

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЫСОТЫ МИКРОНЕРОВНОСТИ

С.В. Швец

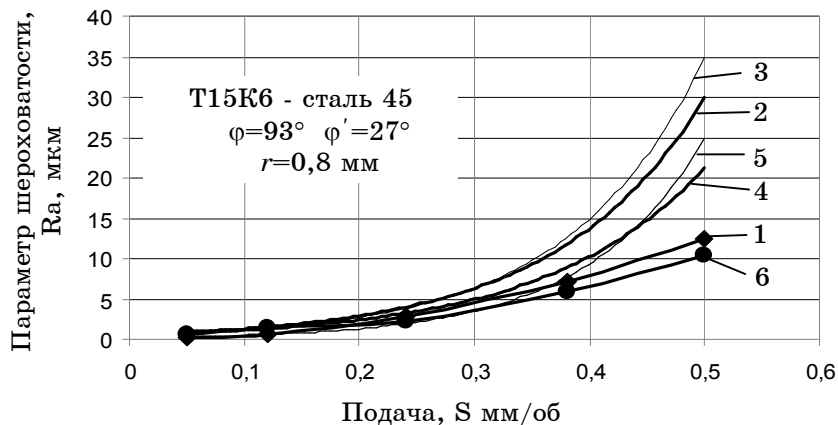
Сумский государственный университет

В статье описаны результаты экспериментальных исследований профиля микронеровности, образованной в условиях пластических деформаций при точении. Предложен механизм формирования параметров шероховатости. Разработаны алгоритмы для прогнозирующих расчетов параметров шероховатости при точении пластичных материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационные свойства деталей машин неразрывно связаны с параметрами шероховатости их рабочих поверхностей. Результаты исследований формирования шероховатости показывают, что высоту профиля шероховатости определяют геометрия и кинематика движения лезвия, вибрации, пластическая деформация и разрушение в зоне резания, шероховатость режущей кромки [1]. При резании существуют два основных фактора связанных с механизмом стружкообразования, которые оказывают влияния на параметры шероховатости обработанной поверхности. Это геометрический (совокупность геометрических элементов и параметров движения лезвия) и пластический (развитие пластической деформации в зоне резания). Как уже отмечалось, на шероховатость влияют зазубренность режущей кромки и вибрации, но эти факторы не являются следствием процесса резания, а определяются качеством инструмента, оборудования и приспособлений.

Для расчета геометрически формируемой высоты шероховатости используется метод определения ординат пересечения линий и окружностей, которые очерчивают режущую кромку в ее последовательных положениях при осуществлении движения подачи [2]. При больших скоростях резания, когда пластические деформации незначительные, расчетные значения параметра шероховатости R_a (кривая 1, рис. 1), полученные при использовании специальной программы для ЭВМ [3], достаточно хорошо совпадают с экспериментальными (кривая 6, рис. 1).



*Рисунок 1 – Расчетные и экспериментальные зависимости параметра шероховатости от подачи при различных скоростях резания ($t=0,3$ мм):
 1,6 - $V=249$ м/мин, 4,5 - $V=178$ м/мин, 2,3 - $V=49$ м/мин*

С увеличением степени пластической деформации в зоне резания (при понижении скорости резания) экспериментальные значения Ra резко отклоняются от расчетных. Увеличивается разброс значений (столбцы 2, 4, табл.1) и линии тренда зависимостей Ra от подачи при $V=49$ м/мин и $V=178$ м/мин значительно отклоняются от расчетного графика (соответственно кривые 2, 4, рис.1).

Таблица 1 – Значения шероховатости при точении стали 45 резцом из T15K6 ($t=0,3$ мм $r=0,8$ мм)

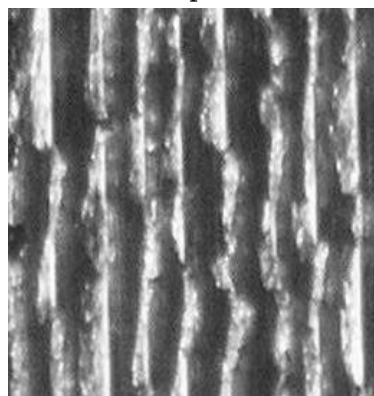
S , мм/об	Ra расч., ($r=0,8$ мм)	$V=49$ м/мин		$V=178$ м/мин		Ra эксп., $V=249$ м/мин
		Ra эксп.,	Ra расч., ($r=0,28$ мм)	Ra эксп.,	Ra расч., ($r=0,63$ мм)	
0,05	0,12	0,9	0,35	0,88	0,15	0,54
0,12	0,7	1,7	2,01	1,2	0,88	1,4
0,24	2,8	3,9	8,4	3,6	3,57	2,2
0,38	7,08	9,4	13,38	7,2	9,09	6
0,5	12,42	35	22,65	24	16,06	10,5
Номера столбцов	1	2	3	4	5	6

Задачей настоящего исследования является выяснение истинных причин изменения параметров шероховатости поверхности в условиях пластической деформации различной интенсивности, что позволит составить физическую модель этого процесса, на основании которой будет составлена адекватная математическая модель.

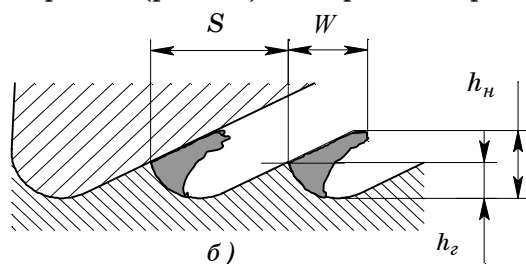
1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1.1 Увеличение высоты остаточного гребешка за счет нароста

Механизм стружкообразования отображает последовательность логически объединенных элементарных актов, осуществление которых приводит к отделению некоторой части металла с поверхности заготовки. На основании его анализа можно сделать вывод [4], что всегда при обработке материалов, обладающих в той или иной мере свойствами пластичности, у вершины лезвия создается пластическая зона. Часть зоны повышенной пластичности, благодаря своей подвижности, может вытесняться на обработанную поверхность, изменяя параметры ее шероховатости. При точении стали 45 с подачей $S=0,38$ мм/об и со скоростью резания $V=12,5$ м/мин образуются гребешки с хорошо заметными образованиями на вершине (рис.2 а). Поверхность гребешка,



а)



б)

Рисунок 2 – Нарост на остаточном гребешке ($V=12,5$ м/мин; $S=0,38$ мм/об; $t=0,3$ мм; $r=0,8$ мм; $\varphi=93^\circ$; $\varphi'=27^\circ$; T15K6-сталь 45)

сформированная вспомогательной режущей кромкой, имеет продолжение в виде нароста. Таким образом, на вершине остаточного гребешка образуется нарост, высота которого ограничивается вспомогательной режущей кромкой (рис.2 б). Величина пластического вытеснения металла W при конкретных значениях геометрии лезвия и подачи определяет высоту сформированной неровности h_n .

1.2 Увеличение высоты микронеровности без наростообразования на остаточном гребешке

Уменьшение размеров пластической области в зоне резания за счет увеличения скорости резания способствовало почти полному устранению нароста на вершине остаточного гребешка.

При точении со скоростью резания $V=49$ м/мин (рис. 3) и $V=178$ м/мин (рис. 4) образовался четкий профиль микронеровности, но при этом линии тренда (кривые 2 и 4 соответственно, см. рис.1) на графиках экспериментальных зависимостей параметра шероховатости Ra от подачи с расчетным графиком (кривая 1, см. рис. 1) не совпадают.

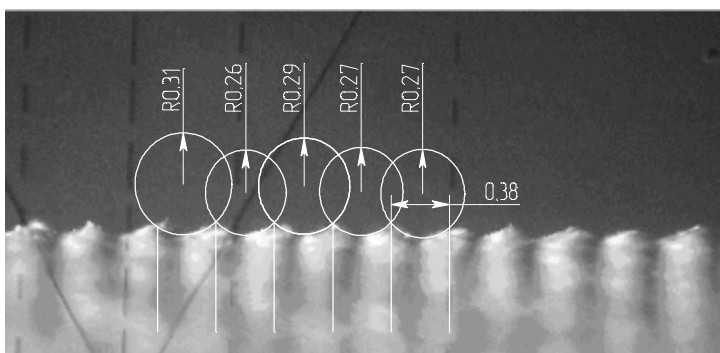


Рисунок 3 – Формирование впадины микронеровности при $V=49$ м/мин

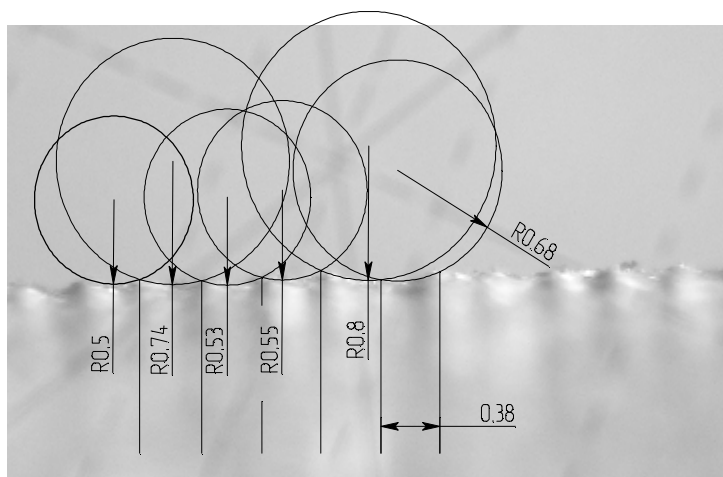


Рисунок 4 – Формирование впадины микронеровности при $V=178$ м/мин
($S=0,38$ мм/об $t=0,3$ мм $r=0,8$ мм $\phi=93^\circ$ $\phi=27^\circ$ T15K6-сталь 45)

Микроскопическое исследование обработанной поверхности показывает, что с увеличением пластической области перед вершиной

резца за счет снижения скорости резания уменьшается радиус кривизны профиля впадины. Применялась режущая пластинка с $r=0,8$ мм, но при $V=178$ м/мин среднее значение радиуса кривизны профиля впадины составило $R=0,63$ мм (см. рис. 4), а при $V=49$ м/мин - $R=0,28$ мм (см. рис.3).

Рассчитать высоту остаточного гребешка, которая зависит только от геометрии и кинематики, не сложно [2]. Однако действительная его высота чаще всего с расчетной не совпадает. Даже если максимально уменьшить влияние неровностей на режущей кромке и вибраций (повысив качество рабочих поверхностей лезвия и используя жесткое оборудование), то фактор пластических деформаций все равно изменяет высоту шероховатости по сравнению с геометрически определяемой высотой остаточного гребешка и эти изменения, пока что, не поддаются точному расчету.

1.3 Пластическое деформирование остаточного гребешка

Пластическое изменение формы металла перед лезвием (вспучивание) также сказывается на высоте микронеровности (рис. 5). Это еще один механизм создания пластической составляющей шероховатости. Вклад его намного меньше, чем движение пластической зоны вдоль

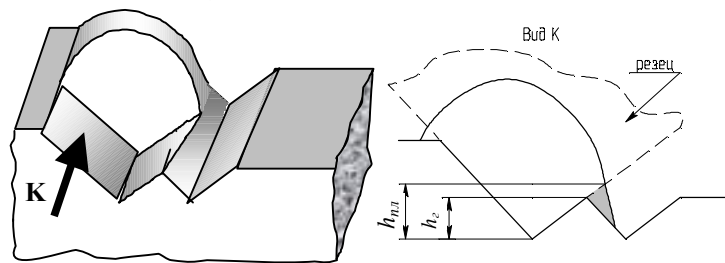


Рисунок 5 – Пластическое деформирование остаточного гребешка при вспучивании металла перед лезвием

вспомогательной режущей кромки или уменьшение радиуса кривизны линии скольжения, но он присутствует и его составляющую можно рассчитать, принимая во внимание значение максимально возможных неразрушающих деформаций.

2 ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

2.1 Причины образования нароста на остаточном гребешке и оценка его вклада в изменение высоты микронеровности

Качество обработанной поверхности во многом определяется ее шероховатостью. Прогнозирование вклада в ее параметры пластической деформации является первоочередной задачей при построении технологического процесса. Что касается возможного варианта механизма создания высоты микронеровности за счет нароста на остаточном гребешке, то он связан с особым случаем стружкообразования [5] и при этом увеличение высоты шероховатости по сравнению с остаточным гребешком может быть очень значительным. Пластическая область, развиваясь от вершины лезвия, выходит на поверхность детали (рис.6). Образующаяся стружка состоит из сильно деформированных элементов или из чередующихся наплывов. В пределах такого элемента напряжение в период его образования превышает действительный предел прочности.

Поэтому происходит большое относительное перемещение объемов (разрушение с последующим "залечиванием" при скольжении).

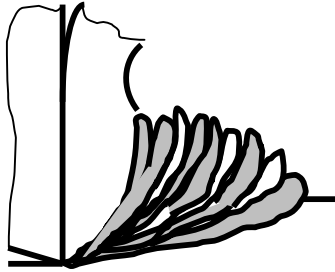


Рисунок 6 – Схема стружкообразования
сталь X17H13M2T $V=0,56$ м/с;
 $S=0,04$ мм/об; $t=0,1$ мм)

В результате чего металл через корень стружки вытесняется на обрабатываемую поверхность и в сторону вспомогательной режущей кромки, образуя своеобразный заусенец на сформировавшейся неровности (см. рис. 6). Увеличение пластической составляющей, за счет выдавливания объемов металла на поверхность, отрицательно сказывается на работоспособности соединений, так как гребешки шероховатости разрушаются в период приработки и образующийся характер соединения деталей резко отличается от расчетной посадки. В связи с этим такой вид микронеровностей

нежелательный и не поддается точному расчетному прогнозированию. Необходимо так строить технологический процесс, чтобы этот механизм формирования шероховатости не присутствовал, т.е. процесс стружкообразования должен проходить при меньшей степени пластической деформации.

Ориентировочно рассчитать $h_{нл}$ и стандартные параметры шероховатости можно по предложенным ранее зависимостям [2, 3] для расчета высоты геометрически образованной неровности h_z , подставляя вместо значения подачи S условную подачу $s=S+W$. Если W выразить в долях от S , например $W=kS$, то тогда

$$s = (1 + k)S. \quad (1)$$

При точении стали 45 резцом из Т15К6 с $r=0,8$ мм, $\varphi=93^\circ$, $\varphi^1=27^\circ$ при параметрах режима резания $V=12,5$ м/мин, $S=0,38$ мм/об, $t=0,3$ мм на остаточном гребешке наблюдается хорошо развитый нарост (см. рис. 2а). Видно, что коэффициент изменения условной подачи k близок к 0,6. Следовательно, для используемых геометрических и кинематических параметров высота остаточного гребешка должна равняться $h_z=22,89$ мкм, а при наличии нароста (используем s вместо S) она составила $h_n=60,01$ мкм. Экспериментальное значение параметра шероховатости для этих условий составило $Ra=16,2$ мкм, а рассчитанное при $s=1,6S$ оказалось $Ra=18,63$ мкм (тогда как расчет при подаче $S=0,38$ мм/об дает значение $Ra=7,08$ мкм). Очевидно, что рассчитанное таким образом значение параметра шероховатости не может полностью считаться точным расчетным значением. Коэффициент пропорциональности k определяется приблизительно по виду обработанной поверхности или на основании практического опыта. Однако выражение (1) позволяет повысить степень автоматизации технологической подготовки производства.

2.2 Прогнозирование шероховатости при радиусе кривизны граничной линии скольжения меньшем r

При точении стали 45 со скоростями резания $V=49$ м/мин и $V=178$ м/мин резцом из Т15К6 (у которого радиус при вершине равнялся $r=0,8$ мм) образовался четкий профиль микронеровности (см. рис. 3, 4). Нарост на остаточном гребешке отсутствовал. Однако радиусы кривизны впадин создавшихся микронеровностей отличались от радиуса при вершине лезвия. Они составили $R=0,28$ мм и $R=0,63$ мм соответственно.

Объяснить подобное явление можно с учетом форм линий скольжения, создаваемых в обрабатываемом материале при резании.

Анализ формы образовавшегося при этом нароста (рис. 7) указывает на то, что радиус кривизны линии скольжения, по которой стружка отделяется от заготовки, намного меньше радиуса при вершине лезвия r , а сама эта линия располагается за пределами поверхности, которую описывает режущая кромка в результирующем движении резания.

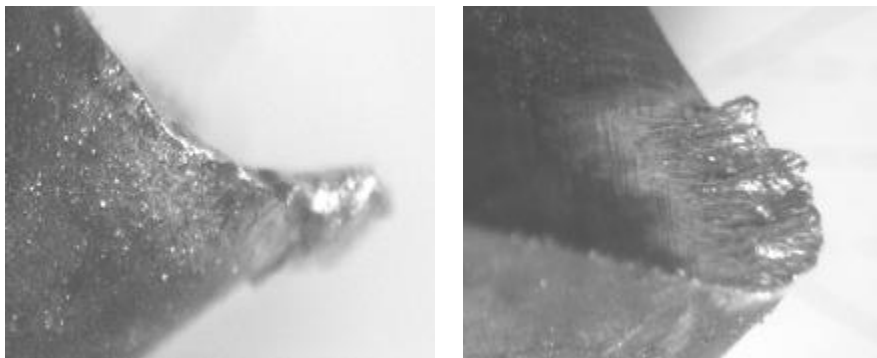


Рисунок 7 – Образование нароста при $V=49$ м/мин
($S=0,38$ мм/об $t=0,3$ мм $r=0,8$ мм $\varphi=93^\circ$ $\varphi'=27^\circ$ Т15К6-сталь 45)

Следовательно, в этом случае шероховатость увеличивается не за счет роста остаточного гребешка, а за счет увеличения глубины впадины. Используя установленное экспериментально значение радиуса кривизны впадины микронеровности R (их можно назвать фиктивными радиусами при вершине лезвия), можно рассчитать параметры шероховатости по зависимостям, созданным для определения геометрической высоты шероховатости [2, 3]. Проведенные расчеты показали, что в этом случае значения R_a соизмеримы с экспериментальными (столбцы 2 и 3, 4 и 5, см. табл. 1), а линии тренда их графиков совпадают (см. рис. 1).

Расчеты параметров шероховатости с учетом значений фиктивных радиусов при вершине лезвия можно выполнять после микроскопических исследований обработанной поверхности. Поэтому они в большей степени объясняющие, нежели прогнозирующие. Однако вскрытие механизма формирования шероховатости пластической деформации бесспорно является важным для понимания и сознательного назначения условий формирующих поверхность с необходимыми эксплуатационными свойствами.

2.3 Оценка пластической составляющей шероховатости при неразрушающих деформациях

Пластическая составляющая шероховатости при неразрушающих деформациях материала остаточного гребешка может быть рассчитана следующим образом.

Наибольший коэффициент вытяжки мягкой латуни равен 0,84 [6]. Тогда

$$\frac{h_e}{h_e + \Delta h_{лат}} = 0,84, \quad (2)$$

где h_1 - составляющая шероховатости, зависящая от геометрии и кинематики;

$\Delta h_{лат}$ - максимальное приращение шероховатости за счет вспучивания припуска при обработке латуни.

Из зависимости (2) получаем

$$\Delta h_{лат} = 0,2h_z . \quad (3)$$

То есть, при обработке такого высокопластичного материала как мягкая латунь, максимальное приращение высоты остаточного гребешка составляет всего 20%.

Для любого другого материала величина приращения шероховатости за счет пластической деформации гребешка изменяется пропорционально степени пластичности данного материала по отношению к мягкой латуни

$$\Delta h_x = \Delta h_{лат} \eta . \quad (4)$$

Коэффициент η можно определить как отношение величин относительной деформации на единицу напряжения конкретного материала и латуни

$$\eta = \frac{\delta \cdot \sigma_6^n}{\delta^n \cdot \sigma_6}$$

Если для латуни $\sigma_6^n = 18 \text{ кг/мм}^2$ и $\delta^n = 30\%$, то тогда

$$\eta = \frac{\delta}{1,7 \cdot \sigma_6} . \quad (5)$$

Для стали 45 $\sigma_6^n = 70 \text{ кг/мм}^2$ и $\delta^n = 16\%$ и согласно выражению (5) $\eta = 0,13$, и тогда с учетом (4) и (3):

$$\Delta h_{сталь45} = 0,026h_z .$$

Следовательно, увеличение высоты остаточного гребешка при точении стали 45 за счет его пластической деформации может составить всего 2,6%. Поэтому эта составляющая изменения геометрически сформированной высоты микронеровности незначительная и ею можно пренебречь.

Анализ форм микронеровностей с учетом условий стружкообразования позволяет выделить три основные причины создания пластической составляющей. Во-первых, возможен сдвиг соседних слоев в результате разрушения с последующим "залечиванием" в области пластической зоны у вершины лезвия. Эта зона может развиваться и выходить на наружную поверхность заготовки. После прохода лезвия остается на остаточном гребешке в виде нароста. Во-вторых, в результате присутствия пластической области перед вершиной лезвия радиус кривизны линии скольжения, по которой металл отделяется от заготовки, меньше радиуса при вершине лезвия. В-третьих, происходит пластическое изменение остаточного гребешка в результате действия неразрушающих деформаций в основной плоскости.

ВЫВОДЫ

1 Геометрически сформированная высота остаточного гребешка в результате присутствия пластической деформации преимущественно увеличивается за счет образования нароста на его вершине, а также за счет углубления впадины образовавшейся неровности при уменьшении радиуса кривизны линии скольжения, по которой стружка отделяется от заготовки.

2 Точно рассчитать значение стандартных параметров шероховатости невозможно из-за отсутствия методов расчета размеров застойной зоны при резании.

3 На основании практических знаний можно оценить фиктивную подачу s и фиктивный радиус при вершине лезвия R , использование которых позволяет по алгоритму для расчета геометрической составляющей шероховатости выполнить прогнозирующие расчеты параметров шероховатости в условиях пластических деформаций.

SUMMARY

THE MECHANISM OF FORMING PLASTIC COMPONENT OF THE HEIGHT OF THE ASPERITY

S.V. Shvets, Sumy State University

In a paper results of experimental researches of a profile micro the irregularity organized in conditions of plastic deformations at turning are described. The mechanism of forming of parameters of a roughness is offered. Algorithms are developed for forecasting calculations of parameters of a roughness at turning plastic materials.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
2. Шве́ц С.В. Расчетная оценка показателей состояния поверхностного слоя, обработанного точением // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. – К.:НАН України, 2003. – Серія Г. – С.100 –115.
3. Шве́ц С.В., Яненко М. Б. Определение параметров шероховатости при точении // Вісник СумДУ. – 2006. – №12. – С.116 –124.
4. Шве́ц С.В. Напряжения и деформации в зоне трения стружки и передней поверхности лезвия // Проблеми трибології, №2, 1999. – С. 35 –43.
5. Шве́ц С.В. Особенности процесса резания нержавеющей сталей // Известия ВУЗов. – 1976.– №3. – С144 –146.
6. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке.-Л.:Машиностроение, 1979. – 520 с.

С.В. Шве́ц, канд. техн. наук, доцент,
СумГУ, г. Сумы

Поступила в редакцию 3 сентября 2007 г.