



**ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ:
ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА**

Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції

07–11 вересня 2020 р., м. Одеса



ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Соломахо В.Л., Цитович Б.В.

Современные серийно выпускаемые изделия машиностроения и приборостроения часто имеют сходные конструктивные решения базирующиеся, как правило, на достаточно хорошо «отработанной» конструкции. Конкурентоспособность изделий, обеспечивающих выполнение однотипных функций, зависит от уровня их качества, которое в значительной мере определяется комплексом характеристик функционально важных сопрягаемых поверхностей деталей. К ним, в первую очередь, следует отнести физико-механические свойства материала и микрогеометрию поверхности. Оба эти комплексные свойства формируются технологией создания материала и особенностями формообразования поверхностного слоя. Наряду с вопросами инженерии поверхностей и ее термообработки, обеспечивающими прочность, износостойкость, заданные трибологические, антикоррозионные и другие характеристики конструкции, сегодня необходимо уделять повышенное внимание проблеме формирования микрогеометрии поверхности и нормированию её параметров.

Изначально методика нормирования микрогеометрии была упрощена до предела. Параметры устанавливали через требования к шероховатости поверхности, при этом внимание обращалось исключительно на высоту микронеровностей. Стандарт устанавливал 14 «классов чистоты поверхностей», в каждом из которых нормировались только параметры R_a или R_z (R_a для средних «классов чистоты», а R_z – для грубых и особо высоких «классов чистоты») при фиксированных значениях базовых длин. Для контроля любого «класса чистоты» хватало одного из высотных параметров шероховатости, поскольку именно высоту микронеровностей считали определяющим свойством микрогеометрии поверхности.

Абсолютное большинство технологических процессов изготовления деталей предполагало их получение традиционными методами формоо-

бразования, как правило связывая окончательную обработку сопрягаемых поверхностей с использованием лезвийного или абразивного инструмента. Такие технологии обеспечивали достаточно устойчивые взаимосвязи между высотой и шагами микронеровностей с представительной базовой длиной. Для этих методов обработки поверхностей практически всегда соблюдалось соотношение $R_z \approx (4 - 5) R_a$. Выбор высотного параметра шероховатости при таких условиях был практически равноценен одновременному назначению базовой длины и косвенно определял шаговые параметры профиля.

Практическая достаточность действовавших норм микрогеометрии поверхностей была связана с двумя определяющими факторами, одним из которых были сравнительно скромные требования к работе изделий (умеренные нагрузки и режимы работы), а вторым – ограниченные возможности широко применяемых технологий обработки поверхностей. Однако принятая концепция нормирования существенно ограничивала возможности управления микрогеометрией поверхности.

Повышение требований к точности и надёжности изделий, интенсификация их использования привели к существенной переоценке роли микрогеометрии сопрягаемых поверхностей, что вызвало разработку и внедрение стандарта ГОСТ 2789 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики», ныне действующего как Межгосударственный стандарт в версии 2018 года. На микронеровности перестали смотреть как только на «мешающий фактор», затрудняющий взаимное перемещение деталей в подвижных соединениях и изменяющий натяг при сборке неподвижных соединений. Стали обращать внимание на связь микрорельефа с несущей способностью и износом поверхностей, констатировали роль как микровпадин в удержании смазки и как ловушек («потенциальных ям») для твёрдых

частиц, включая продукты износа трущихся поверхностей.

В новой версии стандарта сохранены три высотных параметра, однако откорректированы термины, их определения и методики расчета. В частности установлено, что:

R_a – среднеарифметическое отклонение профиля; R_z – наибольшая высота профиля – сумма высоты наибольшего выступа профиля R_p и глубины наибольшей впадины профиля R_v в пределах базовой длины l ; R_{max} – полная высота профиля – сумма высоты наибольшего выступа профиля R_p и глубины наибольшей впадины профиля R_v в пределах длины оценки L .

Активное развитие формообразования поверхностей привело к развитию новых технологий обработки функционально важных поверхностей деталей, таких как прогрессивные методы пластического деформирования, порошковая металлургия, точное литьё, электро-физические и физико-химические технологии обработки, наплавка и напыление сопрягаемых поверхностных слоев элементов деталей и, наконец, аддитивные технологии («печать» деталей на 3D-принтерах). Их широкое внедрение нарушило привычные связи между параметрами микрогеометрии поверхностей.

Современные материалы и технологии обработки поверхностей привели к формированию новых свойств изделий, что открыло возможности их более рационального использования.

Главной отличительной особенностью микрорельефа «новых» поверхностей является отсутствие взаимной зависимости между высотными и шаговыми параметрами шероховатости поверхностей, их связи с базовой длиной и с относительной опорной длиной профиля. Это означает, что каждый из параметров можно выбирать автономно и нормировать их, исходя из требований к функционированию деталей. Очевидной стала необходимость принципиального обновления подхода к нормированию микрогеометрии поверхностей.

В соответствии с действующим стандартом микрогеометрию поверхности можно нормировать с использованием шести параметров шероховатости (три высотных, два шаговых и показатель относительной опорной длины профиля) с возможностью использования такой характеристики, как направление неровностей, что обеспечивает значительную гибкость управления микрогеометрией нормируемой поверхности. Относительную опорную длину можно нормировать на выбранном уровне сечения профиля, что определяет структуру контакта в сопряжении деталей при их

сборке и/или взаимном перемещении. Это важно для соединений с натягом, для герметичных соединений, а также для подвижных соединений в которых происходит износ поверхностей в процессе взаимных перемещений. Стандарт также позволяет рационально назначать базовую длину для любой из выбранных норм или для группы норм, если в том будет необходимость, что увеличивает возможности управления микрогеометрией поверхности.

Активно проводимые теоретические и экспериментальные исследования роли микрогеометрии поверхностей в разнотипных сопряжениях позволяют сделать вывод о том, что параметры шероховатости можно использовать не только для оценки качества поверхностей но и как инструмент управления качеством. Примером этого являются рекомендации, связывающие параметры шероховатости поверхностей с некоторыми требованиями к функционированию деталей (табл. 1).

Табл. 1.

Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающая их номенклатура параметров и характеристик шероховатости

Эксплуатационное свойство поверхности	Параметры шероховатости и характеристики, определяющие эксплуатационное свойство
Износоустойчивость при всех видах трения	R_a, R_z, t_p , направление неровностей
Виброустойчивость	R_a, R_z, S_m, S , направление неровностей
Контактная жесткость	R_a, R_z, t_p
Прочность соединения	R_a, R_z
Прочность конструкций при циклических нагрузках	R_{max}, S_m, S , направление неровностей
Герметичность соединений	R_a, R_z, R_{max}, tp
Соппротивление в волноводах	R_a, S_m, S

Широко растиражированные в справочниках конструкторов и технологов средние и достижимые значения высотных параметров шероховатости поверхностей явно устарели, так же как и рекомендации по нормированию этих параметров для типовых элементов конструкций. Применение устаревших рекомендаций принципиально ограничивает возможности повышения уровня качества вновь разрабатываемых изделий. Практическое использование только высотных параметров шероховатости поверхностей, главным образом средне-

арифметического отклонения профиля R_a при разработке новых изделий, связано с недооценкой разработчиками возможностей управления качеством поверхностей при использовании иных параметров шероховатости, а также рядом очевидных преимуществ применения R_a как предпочтительного из высотных параметров [1]. Отличительными признаками параметра являются:

- статистическая стабильность и высокая повторяемость результатов измерений;
- оптимальность для поверхностей со стохастическим характером профиля, например шлифованных;
- удобство при контроле стабильности технологического процесса;
- возможность измерений любым, даже самым простым современным профилографом.

Параметру R_a присущ недостаток, весьма значительный с учетом развития современных аддитивных технологий – он не позволяет определить тип профиля поверхности (не изменяется при изменении формы профиля поверхности).

Сложности выбора оптимального (или хотя бы оптимизированного) микрорельефа поверхностей сопрягаемых элементов в типовых конструкциях новых изделий обусловлены рядом объективных причин, к которым можно отнести:

- неограниченные возможности выбора материалов, включая возможности раздельного выбора материалов «материковой основы детали» и поверхностного слоя;
- широкие возможности выбора технологий формообразования деталей и микрорельефов сопрягаемых поверхностей и комбинирования их сочетаний;
- специфические требования и особенности нормирования микрорельефа поверхностей для изделий, применяемых в разных областях промышленности;
- существенные различия эксплуатационных требований к качеству поверхностей сопрягаемых элементов в типовых конструкциях разных изделий;
- различия режимов эксплуатации типовых конструкций не только разных изделий, но и однотипных изделий, используемых в разных условиях;
- эксплуатации типовых конструкций изделий

в разных рабочих режимах, включая неустановившиеся режимы.

Использование аддитивных технологий позволяет получать поверхности с полностью регулярным микрорельефом или с частично регулярным микрорельефом. Поверхности первого вида получают при полном переформировании исходных «специальными способами обработки», а поверхности второго вида предусматривают возможность сохранения участков исходного микрорельефа [2].

Регулярный характер микрорельефа обеспечивает сопрягаемым поверхностям «дополнительные преимущества»:

- снижение потерь на трение и исключении надиров, задиров и схватывания поверхностей, что повышает надежность изделий;
- существенное сокращение длительности периода приработки поверхностей деталей;
- возможность применения расчетных методов нормирования и соответствующего технологического обеспечения микрогеометрии.

Кроме того, создание и использование поверхностей с регулярным микрорельефом могут преследовать и такие перспективные цели, как уменьшение материалоемкости деталей и улучшение других эксплуатационных свойств, которые могут быть достигнуты только в ходе комплексного нормирования качества деталей.

Очевидно, что для наиболее полного использования микрорельефа поверхностей в качестве инструмента обеспечения качества необходимо расширить номенклатуру параметров, что может потребовать дальнейшего совершенствования соответствующих стандартов. В настоящее время существуют зарубежные стандарты, которые позволяют нормировать значительно большее число параметров шероховатости поверхностей, чем это принято сегодня у нас. При этом их инструментальный контроль обеспечивается серийно выпускаемыми средствами измерений.

Естественным выходом из сложившейся на сегодня ситуации является системное планирование объемных исследовательских работ, направленных на разработку давно необходимых рекомендаций по рациональному нормированию и выбору параметров шероховатости поверхностей.

Литература

1. Табенкин, А.И. Шероховатость, волнистость, профиль / А.Н. Табенкин, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанов. – Санкт-Петербург: Изд. Политехнического университета, 2007. – 133с.
2. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982.