

УДК 621.922

В.Б.Наддачин, А.В.Баланюк

Одесский национальный политехнический университет

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЛНИСТОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ С ВИБРАЦИЯМИ**

*Рассмотрены вопросы регулирования параметров волны, образуемой на обрабатываемой поверхности при шлифовании с вибрациями.*

Ключевые слова: *шлифование, обработка, поверхность, вибрации, волны.*

Основным предназначением использования прерывистого шлифования было снижение температуры процесса. При взаимодействии шлифовального круга с обрабатываемой деталью, в зоне контакта могут возникать мгновенные контактные температуры, влекущие за собой структурные и фазовые изменения. Если, на некоторый период времени прерывать контакт круга с обрабатываемой поверхностью, то, мгновенная контактная температура не успеет подняться до своих максимальных значений, а, следовательно, не произойдет теплового насыщения поверхности. Данное решение воплотилось в использовании абразивного шлифовального инструмента с периодически чередующимися режущими выступами и впадинами. Т.е. за счет прерывистого процесса резания можно значительно уменьшить температуру в зоне резания и избежать появления дефектов шлифования.

В тоже время, наличие прерывистости на режущей кромке шлифовального круга вызывает дополнительные колебания высокой частоты. Например: при количестве пазов 4 шт, частота этих колебаний составит  $f = 182$  Гц, при  $n = 12$  шт –  $f = 546$  Гц. Т.е. с увеличением количества выступов, частота колебаний будет увеличиваться. Это подтверждается и непосредственной записью траектории перемещения оси инструмента (рис. 1).

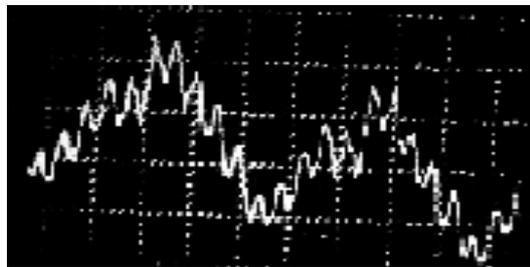


Рис. 1. Дополнительные колебания (при  $n = 12$  шт), вызванные прерывистостью процесса шлифования.

В результате проведенной экспериментальной работы, доказано, что можно создать такие условия, при которых возможно управление геометрическими параметрами обрабатываемой поверхности. Это оказывается возможным при создании эффекта "самоперерезания" волн. Суть этого процесса заключается в том, что при определенных сочетаниях режимов шлифования, амплитуды и частоты колебаний инструмента, центр масс круга будет двигаться по сложной замкнутой кривой (рис. 2).



Рис. 2. Часть траектории перемещения центра круга с 10 пазами

Совершая петлеобразные движения в пространстве, и проходя в разные промежутки времени дважды через одну и ту же точку поверхности, режущая поверхность абразивного круга будет дополнительно срезать часть материала.

Из приведенной на рис.2 осциллограммы записи перемещения центра масс круга, видно, что под действием приведенных выше параметров, центр описывает довольно сложную траекторию. Двигаясь по эллипсоидной кривой, он совершает еще синусоподобные перемещения относительно этой кривой.

На основании анализа полученных результатов построена математическая модель перемещения оси шпинделя, описываемая выражением (1)

$$\begin{aligned} Y &= B \cdot \sin \omega_o t + U_y \cdot \sin \omega_e t \cdot \sin \omega_o t, \\ Z &= A \cdot \cos \omega_o t + U_z \cdot \sin \omega_e t \cdot \cos \omega_o t, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A$  и  $B$  – амплитуды горизонтальных и вертикальных (соответственно) колебаний связанных с дисбалансом круга;

$U_y$  и  $U_z$  – амплитуды радиальных и тангенциальных колебаний связанных с действием дополнительной (ударной) возмущающей силы;  $\omega_o$  и  $\omega_e$  – круговая частота колебаний, связанная с дисбалансом круга и дополнительной возмущающей силой (соответственно);  $t$  – время перемещения.

Исходя из траектории перемещения центра круга (и формообразующей точки его периферии), а также учитывая величину его радиуса ( $R$ ) и рабочую скорость движения поверхности изделия ( $V_o$ ), определены координаты профиля волнистой поверхности для  $i$  –й гармоники, образующейся при прерывистом шлифовании (2).

По зависимостям (2) проведен расчет и построение профиля волны (рис. 3) за один оборот шлифовального круга.

$$\begin{aligned} X &= (A + U_z \cdot \sin \omega_e t) \cdot \cos \omega_o t + V_o t + \\ &+ \frac{R[(B + U_y \cdot \sin \omega_e t) \cdot \omega_e \cos \omega_o t + U_y \omega_e \cos \omega_e t \cdot \sin \omega_o t]}{V}, \\ Y &= (B + U_y \cdot \sin \omega_e t) \cdot \sin \omega_o t + \\ &+ \frac{R[U_z \omega_e \cos \omega_e t \cdot \cos \omega_o t + V_o - (A + U_z \cdot \sin \omega_e t) \cdot \omega_o \sin \omega_o t]}{V}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{где } V = \sqrt{[U_z \omega_e \cos \omega_e t \cdot \cos \omega_o t + V_o - (A + U_z \sin \omega_e t) \omega_o \sin \omega_o t]^2 + [(B + U_y \sin \omega_e t) \omega_e \cos \omega_o t + U_y \omega_e \cos \omega_e t \cdot \sin \omega_o t]^2}.$$

На рисунке видно, что формообразующий элемент круга, совершая петлеобразные осциллирующие перемещения, двигаясь по сложной траектории ( $A$ ) многократно проходит через одну и ту же зону поверхности. Дуги 1,2,3,4,...,  $n$  окружности круга радиусом  $R$  оставляют на поверхности детали соответствующий след.

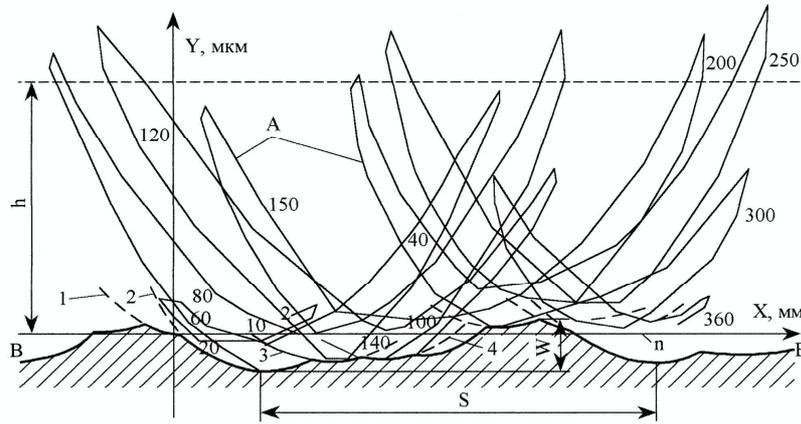


Рис. 3. Формирование волнистости при обработке прерывистым кругом

Огибающая этих дуг кривая В-В и будет представлять собой профиль волнистости, формируемой на поверхности детали.  $h$  – глубина шлифования. Разность между наивысшей и низшей точкой профиля представляет собой высоту волны ( $W$ ), а расстояние между одноименными точками профиля – ее шаг ( $S$ ). В зависимости от наличия колебаний, их амплитуды и частоты (конструкции круга) изменяется траектория, описываемая формообразующим элементом круга и профиль формируемой поверхности. Таким образом, используя возникающие вибрации, можно управлять процессом формирования профиля поверхности.

В результате проведенной работы построен график зависимости высоты волны от режимов обработки и установлена зона наступления эффекта „самоперерезания” волн (рис.4).

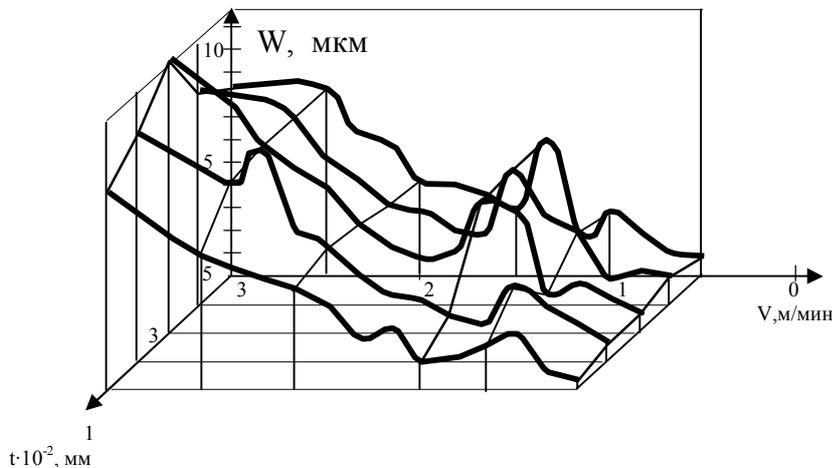


Рис. 4. Зависимость высоты волны от режимов обработки при постоянной частоте вынужденных колебаний

Анализ приведенных зависимостей показал, что, в общем, с увеличением скорости и глубины шлифования высота образуемой волнистости увеличивается. Однако, при определенных сочетаниях скорости и глубины шлифования, наблюдается резкое возрастание высоты волны (при скоростях  $1,2 \dots 1,4$  м/мин, и глубины  $0,03 \dots 0,05$  мм) или зона понижения (при  $V = 1,5 \dots 1,6$  м/мин, и  $t = 0,03 \dots 0,05$  мм). При этом для  $t = 0,01 \dots 0,03$  мм, эта зона смещается в сторону меньших скоростей  $V = 1,5 \dots 1,6$  м/мин. Т.е. при этих условиях наступает эффект самоперерезания волн, и как результат уменьшение их высоты.

С изменением высоты волны, изменяется и ее шаг. Например: при обработке трех образцов на разных режимах ( $V_1=0,067$  м/с,  $t_1=20 \cdot 10^{-6}$  м;  $V_2=0,1$  м/с,  $t_2=30 \cdot 10^{-6}$  м;  $V_3=0,117$  м/с,  $t_3=50 \cdot 10^{-6}$  м), шаг волны составил соответственно  $S_1=1,48 \cdot 10^{-3}$  м;  $S_2=1,48 \cdot 10^{-3}$  м;  $S_3=1,48 \cdot 10^{-3}$  м, при одинаковой высоте волны  $W=1,5 \cdot 10^{-6}$  м. Это отразится также и на величине опорной кривой полученных профилей, а следовательно и на скорости износа этих поверхностей.

---

Регулирование параметров волны, образуемой на обрабатываемой поверхности можно осуществить так же за счет изменения конструкции абразивного круга – применения композиционных кругов. В отличие от прерывистых кругов, у которых режущая поверхность чередуется с пазами, у композиционных кругов вместо паза пространство заполнено абразивной массой другого состава. Вставки более мягкие и пористые. Это приводит к тому, что отсутствует удар при прохождении кромок разной твердости, а следовательно уменьшаются колебания и высота волны.

**Выводы:**

1. Использование абразивного инструмента с прерыванием процесса резания, для снижения теплонапряженности процесса, может способствовать возникновению высокочастотных колебаний и как результат этого явления – появление волнистости на обрабатываемой поверхности.

2. Но, этим процессом можно управлять за счет эффекта самоперерезания волн.