

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОФИЛЬНОГО МЕТОДА

Введение

Определение геометрических параметров качества поверхности с применением профильного метода в соответствии с ДСТУ ISO 4287-2002 [1] предусматривает разделение основного профиля на профиль шероховатости и профиль волнистости с использованием профильных фильтров (например, фильтра Гаусса) с длиной волны отсечки равной длине базовой линии. Такой подход позволяет выделить профиль шероховатости и получить оценки его геометрических параметров, но является достаточно условным, поскольку как физической, так и теоретически обусловленной границы между шероховатостью и волнистостью, определяемой на основе базовой длины, не существует [2, стр. 97; 3, стр. 9], что приводит к тому, что в полученном профиле шероховатости будет содержаться значительная доля профиля волнистости.

В статье [4] показано, что оценку геометрических параметров как шероховатости, так и волнистости для образцов 2–9-го классов чистоты поверхности, необходимо производить на длине не менее 10 мм и отказаться от понятия базовая длина, но ввести новое определение – минимально достаточная длина измерения.

Кроме того, существующие стандарты ISO [5, 6] предполагают следующий порядок преобразования общего профиля (total profile):

преобразование общего профиля в основной профиль (подавление минимальной длины волны, которую можно считать цифровым шумом измерителя и преобразователя сигнала);

выделение профиля волнистости (из основного);

получение профиля шероховатости вычитанием из основного профиля – профиля волнистости.

Причем, в [1] описывается получение профиля шероховатости с применением профильного фильтра шероховатости. Величину длины волны отсечки λ_c берут равной базовой длине. Получение профиля волнистости дается с примечанием, что такая методика отсутствует, и ссылкой на основополагающие стандарты [5, 6], в которых этот вопрос считается в настоящее время неразработанным, а получение профиля формы вообще не рассматривается, хотя понятие профильного фильтра λ_f – фильтра наибольшей длины волны существует, т. е. методика получения профиля шероховатости предусмотренная основополагающими стандартами фактически не выполняется.

В то же время основным преимуществом профильного метода является возможность получения геометрических оценок всех профилей (формы, волнистости и шероховатости) по результатам обработки одного трассирования выбранного участка изучаемой поверхности. Но методика, изложенная в существующих стандартах, не позволяет это выполнить.

Основная проблема этих стандартов – использование устаревшего понятия базовой длины. Вторая проблема – отсутствие четкого определения волнистости и профиля формы, как различного рода макрогеометрических отклонений.

Целью статьи является развитие методики профильного метода оценки геометрических параметров качества поверхности всех видов профилей: шероховатости, волнистости, формы

Обработка образцов, выполненных из стали Ст.3 с размерами 50×20×4 мм, проводилась фрезерованием цилиндрической поверхностью концевой фрезы на экспериментальном стенде подробно описанным в [4, 7].

Конструкция стенда (см. рис. 1) позволяет воспроизводить условия фрезерования деталей как жестких, так и маложестких конструкций.

Профилограммы поверхности обработанного образца записывались на профилографе-профилометре Калибр-170311 при скорости трассирования 6 мм/мин на всей длине образца. с использованием АЦП мод. Е-140.

Преобразование трассированного профиля и определение параметров качества поверхностного слоя выполнено с использованием программного обеспечения, разработанного на кафедре ТМС ЗНТУ.

Профилограммы основного профиля, профиля шероховатости и волнистости выполнялись с использованием фильтра Гаусса [8], а профиля отклонения формы с использованием вейвлет-преобразования [9]. Оценка геометрических параметров качества поверхности проводилась в центральной части образца на длине 30–32 мм.

Теория и анализ полученных результатов

С учетом выводов, сделанных выше, представлена методика комплексного исследования геометрических параметров качества поверхностного слоя, разработанная на кафедре «Технологий машиностроения» ЗНТУ.

Исследование качества поверхности образцов проводится в следующей последовательности:

1. Установка образца под шупом прибора.
2. Запись трассированного профиля на всей длине образца.

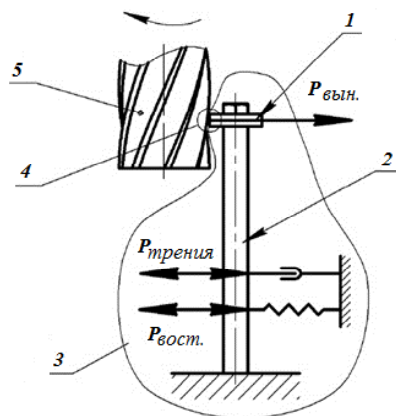


Рис. 1. Схема стэнда для вивчення процесу фрезерування деталей з різною жорсткістю: 1 – оброблюваний образец; 2 – пружна пластина; 3 – пружна система деталь – приспособление; 4 – зона різання; 5 – кінцева фреза

3. Визначення коефіцієнта посилення:

- а) запис трасированного профіля поверхні тестового образца з заданим перепадом висот неровностей,
- б) вичислення коефіцієнта посилення

$$k_y = \frac{h}{e},$$

де h – перепад висот на тестовому образці; e – величина сигналу в мВ.

4. Формування основного профіля досліджуваної поверхні.

На трасированному профілі виведеним на екран комп'ютера позначаються межі досліджуваного участка, які позначаються таким чином, щоб видалити зону початку руху шпала з образца або закінчення його руху (рис. 2).

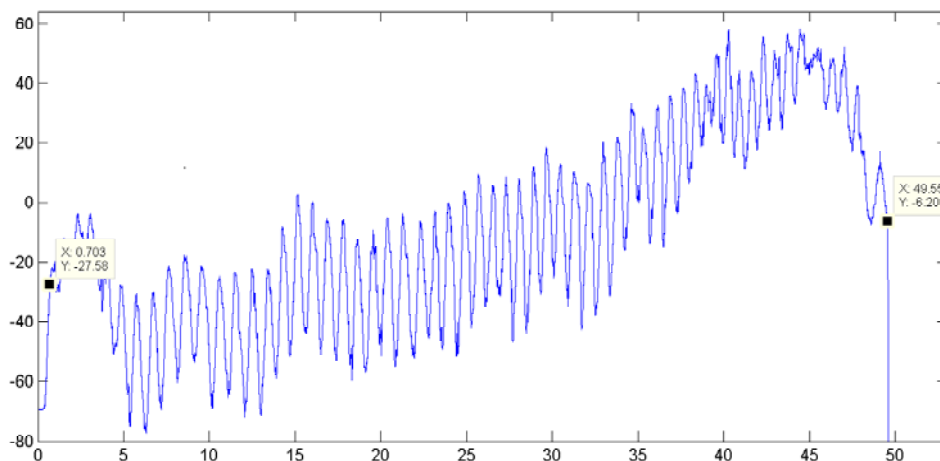


Рис. 2. Визначення меж профілограми

На екран виводиться профілограма основного профіля, отримана з використанням профільного фільтра ($\lambda S = 0,0025$ мм), в прийнятних межах (см. рис. 3).

5. Визначення величини та положення «довжини оцінювання», межі якої повинні:

- а) видалити участки «входу», «виходу» фрези,
- б) виключити «краєвий ефект» використовуваного фільтра.

При цьому довжина оцінювання повинна бути не менше мінімально необхідної довжини, рівної 8–10 мм, причому, найбільшим переваженням володіють максимально можливі значення з інтервала 20–30 мм [4].

В результаті формується «основний» профіль на довжині оцінювання, (см. рис. 4) і вичисляються його числові оцінки (P_a , P_c , P_t , P_{Sm} ...).

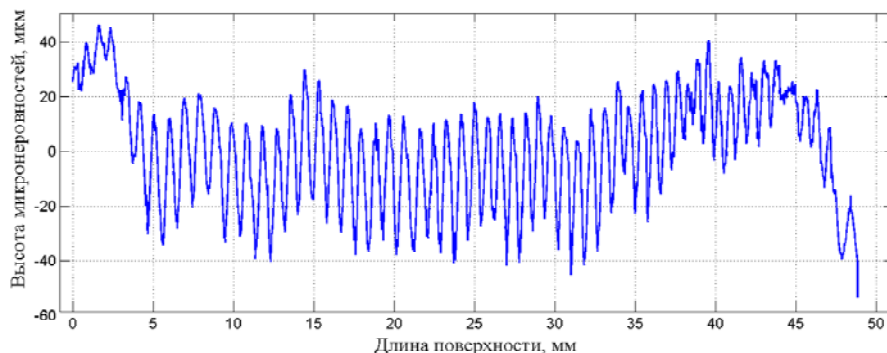


Рис. 3. Профилограмма основного профиля образца

6. Получение профиля формы.

Из основного профиля исследуемой поверхности (см. рис. 4), выделяется профиль формы, представляющий собой колебательную форму с максимальной длиной волны, которую возможно выделить из основного профиля, с шагом сравнимым по своей величине с размером длины оценивания. Он может быть получен с использованием фильтра Гаусса, вейвлет-преобразования либо других фильтров в соответствии с ISO 16610 (см. рис. 5).

При использовании вейвлет-преобразования применяются вейвлеты Добеши (db9 и db10, в степени $N = 15-17$). Выделение профиля формы производится в 4 этапа:

1.1. Производится вейвлет-преобразование основного профиля на участке исследования (рис. 3) с применением db9 и $N = 15-17$, а также db10 и $N = 15-17$.

Профилограммы для db9 и db10 с полученными оценками геометрических параметров выводятся на экран (см. рис. 6).

1.2. Производится визуальная оценка. В результате для дальнейшей проработки удаляются профилограммы, у которых профиль формы существенно выходит за границы основного профиля или профиль формы представляет колебательную форму с явно не максимальной длиной волны.

1.3. Выбор варианта профиля формы по математическим оценкам геометрических параметров.

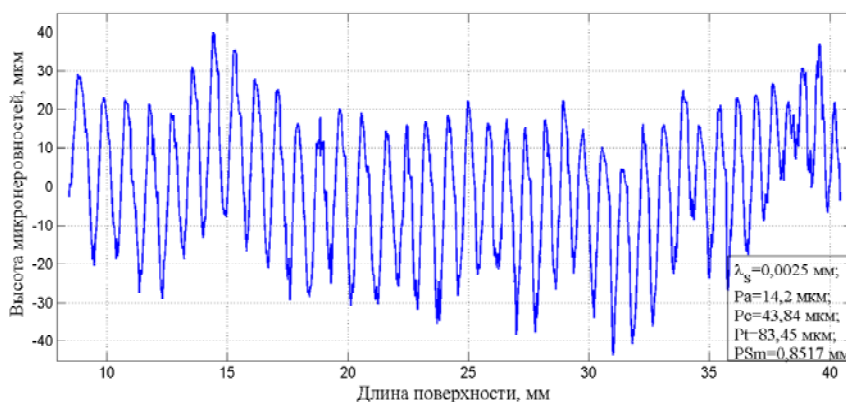


Рис. 4. Основной профиль на длине оценивания

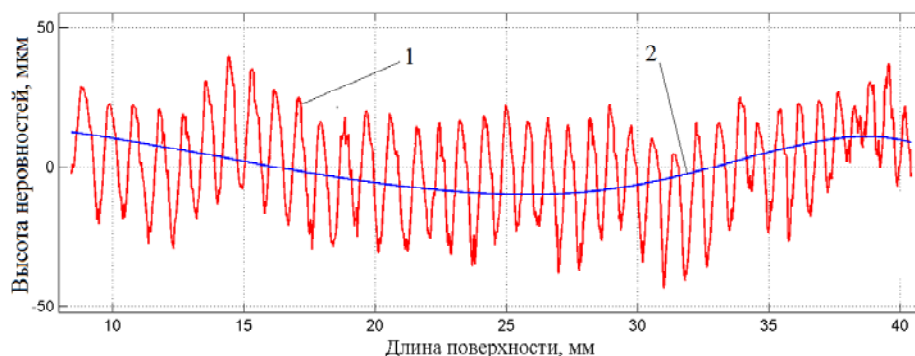


Рис. 5. Профиль формы: 1 – основной профиль, 2 – профиль формы

Для каждого профиля формы определяются оценки геометрических параметров: длина волны – F_{Sm} , максимальная высота неровностей – F_t , средняя высота неровностей – F_c . Рассчитывается средняя высота неровностей 1-го остаточного профиля $(W+R)_c$ и сумма средних высот профиля формы и 1-го остаточного профиля $F_c + (W+R)_c = \Sigma c$.

Получение 1-го остаточного профиля математически можно представить так:

| 1-й остаточный профиль | = | Основной профиль | – | Профиль формы |

Сумма средних высот (Σc) является оценкой степени информативности профиля формы и 1-го остаточного профиля. При рассмотрении двух или нескольких профилей предпочтение отдается тому, у которого степень информативности выше, т. е. этот профиль несет больше информации в количественной оценке. При этом надо учитывать, что профили формы на большей части своей длины должны располагаться внутри основного профиля. Из представленных профилограмм (рис. 6) по степени информативности можно выбрать 2-й вариант, у которого этот параметр является максимальным и равен 162,4 мм.

1.4. Окончательный выбор профиля формы.

На этом этапе производится сравнение ближайших по степени информативности двух или нескольких вариантов преобразования. Ввиду математических особенностей вейвлет-преобразований выбранный профиль формы на отдельных участках, может располагаться не лучшим образом. В этом случае за окончательный может быть принят ближайший вариант, у которого степень информативности меньше, но не более чем на 10 %, при этом расположение профиля формы выглядит существенно лучше. В ходе окончательного выбора учитываются и другие оценки такие, как длина волны (F_{Sm}), соотношение длины волны и средней высот профиля (F_{Sm}/F_c) и пр.

7. Получение профиля волнистости и шероховатости.

Волнистость рассматривается как макронеровность, занимающая промежуточное положение между профилем формы и профилем шероховатости, формируемая средневолновыми колебательными формами системы СПИД либо формой инструмента. В редких случаях волнистость носит периодический характер, т. е. ее вид похож на синусоиду. Обычно волнистость имеет случайный характер, что связано с постоянным изменением сочетания значительного количества колебательных форм, результат суммирования которых формирует профиль волнистости в каждый момент обработки иначе, чем в предыдущий.

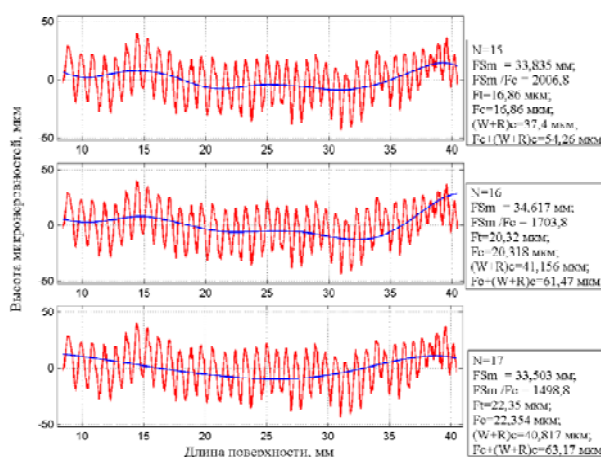


Рис. 6. Основной профиль и профиль формы полученный с помощью вейвлет Добеши db9 с степенями N 15–17

Профиль волнистости формируется из 1-го остаточного профиля с использованием фильтра Гаусса.

Профиль волнистости, как и остальные профили, является уникальной характеристикой исследуемой поверхности и требует для максимально полного выделения индивидуального определения значения длины волны отсечки (λ_w) для каждой исследуемой поверхности. В настоящее время при наличии соответствующего математического аппарата и программного обеспечения эту задачу может выполнить компьютер.

Длина волны отсечки выбирается такой, чтобы при ее минимальном значении полученный профиль волнистости отвечал ряду условий:

- отношение шага волнистости (W_{Sm}) к средней высоте ее элементов (W_c) должно быть не менее 10 – $W_{Sm}/W_c \geq 10$;
- максимальная высота профиля волнистости (W_t) должна быть не менее 10 % максимальной высоты профиля шероховатости (R_t) – $W_t \geq 0,1R_t$.

Работа фильтра Гаусса, как и ряда других, связана с тем, что некоторая часть выделяемой волны остается в остаточном профиле, в нашем случае в профиле шероховатости. Такую волну, заложенную в профиль шероховатости в результате применения выбранного фильтра, можно определить как остаточную волнистость. Параметры остаточной волнистости также должны отвечать следующим критериям:

- отношение шага остаточной волнистости (W_{Sm2}) к средней высоте ее элементов (W_c2) должно быть не менее 10 – ($W_{Sm2}/W_c2 \geq 10$);

- максимальная высота профиля остаточной волнистости (W_t2) должна быть не менее 10 % максимальной высоты профиля шероховатости (R_t2) – $W_t2 \geq 0,1R_t2$;

- средняя высота элементов профиля остаточной волнистости (W_c2) должна быть не менее 10–20 % средней высоты элементов профиля волнистости основного профиля (W_c) – $W_c2/W_c \geq 0,10 - 0,2$.

Обработка более 200 образцов показала, что последнее условие является определяющим. Для поверхностей имеющих не периодическую волнистость уровень W_c2/W_c можно увеличить до 20 % для того, чтобы профиль волнистости содержал минимальное количество других колебательных форм. Для периодической волнистости величину W_c2/W_c можно уменьшить до 10 % (см. рис. 7). В этом случае из профиля шероховатости будет максимально удалена волнистость.

Нахождение необходимого значения длины волны отсечки осуществляется методом последовательного перебора профилей волнистости при последовательно возрастающих значениях λ_w от 0,1 до 8 с последующим его уточнением до второго знака после запятой. Для каждого полученного профиля вычисляются значения изложенных выше условий. За окончательное принимается последнее значение λ_w минус 0,01 (предпоследний профиль), то есть значение длины волны отсечки, при котором, волнистость основного профиля сформирована, а волнистость, остающаяся в профиле шероховатости, находится за шаг до выявления.

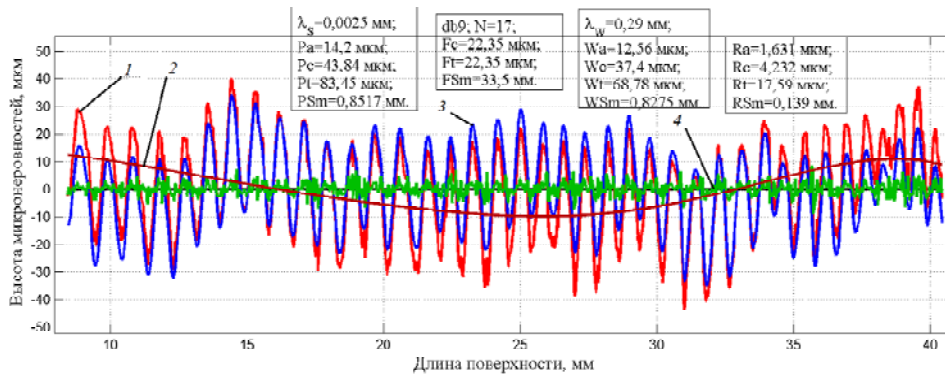


Рис. 7. Профилограммы и параметры профиля образца: 1 – основной профиль; 2 – профиль формы; 3 – профиль волнистости; 4 – профиль шероховатости

В ходе проведенных исследований установлено, что в подавляющем большинстве случаев величина λ_w находится в интервале 0,2–2,7.

Остаточный профиль, полученный после выделения из основного профиля – профилей отклонения формы и волнистости является профилем шероховатости.

Таким образом, сформированы все необходимые профили:

- основной профиль, - профиль отклонения формы, - профиль волнистости, - профиль шероховатости.

По каждому профилю вычисляются необходимые числовые оценки геометрических показателей качества поверхности профилей формы (F_t , F_{Sm} ...) волнистости (W_a , W_c , W_t , W_{Sm} ...) и шероховатости (R_a , R_c , R_t , R_{Sm} ...) и др.

1. Представление полученных профилограмм.

На экран выводится профилограммы основного профиля, профиля формы, профиля волнистости и шероховатости (см. рис. 7) и их оценки, представленные отдельными аннотациями.

Возможность разложить основной профиль на его составляющие позволяет изучить влияние каждого из них на различные эксплуатационные характеристики. Например, влияние опорной длины каждого вида неровностей на износостойкость, используя график относительных опорных длин всех профилей (рис. 8).

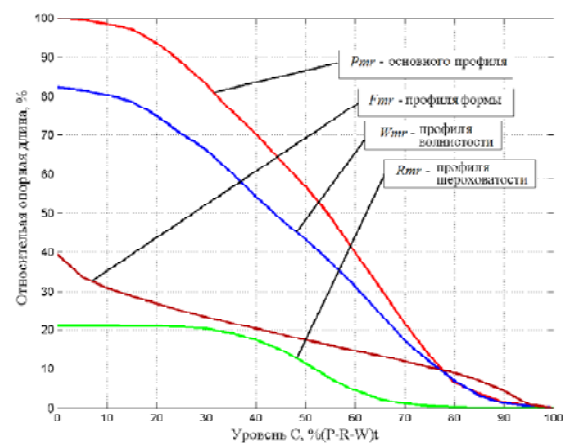


Рис. 8. Относительные опорные длины профилей

Выводы

Разработанная методика позволит выделить из трассированного профиля все виды профилей предусмотренных ДСТУ ISO 4287:2001 и получить числовые оценки их геометрических параметров.

Получена возможность оценки влияния каждого вида неровностей на эксплуатационные характеристики исследуемой поверхности.

Список литературы

1. Технические требования к геометрии изделий (GPS). Структура поверхности. Термины, определения и параметры структуры поверхности (ISO 4287:1997, IDT) : ДСТУ ISO 4287:2002. – [Действительный с 2003-10-01]. – К. : Держстандарт Украины. 2004. – 16 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / [ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова] : Том 1 – 4-е изд. перераб. т доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 656 с.
3. Дунин-Барковский И. В. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / Дунин-Барковский И. В., Карташова А. Н. – М. : Машиностроение, 1978. – 232 с.
4. Каморкин П. А. Выбор длины оценивания при измерении параметров качества поверхности с использованием профильного метода / П. А. Каморкин // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2014. – № 2. – С. 45–51.
5. Технічні вимоги до поверхні виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Номінальні характеристики контактних (щупових) приладів (ISO 3274:1996)) : ДСТУ ISO 3274-2002. – [Действительный с 2003-10-01]. – К. : Держстандарт Украины. 2003. – 12 с.
6. Geometrical Product Specification (GPS). Surface texture. Profile method. Metrological characteristics of phase correct filters : ISO 11562:1996. – published on. 1996-05-12 1996.
7. Внуков Ю. Н. Стенд для изучения механических колебаний при фрезеровании маложестких деталей при концевом фрезеровании / Ю. Н. Внуков, В. А. Логоминов, П. А. Каморкин // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн. техн. сб. – 2011. – Вып. 80. – Харьков : НТУ «ХПИ». – С. 32–37.
8. Каморкин П. А. Применение фильтра Гаусса для определения геометрических параметров качества поверхности профильным методом / П. А. Каморкин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – 2013. – Вып. 1(10). – Донецьк : ДВНЗ ДНТУ. – С. 108–115.
9. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев – М. : ДМК Пресс. 2005, – 304 с., ил.

Одержано 12.05.2015

© **Канд. техн. наук П.А. Каморкин**

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

Kamorkin P. Development of method of determination of geometrical parameters of surface quality using with profile method
