

Мы же хотим использовать для пассивного управления процессом идею клина за счет угла α. Так как в реальных условия существует трение скольжения, то увеличивать значение угла α бесконтрольно нельзя, иначе может возникнуть «заклинивание» ударника 2, что приведет к снижению коэффициента полезного действия. В дальнейших расчетах трение не учитываем. Примем α = 45°, как близкое к истине.

Исследуем величину угла β между центральной прямой и нормалью к обрабатываемой поверхности.

Исследование случая β ≠ 0

На рис. 1, а показана статически-определимая расчетная схема. Очевидно, N достигает наибольшего значения, если наибольшего значения достигает N_2. Составим «условные» уравнения равновесия шара 2.

$$\sum x = 0, N_1 \cos\alpha + N_2' \sin\beta - P\sin\gamma = 0; \sum y = 0, -N_1 \sin\alpha + N_2' \cos\beta - P\cos\gamma = 0 \qquad (1)$$

или
$$N_2 = N_2' = P\frac{\sin\gamma tg\,\alpha + \cos\gamma}{\cos\beta - \sin\beta tg\,\alpha} = P\frac{\sin(\alpha+\gamma)}{\cos(\alpha+\beta)}. \qquad (2)$$

Исследуем N_2 на экстремум $\left[\frac{dtg\alpha}{d\alpha} = \frac{1}{\cos^2\alpha}\right]$:

$$\frac{dN_2}{d\alpha} = P\frac{\frac{\sin\gamma}{\cos^2\alpha}(\cos\beta - \sin\beta tg\alpha) - (\sin\gamma tg\alpha + \cos\gamma)\left(-\frac{\sin\beta}{\cos^2\alpha}\right)}{(\cos\beta - \sin\beta tg\alpha)^2} =$$

$$= P\frac{\sin\gamma\cos\beta - \sin\gamma\sin\beta tg\alpha + \sin\beta\cos\gamma + \sin\gamma\sin\beta tg\alpha}{\cos^2\alpha(\cos\beta - \sin\beta tg\alpha)^2} =$$

$$= P\frac{\sin\gamma\cos\beta + \sin\beta\cos\gamma}{\cos^2\alpha\left(\cos\beta - \sin\beta\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}\right)^2} = P\frac{\sin(\beta+\gamma)}{\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\alpha}(\cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta)} \qquad (3)$$

или
$$\frac{dN_2}{d\alpha} = P\frac{\sin(\beta+\gamma)}{\cos^2(\alpha+\beta)}. \qquad (4)$$

Равенство (3) дифференцируем

$$\frac{d^2N_2}{d\alpha^2} = P\frac{0\cos^2(\alpha+\beta) - \sin(\beta+\gamma)2\cos(\alpha+\beta)(-\sin(\alpha+\beta))}{\cos^4(\alpha+\beta)} =$$

$$= P\frac{2\sin(\beta+\gamma)\cos(\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)}{\cos^4(\alpha+\beta)}$$

или
$$\frac{d^2N_2}{d\alpha^2} = 2P\frac{\sin(\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)}{\cos^3(\alpha+\beta)}.$$

Ищем экстремальные корни из (3) $\frac{dN_2}{d\alpha} = 0; P\frac{\sin(\beta+\gamma)}{\cos^2(\alpha+\beta)} = 0$; (5)

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

$\cos^2(\alpha+\beta)\neq\infty$; следовательно (5) возможно когда выполняется условие

$$\begin{cases}\sin(\beta+\gamma)=0;\\ \cos^2(\alpha+\beta)=0,\end{cases}\ \text{отсюда имеем}\ \begin{cases}\beta+\gamma=0;\\ \alpha+\beta=\dfrac{\pi}{2},\end{cases}\ \text{или}\ \begin{cases}\beta^*=-\gamma;\\ \alpha^*=\dfrac{\pi}{2}+\gamma.\end{cases} \tag{6}$$

Вычисляем $\dfrac{d^2N_2}{d\alpha^2}$ при условиях (6):

$$\left.\frac{d^2N_2}{d\alpha^2}\right|_{\substack{\alpha*\\ \beta*}}=2P\frac{\sin 0\sin\dfrac{\pi}{2}}{\cos^3\left(\dfrac{\pi}{2}\right)}=2P\frac{0}{0^3}=0\,.$$

Таким образом, экстремум не очевиден, и наибольшее значение N_2 определяем из выражения (2) методом переборки (сканирования).

Исследования случая β = 0

Так как движение шаров хаотичное, то $\beta = 0$ маловероятно, но близко к этому значению в силу конструкции (рис. 1, б). Составим «условные» уравнения равновесия.

$$\sum x=0, N_1\cos\alpha-P\sin\gamma=0, \sum y=0, -N_1\sin\alpha+N_2'-P\cos\gamma=0 \tag{7}$$

или $N_1\cos\alpha=P\sin\gamma, N_1\sin\alpha=N_2-P\cos\gamma$; или $tg\alpha=\dfrac{N_2-P\cos\gamma}{P\sin\gamma}$,

или $N_2=P\sin\gamma tg\alpha+P\cos\gamma$, т.к. $N_2=N$ (рис. 1, б),

то $$N=N_2=P(\cos\gamma+\sin\gamma tg\alpha). \tag{8}$$

Исследуем N на экстремум:

$$\frac{dN}{d\alpha}=P\sin\gamma\frac{1}{\cos^2\alpha};\ \frac{d^2N}{d\alpha^2}=P\sin\gamma\frac{0\cos^2\alpha-(2\cos\alpha\sin\alpha)}{\cos^4\alpha} \tag{9}$$

или $$\frac{d^2N}{d\alpha^2}=-2P\sin\gamma\frac{\sin\alpha}{\cos^3\alpha};\ \frac{dN}{d\alpha}=0; P\sin\gamma\frac{1}{\cos^2\alpha}=0\,. \tag{10}$$

За счет угла α экстремума нет.

Определим «относительный экстремум», для чего дифференцируем (7):

$$\frac{dN}{d\gamma}=P(-\sin\gamma+tg\alpha\cos\gamma); \tag{11}$$

$$\frac{d^2N}{d\gamma^2}=P(-\cos\gamma-tg\alpha\sin\gamma)=-P(\cos\gamma+tg\alpha\sin\gamma); \tag{12}$$

$$\frac{dN}{d\gamma}=0; P(-\sin\gamma+tg\alpha\cos\gamma)=0\,, \tag{13}$$

так как

$$\gamma\neq\frac{\pi}{2}; P\neq 0; -tg\gamma+tg\alpha=0; \gamma=arctg(\alpha); \gamma=\alpha+\pi\cdot k,$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

где $k = 0, \pm 1, \pm 2, ...$

Пусть к = 0. Таким образом, экстремальный корень $\gamma^* = \alpha$:

$$\left.\frac{d^2N}{d\gamma^2}\right|_{\gamma^*} = -P(\cos\alpha + tg\alpha\sin\alpha) = -P\left(\cos\alpha + \frac{\sin\alpha\sin\alpha}{\cos\alpha}\right) = -P\frac{\cos^2\alpha + \sin^2\alpha}{\cos\alpha}; \quad (14)$$

$$\left.\frac{d^2N}{d\gamma^2}\right|_{\gamma^*} = -P\frac{1}{\cos\alpha}; \text{ так как } 0<\alpha<\frac{\pi}{2}, \text{ то } \cos\alpha>0 \text{ и } \left.\frac{d^2N}{d\gamma^2}\right|_{\gamma^*} < 0.$$

Таким образом, N достигает максимума при выполнении условия α = γ, где γ – угол между осью сопел и нормалью к обрабатываемой поверхности. Это соответствует механике процесса. Действительно коэффициент полезного действия при условии (14) будет максимальным. Поэтому желательно при конструировании соблюдать условие (14).

В качестве примера исследуем поведение N методом сканирования. С учетом (14) равенство (7) принимаем $N = N_2 = P(\cos\alpha + \sin\gamma tg\alpha)$ или $N = \frac{P}{\cos\alpha}$. На рис. 2 показана зависимость силы воздействия N от угла α между направляющей поверхностью и нормалью к обрабатываемой поверхности.

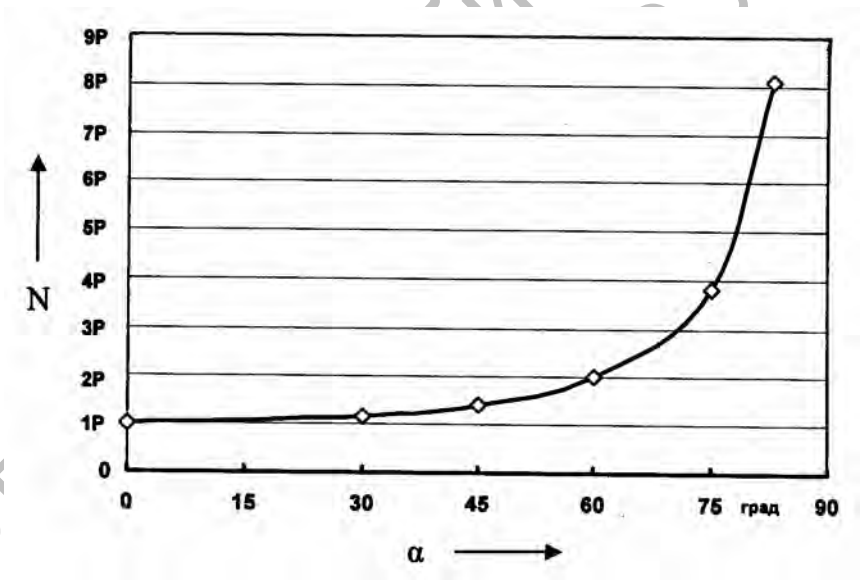

Рис. 2. График зависимости воздействия силы N от значения угла α

Получается, что оптимальным является угол, значения которого находятся в промежутке 0°< α < 30°, так как «эффект клина» мал, в промежутке 30°< α < 60° - допустим, а при 60°< α <80° - слишком велик.

На основе вышеприведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Для повышения коэффициента полезного действия необходимо выполнение условия α = γ.

2. Для управления процессом уплотнения слоя обрабатываемого тела необходимо установить теоретико-экспериментальную зависимость α = α(h, Δ), где h – глубина уплотняемого слоя, Δ – твердость, причем Δ = Δ(h).

Белорусско-Российский университет
Электронная библиотека

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Минаков, А. П.** Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежестких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос. – Мн. : Наука и техника, 1995. – 304 с.

2. **Пат. 36788 РФ, 7 В 24 В 39/06.** Инструмент для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей / А. П. Минаков, О. В. Ящук, И. Д. Камчицкая ; заявитель и патентообладатель А. П. Минаков, О. В. Ящук, И. Д. Камчицкая. - № 2003134747/20 ; заявл. 01.12.2003 ; опубл. 27.03.2004, Бюл. № 9. – 2 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 14.11.2005

G. A. Kolosov, A.P. Minakov,
O.A. Vorobyeva, I.D. Kamshitskaya
Basic research on optimization constructive parameters pnevmonakatnik pulsed-striking action for processing the flat surfaces
Belarusian- Russian University

Geometric parameters, defining the most profitable position of driving and deforming balls in pnevmonakatnik of pulsed-striking action for processing flat surfaces in comparison with the analog have been optimized.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета