

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

С. Л. Леонов, М. К. Витвинов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

В соответствии с принципом технологического наследования рассмотрим операцию фрезерования, как технологическую систему

преобразующую волнистость заготовки ($A_{i \text{ заг}}$) в волнистость детали ($A_{i \text{ дет}}$) (рисунок 1).

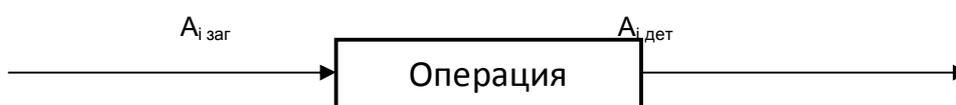


Рисунок 1 – Система для преобразования волнистости заготовки в волнистость детали

При рассмотрении такой системы, необходимо учитывать и тот факт, что сам процесс фрезерования также влияет на волнистость детали, независимо от исходной волнистости заготовки (рисунок 2), это подтверждается и тем, что даже при отсутствии неровностей поверхности заготовки, на детали присутствует волнистый профиль (рисунок 3)

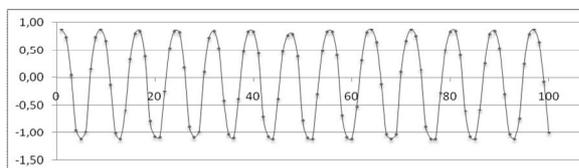


Рисунок 2 – Профиль поверхности заготовки

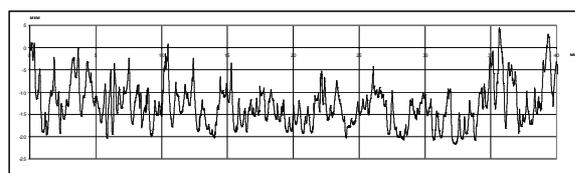


Рисунок 3 – Профиль поверхности детали

Обычно считается, что данная составляющая имеет аддитивный характер, то есть

$$A_{i \text{ дет}} = W(s) \cdot A_{i \text{ заг}} + A_{i \text{ соб}}, \quad (1)$$

где $W(s)$ – передаточная функция операции;

$A_{i \text{ соб}}$ – составляющая волнистости, вносимая самим процессом фрезерования.

$A_{i \text{ соб}}$ определяется совокупным влиянием нескольких факторов, таких как геометрические погрешности инструмента, погрешностями его базирования на станке, вибрация-

ми от приводов и т.д.

Гипотеза об аддитивном влиянии собственной составляющей волнистости (1) не всегда подтверждается на практике. Ряд проведенных экспериментов показали, что колебания на этих частотах могут не только усиливать, но и ослаблять амплитуду волнистости, то есть искажать вид передаточной функции $W(s)$ технологической операции. Поэтому при построении действительной передаточной функции технологической системы, предлагается исключать составляющую волнистости, вносимую самим процессом фрезерования, применяя следующую методику:

1. Производится обработка заготовки с гладкой поверхностью;
2. Выполняются измерения параметров профиля поверхности обработанной заготовки;
3. Осуществляется разложения полученного профиля в ряд Фурье;
4. Выявляются гармоники с наибольшими амплитудами;
5. При построении передаточной функции $W(s)$ технологической операции, частотные гармоники, вносимые самим процессом фрезерования, исключаются из рассмотрения.

Рассмотрим операцию фрезерования наружной поверхности заготовки, выполненной в виде бруска 120 x 20 x 20 мм из материала сталь 40 в состоянии поставки. Обработка производится на горизонтально-фрезерном станке модели 6М83, при кон-

сольном закреплении режущего инструмента, в качестве которого используется фреза дисковая 100x10 Н9 Р6М5. Режимы резания $s = 25$ мм/мин; $n = 80$ об/мин; $t = 1,01$ мм.

Для получения передаточной функции $W(s)$ рассматриваемого примера необходимо

произвести обработку заготовки с пазами, вызывающими возникновение собственных колебаний в технологической системе. Внешний вид заготовки, профиль поверхности и его геометрические параметры представлены на рисунке 4.

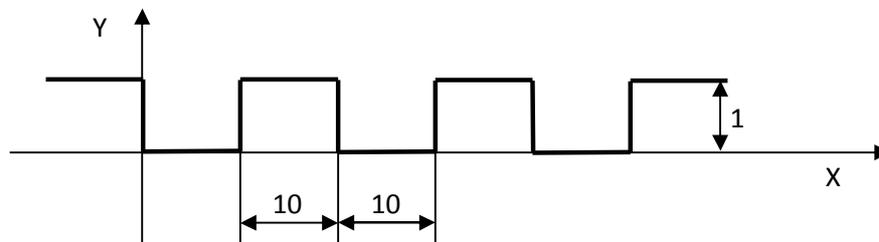


Рисунок 4 – Профиль заготовки

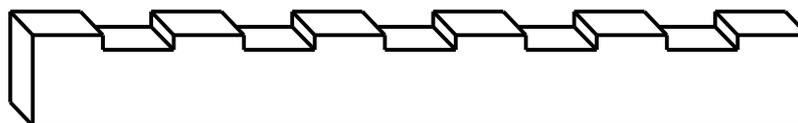


Рисунок 5 – Внешний вид заготовки

Обработка заготовки с исходным профилем производится в соответствии с заданными режимами резания на выбранном оборудовании. Профиль обработанной поверхности полученной детали фиксируется с помощью автоматизированной системы определения шероховатости и волнистости, далее производится его гармонический анализ, разложение исходного профиля в ряд Фурье.

Далее производится расчет и построение

амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) операции, из которой согласно предложенной методике, частоты вносимые самим процессом фрезерования исключаются из рассмотрения (рисунок 6). Для определения вида передаточной функции операции $W(s)$, рассчитывается логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) представленная на рисунок 7.

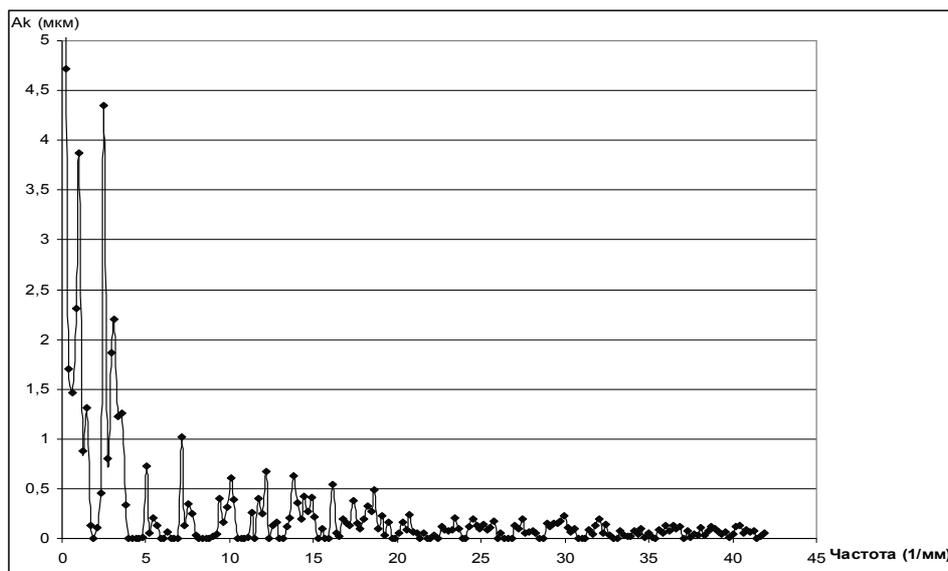


Рисунок 6 –Спектр профиля детали для заготовки с пазами

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

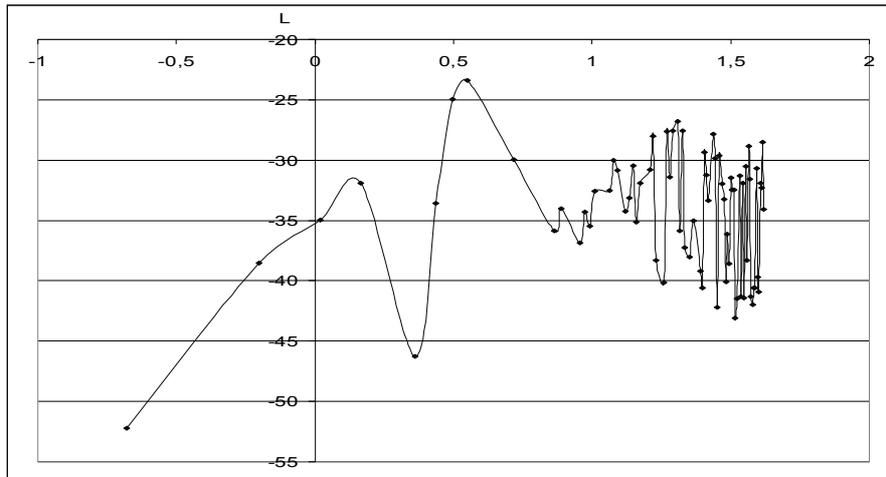


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика операции

Вид графика на рисунок 7 позволяет предположить, что передаточная функция операции имеет вид:

$$W(s) = \frac{k(T_3^2 s^2 + 2e_3 T_3 s + 1)(T_4^2 s^2 + 2e_4 T_4 s + 1)}{(T_1^2 s^2 + 2e_1 T_1 s + 1)(T_2^2 s^2 + 2e_2 T_2 s + 1)} \quad (2)$$

Это объясняется тем, что две резонансные частоты, находящиеся в низко частотной зоне ЛАЧХ соответствуют последовательно соединенным колебательным звеньям

$$\begin{aligned} W_1(s) &= \frac{k}{T_1^2 s^2 + 2e_1 T_1 s + 1} \\ W_2(s) &= \frac{1}{T_2^2 s^2 + 2e_2 T_2 s + 1} \end{aligned} \quad (3)$$

При $\omega \rightarrow \infty$ ЛАЧХ стремится к постоянному значению, что соответствует двум фор-

сирующим звеньям второго порядка, последовательно соединенным с колебательными:

$$\begin{aligned} W_3(s) &= T_3^2 s^2 + 2e_3 T_3 s + 1 \\ W_4(s) &= T_4^2 s^2 + 2e_4 T_4 s + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

На рисунке 8 приведена структурная схема математической модели технологической операции.

Для колебательных звеньев АЧХ имеет вид:

$$\begin{aligned} A_1(\omega) &= \frac{k}{\sqrt{(1 - T_1^2 \omega^2)^2 + 4T_1^2 e_1^2 \omega^2}} \\ A_2(\omega) &= \frac{1}{\sqrt{(1 - T_2^2 \omega^2)^2 + 4T_2^2 e_2^2 \omega^2}} \end{aligned} \quad (5)$$



Рисунок 8 – Структура математической модели операции

Для форсирующих звеньев

$$\begin{aligned} A_3(\omega) &= \sqrt{(1 - T_3^2 \omega^2)^2 + 4T_3^2 e_3^2 \omega^2} \\ A_4(\omega) &= \sqrt{(1 - T_4^2 \omega^2)^2 + 4T_4^2 e_4^2 \omega^2} \end{aligned} \quad (6)$$

При последовательном соединении звеньев АЧХ всей системы рассчитывается как произведение АЧХ составляющих звеньев:

$$A_0 = A_1 A_2 A_3 A_4 \quad (7)$$

При этом ЛАЧХ определяется суммой

$$L_0 = \sum_{i=1}^4 L_i = \sum_{i=1}^4 20 \lg A_i \quad (8)$$

Коэффициенты передаточных функций ($k, T_1, T_2, T_3, T_4, e_1, e_2, e_3, e_4$) рассчитываются

по методу наименьших квадратов (МНК), минимизируя сумму квадратов отклонений экспериментально полученной ЛАЧХ и ЛАЧХ, рассчитанной по выражениям (5)-(8). Первоначальную оценку коэффициентов можно производить последовательно с дальнейшим уточнением их по МНК.

Предположим, что $20 \lg k = -50$, тогда $k = 10^{-2.5} = 0,003$. Первая резонансная частота в соответствии с графиком рис. 7 соответствует $\lg \omega_1 = 0,28$. Тогда $\omega_1 = 1,9$ 1/мм, $T_1 = 1/\omega_1 = 0,52$ мм. Для получения максимума на ЛАЧХ $e_1 < 1$. В дальнейшем значения k, T_1 и e_1 будет уточняться. Аналогично рассчитываем

параметры 2-го колебательного звена: $lg \omega_2 = 0,5$, тогда $\omega_2 = 3,2$ 1/мм, $T_2 = 1/\omega_2 = 0,3$ мм, $e_2 < 1$.

Первое форсирующее звено формирует минимум на ЛАЧХ. Поэтому $lg \omega_3 = 0,36$, $\omega_3 = 2,3$ 1/мм, $T_3 = 1/\omega_3 = 0,43$ мм, $e_3 < 1$. Второе форсирующее звено корректирует общий вид ЛАЧХ и гарантирует горизонтальный участок при $\omega \rightarrow \infty$. Его параметры определяются в соответствии с МНК. В таблице 1 приведены

начальные значения параметров звеньев и их окончательные значения после уточнения по МНК. На рис. 9 показано сравнение экспериментальной и расчетной ЛАЧХ. Кривые практически совпадают на низких частотах, соответствующих волнистости обработанной поверхности. Отклонения в высокочастотной части ($\omega > 10$ 1/мм) вызваны случайными составляющими шероховатости поверхности.

Таблица 1 – Значения коэффициентов передаточной функции

	k	T₁	e₁	T₂	e₂	T₃	e₃	T₄	e₄
Начальные	0,003	0,52	0,5	0,3	0,5	0,43	0,5	1	1
Уточненные	0,000547	0,5211	0,2404	0,3033	0,1651	0,4174	0,0093	1,9959	6,737

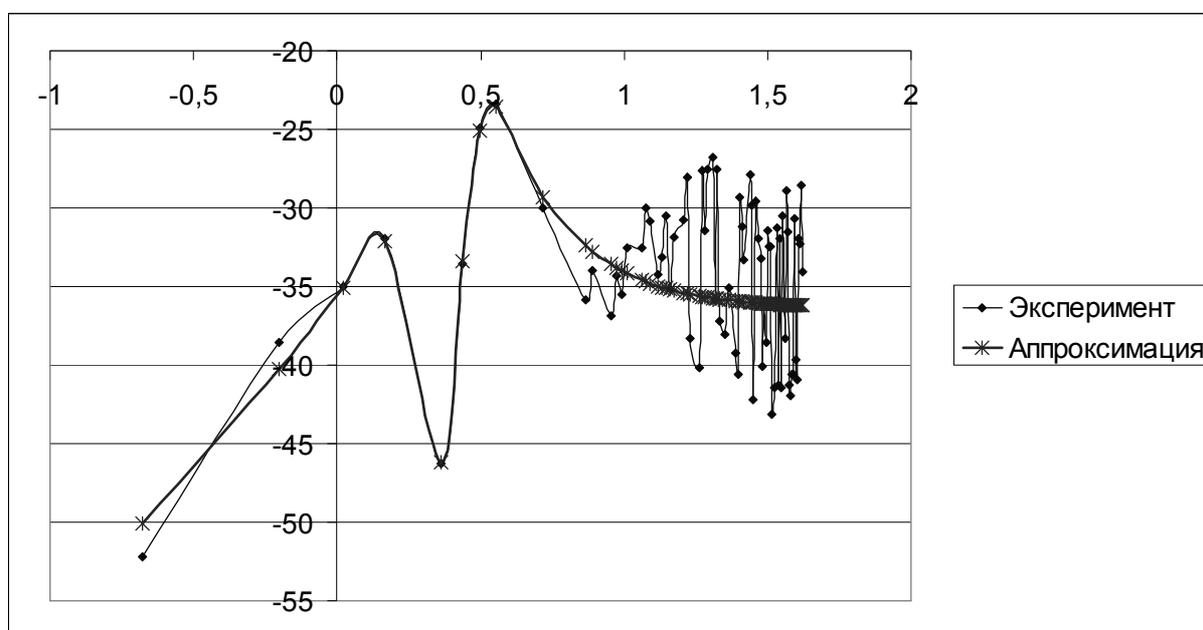


Рисунок 9 – Сравнение экспериментальной ЛАЧХ и ее аппроксимации

Предлагаемая методика позволяет получать передаточную функцию $W(s)$ достаточно точно описывающая технологическую операцию, давая при этом возможность анализировать влияние и управлять такими параметрами, как режимы резания, с целью снижения волнистости обработанной поверхности.

Список литературы:

1. Леонов С.Л. Основа создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С.Л. Леонов, А.Т. Зиновьев // Алт.гос.техн.ун-т им.И.И.Ползунова. – Барнаул:Изд-во АлтГТУ, 2006. -198 с.
2. Леонов С.Л. Использование принципа технологического наследования для идентификации операции механической обработки / С.Л. Леонов, М.К. Витвинов // Ползуновский вестник – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1/1-2012. – 321-323 с.