

## Деформирование и шероховатость

Д.Н. Березин, И.Х. Кусеев, В.В. Митрофанов

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.*

*Носова, г. Магнитогорск, Россия*

**Аннотация.** В статье исследуются вопросы шероховатости поверхности детали и ее значения в технике и технологии. Ключевым положением статьи является прямое влияние качества обработки поверхности, достигнутого ее деформированием с помощью механического воздействия, на шероховатость поверхности детали, а значит, и на возможности ее использования в тех или иных областях техники и технологии. Анализируются процессы и их математическое обоснование, влияющие на шероховатость поверхности, влияние факторов деформации (погрешностей механической обработки поверхности) на шероховатость и точность геометрических размеров детали.

**Ключевые слова:** *деформирование, шероховатость, обработка поверхности, механическое воздействие, пластическая деформация, степень точность, допуск.*

Механически обработанные детали из различных металлов, прежде всего стали, применяются в различных областях техники и технологии. Без валов и зубчатых колес невозможно себе представить автомобиль, редуктор, двигатель, металлорежущие станки и другие технические агрегаты. Детали с определенным качеством поверхности используются в различных механических взаимодействиях и применяются в таких сферах технологии как машиностроение, строительство и металлургия. Следовательно, актуально исследование процессов и факторов, влияющих на качество поверхности деталей, участвующих в различных парах трения, в узлах машин, к которым предъявляются строгие триботехнические требования.

Качество поверхности таких деталей определяется шероховатостью. Иными словами, от того, насколько гладкая (или, наоборот, шероховатая) поверхность такой детали, зависит ее износостойкость, качество сопряжения с другими деталями, качество работы в условиях трения скольжения или натяга. В конечном итоге от этих факторов зависит длительность использования всего оборудования, в котором используются такие детали, и качество его работы в целом.

В этом смысле шероховатость поверхности – научно признанный термин, который определяет качество механической обработки поверхностей детали, участвующих в различных сопряжениях и процессах трения и изнашивания. Шероховатость поверхности определяет возможности использования детали, срок ее использования, скорость процессов изнашивания, выбор средств смазки и другие технические параметры детали. Чем точнее качество механической обработки поверхности детали, тем сложнее ее использование в различных

узлах машин и оборудования, основанных на механическом взаимодействии тел между собой. При этом механическая обработка поверхности связана с ее деформированием, изменением ее геометрических параметров под воздействием давления со стороны других тел.

В связи с этим актуально исследование взаимосвязи между деформированием поверхности деталей и ее шероховатостью. Простейшим примером механического деформирования поверхности является ее токарная обработка, когда резец определенной формы и структуры срезает слои металла установленной толщины, определяя шероховатость поверхности. При этом в данной статье именно токарная обработка металлических деталей используется в качестве примера, определяющего взаимосвязь между деформированием и шероховатостью.

На поверхности деталей в результате механической или любой другой обработки остаются некоторые следы в виде микронеровностей поверхности. Шероховатость как техническая категория – совокупность геометрических параметров микронеровностей поверхности с относительно малыми шагами друг от друга, выделенная на базовой длине  $l$  (рис. 1), т.е. на длине поверхности, используемой в каждом конкретном случае для выделения неровностей и количественного определения их геометрических параметров [2].

Разница между шероховатостью и волнистостью определяется, по общему правилу, отношением шага микронеровностей  $S$  к их высоте  $y$ . К шероховатости поверхности относят микронеровности с отношением  $S/y < 50$ .

Средняя линия профиля  $o - m$  (рис. 1), т.е. средняя высота (глубина) возвышенностей (впадин) поверхности имеет форму номинального профиля (например, диаметра вала или толщины пластины) и корректирует действительный профиль так, чтобы в пределах принятой базовой длины среднее квадратичное отклонение высоты неровностей действительного профиля  $y$  от этой линии было минимально.

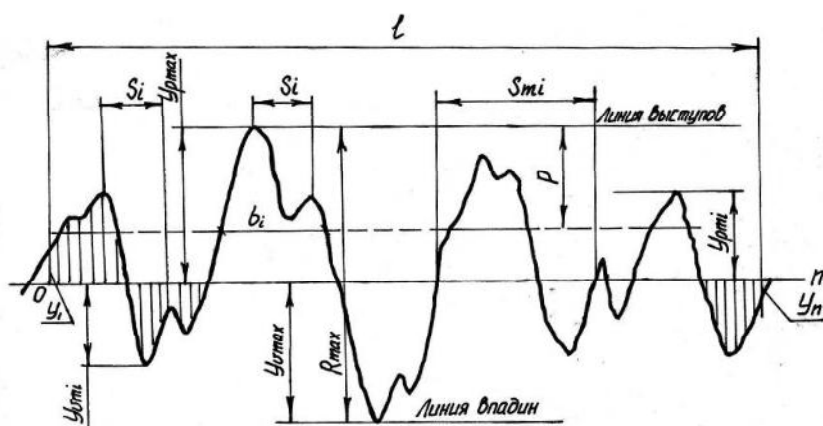


Рисунок 1 – К определению понятия шероховатости

Количественная оценка шероховатости определяется следующими параметрами [1]:

- среднее арифметическое отклонение  $R_a$  профиля;

- высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$ ;
- наибольшая высота  $R_{max}$  профиля;
- средний шаг неровностей  $S_m$  профиля;
- средний шаг местных выступов  $S$  профиля;
- относительная опорная длина  $t_p$  профиля.

Первые пять параметров должны оцениваться и задаваться в микрометрах.

Среднее арифметическое отклонение  $R_a$  профиля представляет собой среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений  $|y|$  профиля по базовой длине  $l$ :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y_i| dx, \quad (1)$$

или

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2)$$

где  $|y_i|$  – величина отклонения  $i$ -той точки профиля от средней линии;

$n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине  $l$ .

Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$  определяется средним из абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}, \quad (3)$$

где  $y_{pmi}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;

$y_{vmi}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

Наибольшая высота  $R_{max}$  профиля – это расстояние между так называемыми линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины. «Линия выступов или впадин – линия, эквидистантная (равноудаленная) средней линии, проходящая через наивысшую или наинизшую точку выступов (впадин) профиля в пределах базовой длины» [1].

Средний шаг неровностей  $S_m$  профиля представляет собой среднее значение шага неровностей профиля друг от друга в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (4)$$

где  $S_{mi}$  – шаг неровностей, под которым понимается длина  $i$ -го отрезка средней линии, ограниченного точками ее пересечения с двумя соседними одноименными сторонами неровностей;

$n$  – число шагов в пределах базовой длины.

Средний шаг местных выступов профиля  $S$  определяется средним значением шага местных выступов профиля  $S_i$  (рис. 1) в пределах базовой длины [4].

Относительная опорная длина профиля  $t_p$  – это математическое отношение опорной длины профиля к базовой длине, принятой в данном случае:

$$t_p = \sum_{i=1}^n b_i / \ell, \quad (5)$$

где  $n$  – число отсекаемых отрезков  $b_i$  в пределах базовой длины на заданном уровне  $p$  в материале профиля линией, равноотстоящей от средней линии.

«Требования к шероховатости поверхности устанавливаются исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, требования к шероховатости поверхности не устанавливаются» [5].

Величина шероховатости имеет большое значение в технике. Он может оказывать серьезное и непосредственное влияние на качество неподвижных и подвижных соединений в различных узлах механических машин и агрегатов. Детали, чья поверхность обладает большой шероховатостью, в неподвижных соединениях не обеспечивают требуемой точности и надежности сборки, при этом в подвижных соединениях они быстро изнашиваются и не обеспечивают требуемых первоначальных зазоров.

Основными причинами, определяющими шероховатость поверхности детали, являются геометрические факторы поверхности, пластические и упругие деформации металла изделия (детали) в поверхностном слое поверхности и вибрации, которые воздействуют на деталь.

«Геометрия режущей кромки инструмента оказывает влияние на шероховатость поверхности. Характер влияния этого фактора зависит от кинематики относительного движения режущего инструмента и заготовки» [6].

Проанализируем влияние геометрической формы лезвия резца на шероховатость поверхности, полученной при обработке, например, на токарном станке. За один оборот заготовки вокруг своей оси вершина резца переместится вдоль образующей цилиндрической поверхности на шаг, геометрически равный подаче, т.е. из одного положения в другое. После этого на обработанной поверхности детали останется та часть материала, которая не снята резцом и образующая остаточный «гребешок». Если лезвие резца имеет радиус округления, то шероховатость  $Rz$  будет меньше. По мере затупления лезвия резца на его режущих кромках образуются зазубрины, что также негативно влияет на шероховатость. По данным исследований, «при точении шероховатость от затупления возрастает на 50..60%, при фрезеровании цилиндрическими фрезами - на 100... 115%, торцовыми фрезами - на 35...45%, сверлами - на 30...40% и развертывании - на 20...30%» [3].

При цилиндрическом фрезеровании детали на шероховатость ее поверхности в направлении продольной подачи стола будет оказывать влияние радиальное биение фрезы, а при использовании торцевой фрезы таким фактором будет торцевое биение фрезы.

При шлифовании детали на шероховатость ее поверхности будут оказывать влияние общие геометрические характеристики абразивных зерен, а также расстояние между ними. При процессах шлифования каждое абразивное зерно будет прорезать в материале детали царапину. После регулярной правки шлифовального круга алмазным инструментом на поверхности круга появляются винтовые неровности, которые также будут переноситься на обрабатываемую поверхность детали. При этом в зависимости от метода шлифования и типа инструмента неровности на поверхности детали будут иметь соответствующее направление.

«Пластические и упругие деформации материала оказывают при обработке резанием влияние на поверхностный слой детали. Поверхностный слой детали из пластических материалов деформируется, в результате возникают неровности обработанной поверхности. При обработке хрупких металлов имеет место вырывание отдельных частиц металла» [3].

Нужно отметить, что пластические деформации при обработке детали лезвийным инструментом (резание) зависят от скорости этого процесса. При скоростях резания в диапазоне 20...40 м/мин под воздействием таких факторов как усилия, прижимающие слои металла к передней поверхности резца, и высокая температура, слои металла фактически привариваются к передней и частично к задней поверхности резца. При этом образуется нарост, который изменяет форму режущей кромки лезвия и резко увеличивает шероховатость. Возрастание скорости резания приводит к увеличению количества теплоты, выделяемой в процессе образования стружки, при этом такой нарост, нагреваясь быстрее остальной части зоны деформации, будет разрушаться, а шероховатость будет уменьшаться.

Во время отделения стружки резцом часть металла заготовки, лежащей под ним, поднимается его закругленной частью, подвергаясь упругой и пластической деформации. После прохождения резца этот несрезанный слой металла частично и неравномерно упруго восстанавливается и вызывает трение по задней поверхности, тем самым увеличивается высота неровности профиля поверхности. При высоких скоростях резания глубина пластически деформированного слоя уменьшается (рис. 2).

Вибрации, возникающие в технологической системе и создающие относительные колебательные движения заготовки и режущего инструмента, также являются причиной возникновения шероховатости. При этом, чем выше амплитуда колебаний, тем больше шероховатость.

Итак, качество поверхности металлической детали определяется режимами и условиями ее механической обработки. Комплексный показатель, учитывающий геометрические параметры выступов и впадин (микронеровностей) на поверхности металла, представляет собой

шероховатость поверхности. В зависимости от шероховатости определяет назначение, и время использования детали.

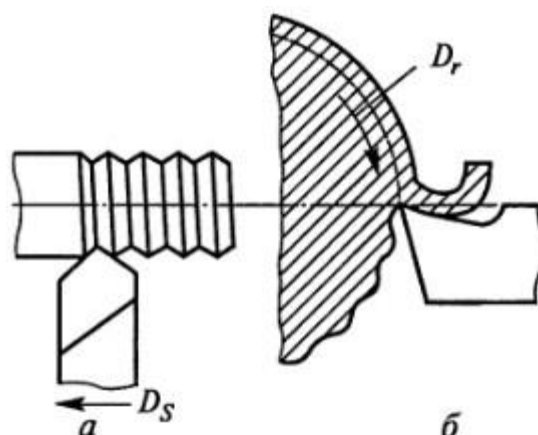


Рисунок 2 – Образование поперечной (а) и продольной (б) шероховатости поверхности при токарной обработке:  $D_r$  — направление движения резания;  $D_s$  — направление движения подачи

Ключевым фактором, влияющим на шероховатость поверхности металлической детали, является деформирование. При таком деформировании как пластическая деформация резанием на шероховатость, а значит, в общем и целом и на качество детали влияют форма и материал резца, скорость и другие режимы резания. Исследование этих процессов и создание математического аппарата, позволяющего учесть все факторы, влияющие на шероховатость поверхности детали, позволит увеличить эффективность механической обработки деталей, увеличить экономическую эффективность металлообработки.

### Библиографический список

1. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики [Электронный документ] // URL: <http://www.gosthelp.ru/text/gost278973sheroxovatostvo.html>
2. Булавинцева, И.А. Машиностроительное производство / И. А. Булавинцева. - М.: Академия, 2010. – 176 с.
3. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник / Л. Г. Одинцов. - М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Сурин, В.М. Техническая механика: Учебное пособие / В. М. Сурин. – Мн.: БГУИР, 2004. – 292 с.
5. Холодкова, А.Г. Общая технология машиностроения / А. Г. Холодкова. – М.: Академия, 2009. – 229 с.
6. Шнейдер, Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник / Ю. Г. Шнейдер. - СПб.: Политехника, 1998. – 416 с.