

М.В. Кучугуров, аспирант
Ю.Н. Внуков, д.т.н., проф.
С.И. Дядя, к.т.н., доц.

Запорожский национальный технический университет

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СДВИГА ФАЗ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ РЕЗАНИЯ Ψ ПРИ ТОЧЕНИИ

Рассмотрены методики экспериментального определения сдвига фаз волн Ψ на поверхности резания при токарной обработке. Представлен способ измерения фазового сдвига волн Ψ на поверхности резания путем анализа совмещенных осциллограмм и вывода режущего инструмента из зоны обработки при точении.

Постановка проблемы. Исследования регенеративных автоколебаний, возникающих при резании металлов, требуют точного определения сдвига фаз волн ψ на поверхности резания после каждого оборота. По мнению ряда исследователей [1, 2, 3], в зависимости от величины данного параметра эффект вторичного возбуждения может приводить как к усилению, так и к ослаблению вибраций.

Изложение основного материала. Определением сдвига фаз ψ занимались, начиная с ранних исследований природы возникновения автоколебаний [4]. При этом использовали метод, основанный на анализе состояния обработанной поверхности и поверхности резания детали. Известно, что при достаточно большом уровне колебаний на обработанной поверхности формируются вибрационные узоры (рис. 1, а, б).

Причиной появления вибрационных узоров при точении является совокупность одновременных перемещений: колебательного движения инструмента или заготовки в горизонтальной плоскости, движения подачи инструмента и вращательного движения детали. При съеме металла главная режущая кромка формирует поверхность резания (профиль которой и определяет регенеративный эффект), а профиль обработанной поверхности детали формируется радиусом при вершине и частью вспомогательной режущей кромки. Волны на обработанной поверхности определяются величиной волн на поверхности резания во время прохождения инструментом данного участка детали. Поэтому считают, что наклон винтовых линий на вибрационном узоре будет соответствовать искомому сдвигу фаз ψ волн на поверхности резания при следующем обороте детали.

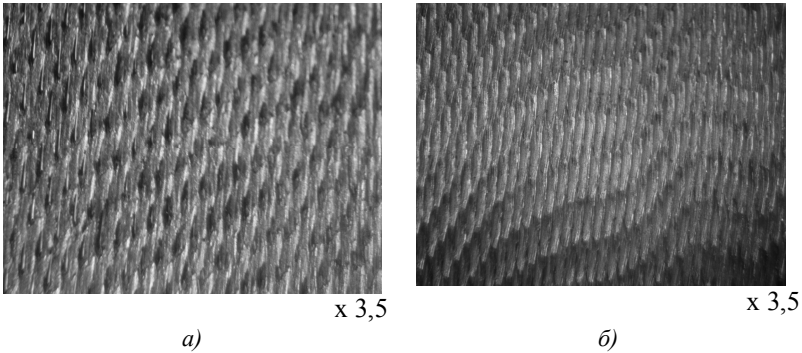


Рис. 1. Види вібраційних узоров на обробаній поверхні при продольному точенні. Умовля обробки: $t = 2$ мм; $S = 0,15$ мм/об.; $D = 105,2$ мм; матеріал деталі – Сталь 45 (HB163); матеріал інструмента – BK8; $\varphi = 90^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,2$ мм: а) $V = 82,6$ м/мин.; б) $V = 132,2$ м/мин.

На рисунку 2 наведена принципіальна схема вимірювання фазового сдвигу ψ в ранніх дослідженнях [3, 4].

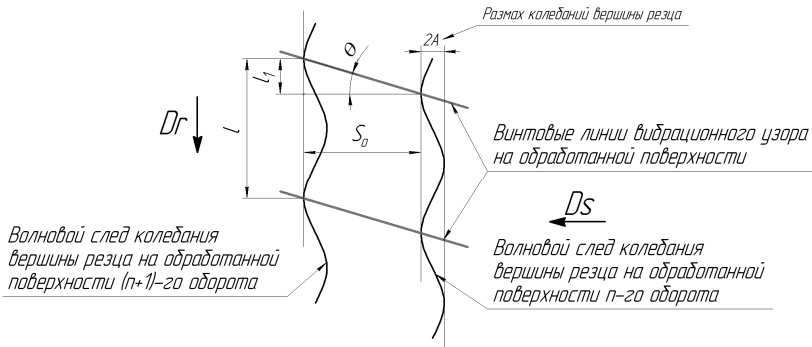


Рис. 2. Схема определения сдвига фаз ψ

Зная угол наклона винтовых линий θ и значение подачи инструмента на оборот S_o , можно определить величину отклонения волны текущего оборота от предыдущего по формуле:

$$l_1 = S_o \cdot \operatorname{tg} \theta \quad [\text{мм}]. \quad (1)$$

Сдвиг фаз при этом определяется отношением длины l_1 к общей длине волны l одного колебания:

$$\psi = 2\pi \cdot \frac{l_1}{l} [\delta\alpha\alpha]. \quad (2)$$

Наклон винтовой линии (рис. 2), считается правозаходным и показывает отставание по фазе текущей волны от предыдущего следа. Если угол наклона винтовой линии θ будет левозаходным, то это показывает опережение по фазе.

При использовании данного способа вычисления фазового сдвига необходимо точно измерить угол наклона винтовых линий θ и длину волны l . Ранее для этой цели пользовались оптическими и микрометрическими приборами, либо замеры делались по фотографиям обработанной поверхности (замер θ) и поверхности резания (замер l). Описанная методика является трудоемкой, при этом не обеспечивается высокая точность измерения, а также метод невозможно применить в случае малых амплитуд колебаний, когда на обработанной поверхности винтовые линии проявляются слабо либо вовсе отсутствуют. Однако главным недостатком этого метода является невозможность использования его в случае, когда угол наклона винтовых линий θ все время меняет свое значение в ходе обработки (рис. 1, б). В данной ситуации необходим другой способ фиксации значения сдвига фаз ψ в течение всего процесса точения. С этой целью авторами статьи предлагается использовать метод совмещенных осциллограмм (рис. 3).

Данный метод вычисления сдвига фаз ψ основан на записи колебаний режущего инструмента в горизонтальном направлении перпендикулярно поверхности резания. При этом, с целью упрощения схемы резания, это направление выбирается вдоль оси X (направление продольной подачи станка), а главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$. В ходе эксперимента записывается осциллограмма колебаний инструмента в указанном направлении, с помощью датчика перемещений. Сигнал с датчика может быть легко преобразован в цифровой вид и сохранен на персональной ЭВМ. В дальнейшем записанный сигнал разбивают на статическую Px и динамическую ΔPx составляющие силы резания, выраженных в перемещениях (рис. 3, а). Далее производится выделение (рис. 3, б) и разбивка (рис. 3, в) динамической составляющей перемещений на равные фрагменты, величина которых равна периоду одного оборота детали $\tau_{рез}$. Затем, накладывая два фрагмента, соответствующих двум последовательным оборотам (рис. 3, г), определяется временной сдвиг ΔT_i и период колебаний одной волны T_i , по которым вычисляется фазовый сдвиг волн на поверхности резания:

$$\psi = 2\pi \cdot \frac{\Delta T}{T} [\text{рад}]. \quad (3)$$

Вычисление параметра ψ проводят для каждой следующей волны в течение большого числа оборотов (более 50). Такой подход позволяет вычислять величину сдвига фаз ψ с высокой точностью. При этом многократное использование сохраненной осциллограммы дает возможность производить замеры в любой момент времени проведенного эксперимента, начиная с момента врезания резца в деталь и заканчивая выводом его из зоны обработки.

Таким образом, метод совмещенных осциллограмм позволяет достаточно точно определить величину фазового сдвига волн на поверхности резания ψ при точении на любом обороте.

Однако при изучении сложных физических процессов часто возникает необходимость обеспечения наглядности предмета исследования. С этой целью авторами статьи разработан метод определения сдвига фаз ψ по профилю поверхности резания (рис. 4) на соседних оборотах путем быстрого вывода резца из зоны обработки.

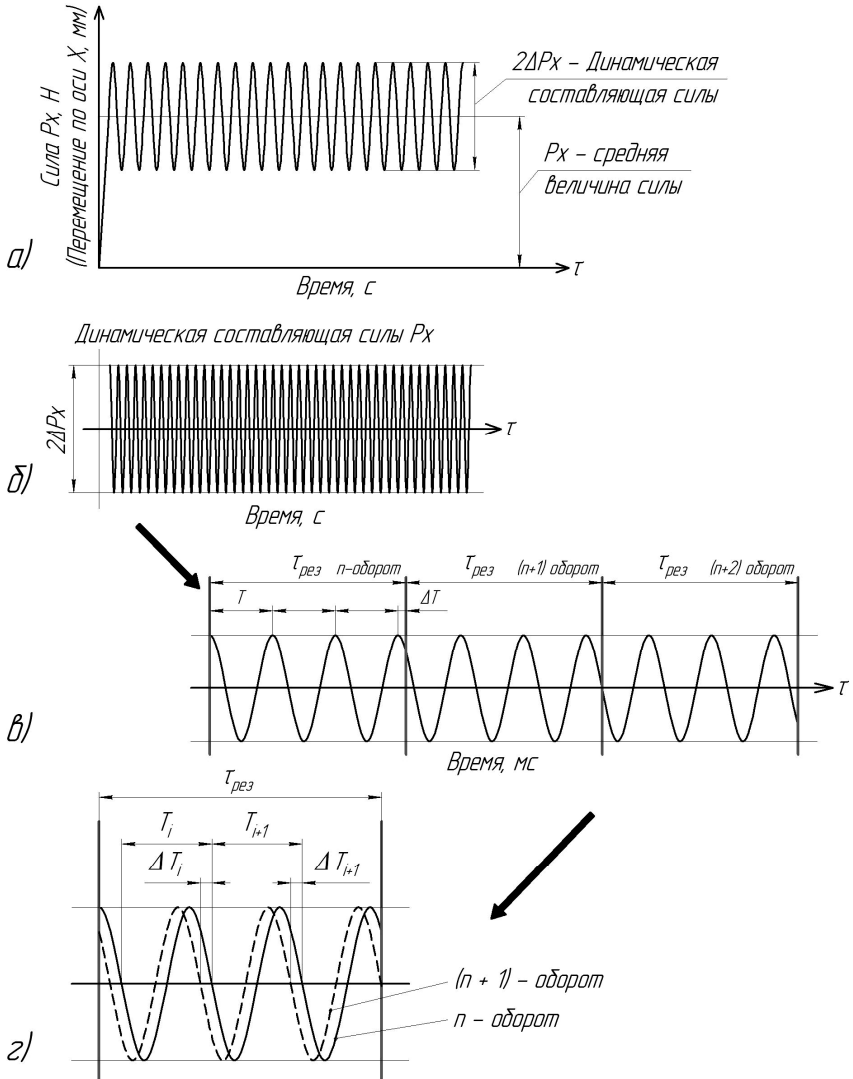


Рис. 3. Определение сдвига фаз регенеративных колебаний ψ методом совмещенных осциллограмм: а) общий вид осциллограммы колебаний; б) выделение динамической составляющей силы P_x ; в) разбиение осциллограммы динамических колебаний на отдельные обороты; г) наложение осциллограмм соседних оборотов

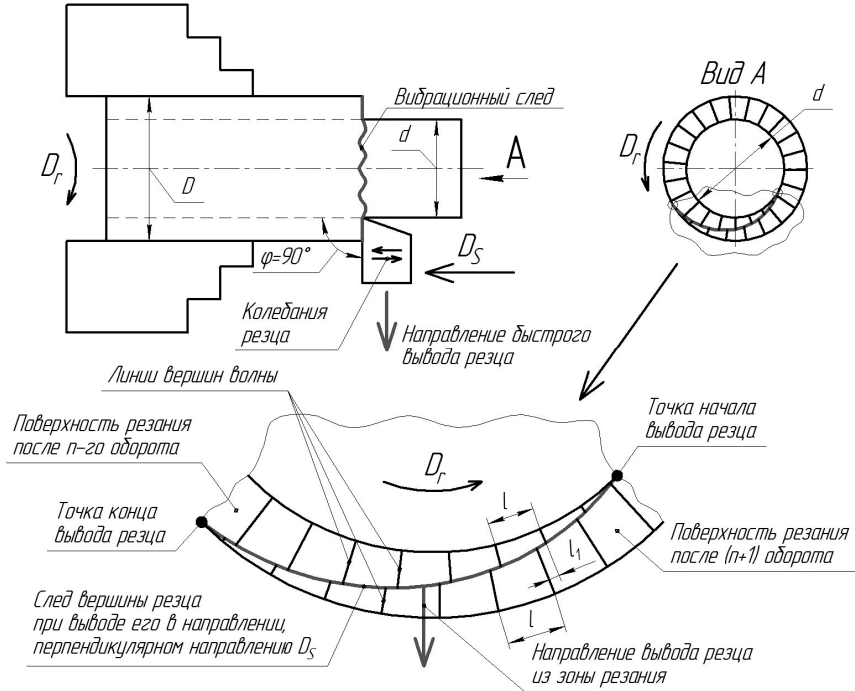
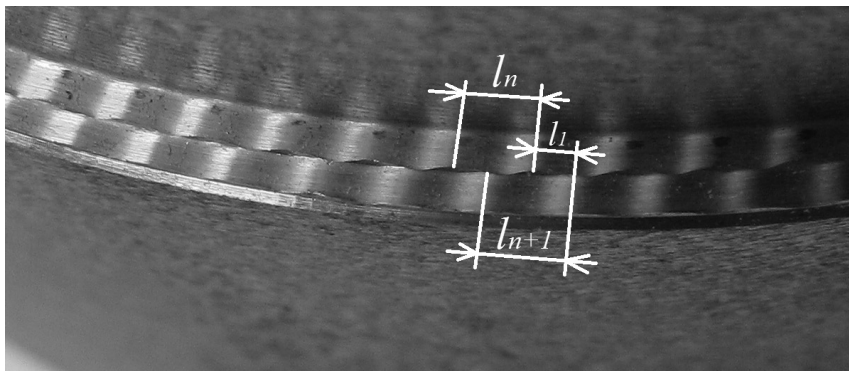


Рис. 4. Схема определения сдвига фаз ψ путем быстрого вывода режущего инструмента из зоны обработки

При продольном точении резцом с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$ главная режущая кромка формирует поверхность резания в виде плоской винтовой спирали, на которой имеются волны, полученные в результате ее колебательного движения в направлении, перпендикулярном к поверхности резания. Если инструмент резко вывести из зоны обработки в направлении, перпендикулярном движению подачи D_s (параллельно главной режущей кромке), не останавливая вращения заготовки и движения суппорта, то можно видеть волны на поверхности резания после n -го и $(n + 1)$ -го оборотов заготовки. На рисунке 5 приведена фотография поверхности резания двух последовательных оборотов заготовки, полученная в косом освещении при быстром выводе резца из зоны резания. На фотографии хорошо видна величина смещения волн l_1 .



х 7

Рис. 5. Фотография поверхности резания от предыдущего и текущего оборотов заготовки при $t = 2$ мм; $S = 0,15$ мм/об.; $V = 132,2$ м/мин.;
 $D = 105,2$ мм; материал детали – Сталь 45 (HB163);
 материал инструмента – BK8; $\varphi = 90^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 10^\circ$;
 $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,2$ мм

Не смотря на простоту данного метода, его наглядность является чрезвычайно важным условием понимания процессов волнообразования на соседних оборотах заготовки.

Вывод. Таким образом, описанные в данной статье методы определения сдвига фаз ψ позволяют получить большой объем информации об объекте исследования. Зная точное значение величины ψ в каждый момент времени проводимого эксперимента, появляется возможность полноценного анализа явлений регенерации автоколебаний при различных условиях обработки.

Список использованной литературы:

1. *Свинин В.М.* Фрезерование с модулированной скоростью резания / *В.М. Свинин* ; под. ред. *А.И. Промтова.* – Иркутск : Изд-во ИрТТУ, 2007. – 304 с.
2. *Соколовский А.П.* Научные основы технологии машиностроения / *А.П. Соколовский.* – М. : Машгиз, 1955. – 514 с.
3. *Ильницкий И.И.* Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения / *И.И. Ильницкий.* – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1958. – 142 с.

4. *Каширин А.И.* Исследование вибраций при резании / *А.И. Каширин.* – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1944. –262 с.

КУЧУГУРОВ Марк Валерьевич – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Запорожского национального технического университета.

Научные интересы:

- обработка металлов резанием;
- вибрации при механической обработке;
- токарная обработка;
- моделирование процессов механической обработки.

ВНУКОВ Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Запорожского национального технического университета.

Научные интересы:

- обработка металлов резанием.

ДЯДЯ Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Запорожского национального технического университета.

Научные интересы:

- обработка металлов резанием;
- управление точностью обработки на металлорежущих станках;
- вибрации при механической обработке.

Статья поступила в редакцию 30.09.2013

