

УСЛОВИЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВУ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Нежебовский В.В.

(Харьковский национальный экономический университет,
ОАО Харьковский машиностроительный завод “Свет шахтера”)

Введение и постановка задачи. При шлифовании важно одновременно обеспечить высокие показатели точности и качества обработки за счет применения оптимальных режимов шлифования [1–3]. Как показывает практика шлифования, в формировании параметров точности обработки существенную роль играют упругие перемещения, возникающие в технологической системе, а в формировании параметров качества обработки – температура шлифования. Поэтому представляется актуальным теоретическое определение условий обработки, обеспечивающих заданные значения величины упругого перемещения и температуры шлифования. Это позволит выявить новые технологические возможности шлифования и научно обоснованно подойти к проектированию технологических процессов шлифования, в частности, зубошлифования. В связи с этим, целью работы является определение оптимальных условий обработки, обеспечивающих заданные значения величины упругого перемещения и температуры шлифования.

Материалы и результаты исследований. Для решения поставленной задачи воспользуемся аналитическими зависимостями для определения величины упругого перемещения y и температуры θ при шлифовании торцом круга [4, 5]:

$$y = \frac{P_y}{C} = \frac{P_z}{C \cdot K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot Q}{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} = \frac{\sigma}{C \cdot K_{ш}} \cdot \frac{h \cdot t \cdot V_{дет}}{V_{кр}}, \quad (1)$$

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{дет}}{B}}, \quad (2)$$

где P_y , P_z – радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, Н; C – приведенная жесткость технологической системы, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоемкость обработки, Дж/м³); $Q = h \cdot t \cdot V_{дет}$ – производительность обработки, м³/с; t – глубина шлифования, м; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; h, B – соответственно, ширина и длина контакта круга с деталью, м; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К.

Как видно, одновременно уменьшить величины y и θ можно уменьшением параметров σ , t и $V_{дет}$. Причем, для заданной производительности обра-

ботки $Q = h \cdot t \cdot V_{дет}$ эффективно уменьшать лишь глубину шлифования t , реализуя схему многопроходного шлифования. Увеличение скорости круга $V_{кр}$ приводит к уменьшению величины y . Однако, как известно [4], при этом увеличивается σ , что увеличивает температуру шлифования θ . Поэтому добиться одновременного уменьшения величин y и θ за счет увеличения $V_{кр}$ можно при условии уменьшения условного напряжения резания σ (путем применения кругов с повышенной режущей способностью).

Из сказанного можно сформулировать следующие варианты обработки:

1) Поскольку в зависимость (2) не входит скорость круга $V_{кр}$, то заданное значение θ можно обеспечить за счет уменьшения параметров σ и t , а заданное значение y – за счет увеличения $V_{кр}$. Это позволит реализовать максимально возможную производительность обработки.

2) Учитывая ограниченность увеличения скорости круга $V_{кр}$, заданного значения y можно достичь уменьшением производительности обработки $Q = h \cdot t \cdot V_{дет}$. Однако такой вариант обработки малоэффективен, т.к. характеризуется низкой производительностью обработки.

3) Как показывает практика шлифования, для обеспечения заданной точности обработки требуется более значительное уменьшение глубины шлифования t и соответственно производительности обработки, чем для обеспечения бездефектной обработки. Поэтому целесообразно к выполнению требований по точности обработки подходить лишь при окончательном шлифовании и выхаживании, а к обеспечению условий бездефектной обработки – как при предварительном, так и окончательном шлифовании. В связи с этим определим условия уменьшения величины упругого перемещения y . Для этого зависимость (1) представим в виде

$$y = \frac{t}{\varepsilon}, \quad (3)$$

где $\varepsilon = \frac{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{дет}}$ – уточнение.

Параметр ε по физической сути является передаточной функцией между глубиной шлифования t и величиной упругого перемещения y . Располагая количественным значением ε , можно определить глубину шлифования t , обеспечивающую требуемую точность обработки, обусловленную величиной y . Однако, параметр ε содержит три неизвестных величины: C , σ и $K_{ш}$, которые можно установить экспериментальным путем. В связи с этим целесообразно экспериментально определить параметр ε для конкретных условий обработки. Затем, изменяя параметры режима резания: $V_{дет}$, $V_{кр}$ и h или σ и $K_{ш}$ (за счет применения кругов с более высокой режущей способностью), можно добиться требуемого значения ε , удовлетворяющего заданной точности обработки. Зная уточнение ε , глубину шлифования t и величину снимаемого припуска Π ,

можно определить минимальное количество проходов круга, что важно при проектировании маршрута обработки при зубошлифовании.

Необходимо отметить, что зависимость (1) справедлива при $y \ll t$. В реальных условиях шлифования величина y может составлять десятые доли номинальной глубины шлифования. В этом случае вместо t в зависимости (1) следует рассматривать фактическую глубину шлифования $(t - y)$. Тогда зависимость (1) после преобразований примет вид

$$y = \frac{t}{(1 + \alpha)}, \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{C \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot h \cdot V_{дем}}$ – безразмерный параметр.

Очевидно, величина $(1 + \alpha)$ равна уточнению ε . Поэтому все выводы, сделанные относительно зависимости (3), будут справедливы и относительно зависимости (4).

При условии $\alpha < 1$, наибольшее влияние из всех входящих в зависимость (4) параметров на величину y оказывает номинальная глубина шлифования t . При заданном значении t добиться уменьшения y можно, в первую очередь, уменьшением скорости детали $V_{дем}$, которая изменяется в широких пределах.

Важным направлением уменьшения величины y следует рассматривать процесс выхаживания. В этом случае номинальной глубиной шлифования является величина упругого перемещения y , образующегося на предыдущем проходе и определяемого зависимостью (4). Тогда

$$y = \frac{t}{(1 + \alpha)^2}. \quad (5)$$

При осуществлении выхаживания в несколько проходов n зависимость (5) примет вид

$$y = \frac{t}{(1 + \alpha)^n}. \quad (6)$$

Как видно, величина упругого перемещения при выхаживании y уменьшается по закону геометрической прогрессии с увеличением количества проходов n .

Уменьшение $V_{дем}$ (что соответствует увеличению α), также как и увеличение n ведет к уменьшению производительности обработки (повышению основного времени). Причем, величины α и n в одинаковой степени влияют на уменьшение производительности обработки. Поэтому важно количественно оценить степень влияния величин α и n на изменение безразмерной величины y/t , которая определяется из зависимости (6):

$$\frac{y}{t} = \frac{1}{(1 + \alpha)^n}. \quad (7)$$

На рис. 1 показан характер изменения y/t в зависимости от величин α и n . Как видно, с увеличением α и n в одинаковое количество раз, безразмерная

величина y/t уменьшается с разной интенсивностью. Увеличение количества проходов n в большей степени влияет на изменение y/t , в особенности с увеличением начального значения $\alpha = \alpha_0$. Это свидетельствует об эффективности применения процесса выхаживания по сравнению с обычным увеличением α (за счет уменьшения V_{dem}) при шлифовании по жесткой схеме. Собственно этим объясняется эффективность применения схемы выхаживания при шлифовании.

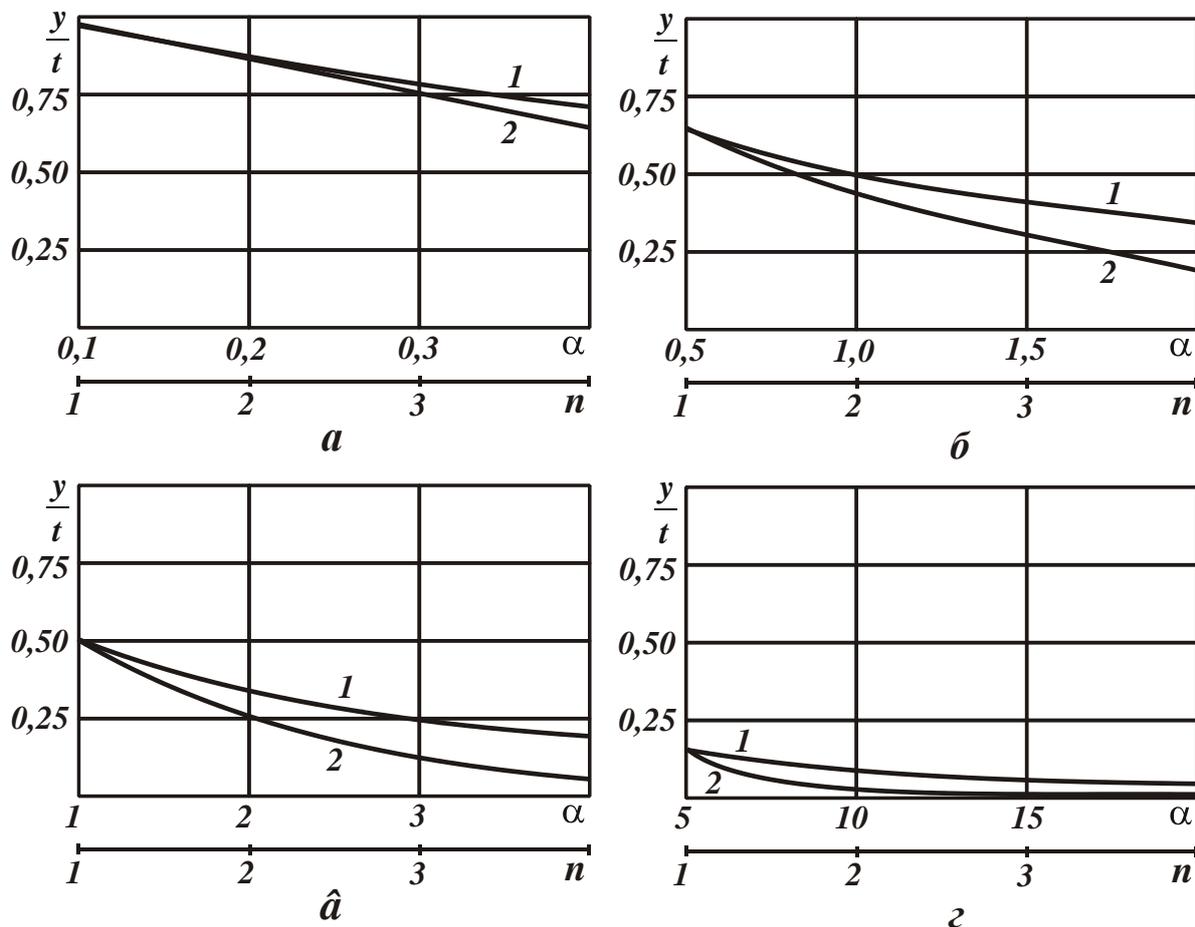


Рис. 1. Зависимости отношения y/t от величин α (1) и n (2): а – $\alpha_0=0,1$; б – $\alpha_0=0,5$; в – $\alpha_0=1$; г – $\alpha_0=5$.

Рассмотрим возможность уменьшения величины упругого перемещения за счет уменьшения глубины шлифования t и соответственно увеличения количества проходов при шлифовании по жесткой схеме. Так, при уменьшении t в 2 раза (т.е. при съеме припуска за 2 прохода), согласно зависимости (4), величина y уменьшится в 2 раза. Введение одного выхаживающего прохода, согласно зависимости (5), позволит уменьшить величину y в $(1+\alpha)$ раз. При $\alpha > 0,5$ величина y уменьшится более чем в 2,25 раз, а при $\alpha < 0,5$ – уменьшится менее чем в 2 раза. Следовательно, в случае $\alpha < 0,5$ более эффективно съем припуска произвести за 2 прохода круга при шлифовании по жесткой схеме. При этом будет обеспечиваться более высокая точность обработки. В случае $\alpha > 0,5$ эффективно первый проход осуществить по жесткой схеме шлифования, а второй – по схеме выхаживания. Из этого вытекает, что коэффициент α , а, следова-

тельно, и уточнение $\varepsilon=(1+\alpha)$ определяют оптимальный маршрут обработки. Однако для этого необходимо располагать количественными значениями уточнения ε , которые устанавливаются расчетно-экспериментальным путем.

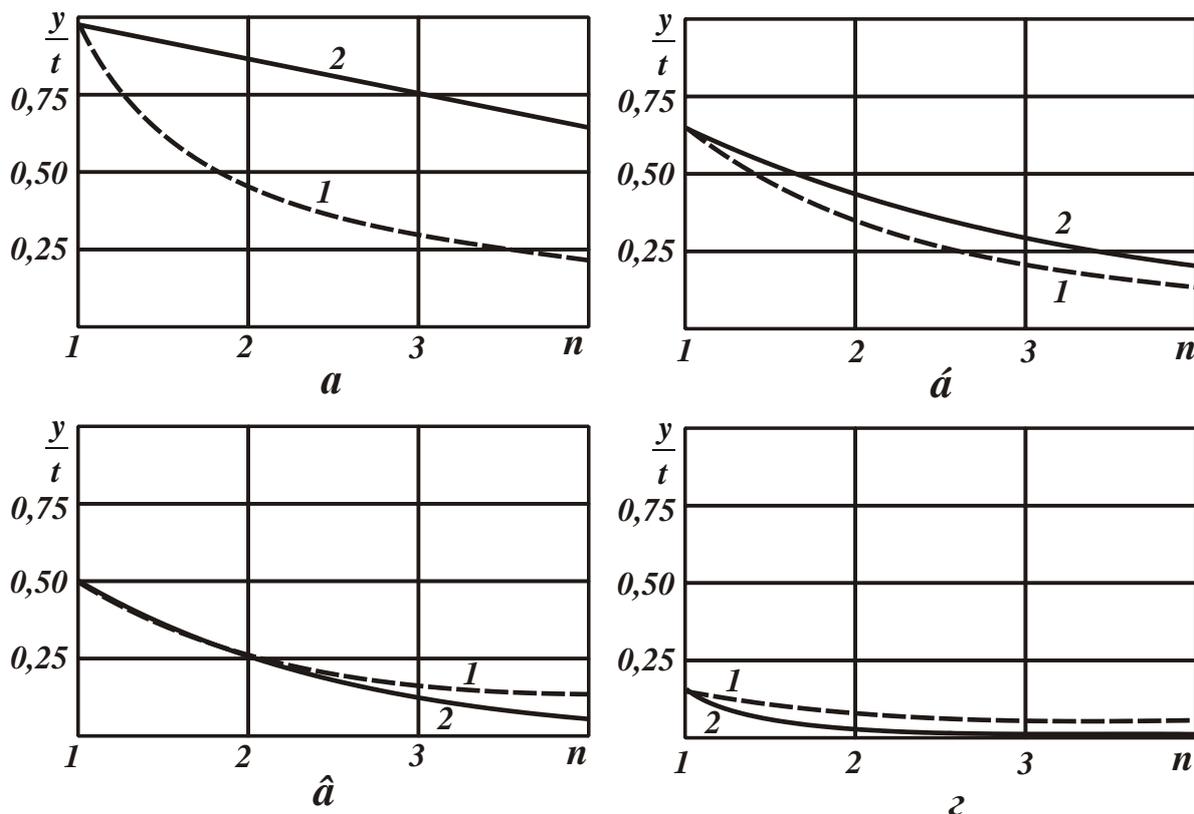


Рис. 2. Зависимости отношения y/t от количества проходов n при выхаживании (1) и при шлифовании по жесткой схеме (2): а – $\alpha_0=0,1$; б – $\alpha_0=0,5$; в – $\alpha_0=1$; г – $\alpha_0=5$.

На рис. 2 графически показан характер изменения отношения y/t от количества проходов n при выхаживании (сплошная линия) и при шлифовании по жесткой схеме (пунктирная линия) для разных значений α_0 . Как видно, при $\alpha_0=0,1$ и $\alpha_0=0,5$ (рис. 2, а, б) отношение y/t меньше при шлифовании по жесткой схеме. Следовательно в этом случае выхаживание менее эффективно по сравнению с шлифованием по жесткой схеме. При $\alpha_0 \geq 1$ (рис. 2, в, г), наоборот, отношение y/t гарантированно меньше при выхаживании.

Таким образом, при $\alpha \geq 1$ операцию зубошлифования эффективно выполнять в 2 перехода, включая предварительное шлифование и выхаживание. Окончательное шлифование может быть исключено. При этом глубина шлифования и количество проходов круга при предварительном шлифовании определяются из условия бездефектной обработки, а количество проходов круга при выхаживании – на основе заданной погрешности обработки и уточнения ε , реализуемого при предварительном шлифовании.

При $\alpha < 1$ операцию зубошлифования целесообразно выполнять с применением как предварительного, так и окончательного шлифования, поскольку в данном случае при выхаживании погрешность обработки фактически не

уменьшается. Это связано, в первую очередь, с низкой жесткостью технологической системы и низкой режущей способностью шлифовального круга.

На рис. 3 показана структурная схема условий повышения точности и качества обработки при зубошлифовании.

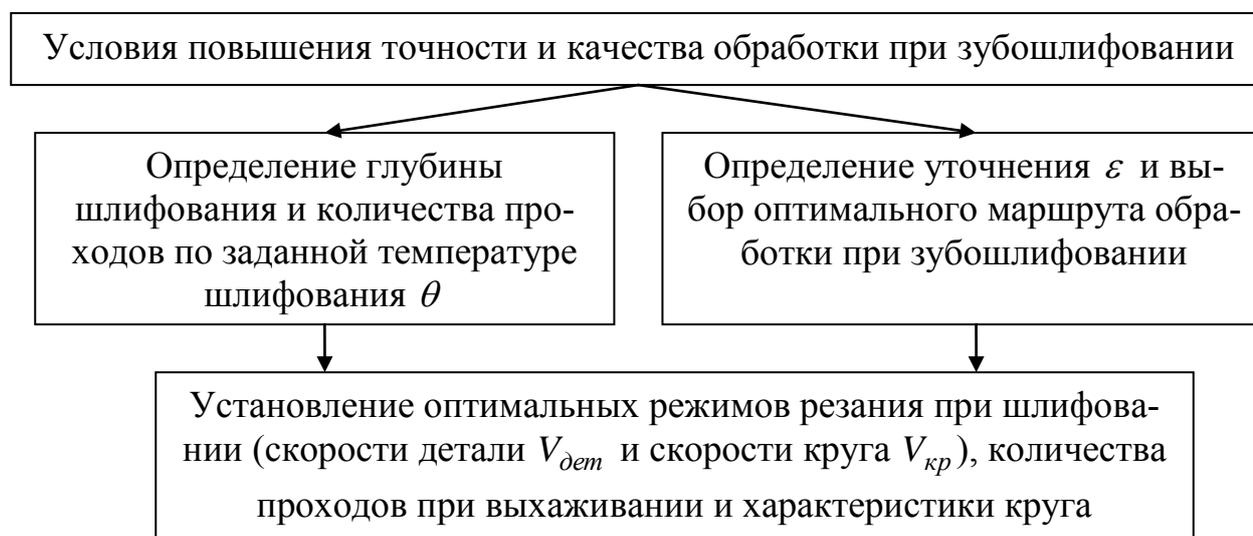


Рис. 3. Структурная схема условий повышения точности и качества обработки при зубошлифовании.

Выводы. Определены условия одновременного обеспечения требований по точности и качеству обработки при зубошлифовании. Они состоят в установлении глубин шлифования, обеспечивающих заданные значения температуры шлифования и величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе, соответственно при предварительном и окончательном шлифовании. При этом доказано существенное влияние уточнения на точность и производительность обработки при шлифовании. Установлено, что для уточнения $\varepsilon < 2$ целесообразно использовать шлифование по жесткой схеме, а для уточнения $\varepsilon \geq 2$ – шлифование по схеме выхаживания. Следовательно, на основе уточнения можно определить оптимальный маршрут обработки и параметры операций шлифования.

Список литературы

1. Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с.
2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

5. Новиков Ф.В., Кленов О.С. Оптимизация параметров операций шлифования с учетом ограничений по температуре резания // Вісник НТУ “ХП”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХП”. – 2009. – № 2. – С. 45-53.

6. Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування”. – Одеса: ОНПУ, 2009. – 21 с.