

УДК 621.9.015

А. С. Мановицкий, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ,
РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦАМИ ИЗ КИБОРИТА ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ШХ15**

Interaction of surface profiles analysis when turning of hardened steels with cutting tools equipped by polycrystalline cubic Boron Nitride with radial cutting force and productivity of turning is presented. After the measuring of machined part surface roughness with profile analyzer as well as radial force components obtained with dynamometric instrument the data are maintained to determine the ratio of profile heights to radial force divided by productivity of process.

Шероховатость поверхности обработанной детали является характеристикой качества обработки, влияет на эксплуатационные свойства изделий и зависит как от геометрической формы режущего инструмента, так и от действия технологических факторов, а также упругих и пластических деформаций, составляющих силы трения на задней поверхности инструмента, нароста, вибраций, контура режущих кромок резца, изменяющегося в процессе его эксплуатации по мере появления и развития износа. Эти показатели определяются параметрами режима резания, свойствами обрабатываемого материала, жесткостью технологической системы и другими условиями резания.

В результате исследования влияния основных факторов процесса резания на шероховатость поверхности обнаруживаются определенные закономерности. При точении обрабатываемого материала в пределах твердости (45 – 63 HRC) шероховатость обработанной поверхности снижается с повышением твердости. Это явление объясняется тем, что по мере возрастания твердости в меньшей степени проявляется эффект адгезии, снижается пластическая деформация и, как следствие, уменьшаются адгезионная и деформационная составляющие коэффициента трения.

При чистовом точении как чугунов, так и закаленных сталей с повышением скорости резания шероховатость обработанной поверхности несколько снижается. При срезании тонких стружек скорость несущественно влияет на шероховатость. Так, при тонком точении титанового сплава BT5 и стали 38ХМЮА со скоростью $V = 1-7$ м/с; подачей $S = 0,089$ мм/об; глубиной резания $t = 0,15$ мм и с радиусом при вершине резца $r = 0,7$ мм, высота неровностей колебалась в пределах 0,1 мкм. Таким образом, высокая скорость резания при отсутствии нароста незначительно влияет на шероховатость обработанной поверхности. Из параметров режимов резания на высоту микронеровностей обработанной поверхности наибольшее влияние оказывает подача, а глубина резания практически не влияет. В этой связи уменьшение глубины резания при чистовой и тонкой обработке не ведет к снижению шероховатости. Снижение подачи меньше 0,06 мм/об при обработке конструкционной углеродистой стали также не вызывает снижения высоты неровностей, что объясняется наличием упругих и пластических деформаций упруго восстановленного слоя в результате контактного взаимодействия с округленной режущей кромкой инструмента.

Из геометрических параметров резца наиболее значительно влияет на шероховатость поверхности радиус r при вершине резца. Из формул для расчета высоты микронеровностей следует, что с увеличением радиуса r шероховатость снижается. В действительности высота микронеровностей превышает расчетную из-за значительных деформаций поверхностного слоя обработанной поверхности вследствие воздействия на нее колебаний узлов станка и вибра-

ций инструмента и возрастания составляющих силы резания с увеличением радиуса при вершине резца.

Экспериментальные результаты лучше согласуются и в большей степени подтверждают расчетные закономерности влияния радиуса при вершине резца на шероховатость обработанной поверхности при достаточной виброустойчивости технологической системы. Если жесткость этой системы недостаточна, то с увеличением радиуса r вследствие повышения радиальной силы, вызывающей вибрации системы, высота неровностей возрастает. При снижении жесткости резца высота неровностей также увеличивается, поскольку повышается высоко-частотная составляющая вибраций резца.

Увеличение радиуса r при вершине резца приводит не только к уменьшению шероховатости, но и к снижению темпа ее повышения в процессе износа инструмента.

С увеличением переднего угла γ резца высота неровностей уменьшается вследствие уменьшения пластической деформации срезаемого слоя. С увеличением заднего угла уменьшается площадь контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью, что приводит к снижению трения и высоты микронеровностей.

Шероховатость обработанной поверхности снижается также с уменьшением главного ϕ и вспомогательного ϕ_1 углов резца в плане основной плоскости. Одновременно с уменьшением этих углов при неизменных площадях сечения среза увеличивается площадь контакта инструмента со снимаемым припуском и обрабатываемой деталью, что приводит к увеличению силы резания, прежде всего ее радиальной составляющей P_y , а также, как следствие, усиливается вибрация технологической системы. Токарные проходные резцы с зачистной режущей кромкой и вспомогательным углом в плане $\phi_1 = 0^\circ$ при жесткой технологической системе обеспечивают снижение шероховатости поверхности примерно на один класс по сравнению с резцами с закругленной вершиной.

На шероховатость обработанной поверхности детали существенно влияет качество заточки и доводки режущего инструмента. Так, при доводке резцов алмазным кругом зернистостью 80/63 высота неровностей обработанной поверхности при тонком точении на 40–50 % выше, чем при доводке кругом зернистостью 14/10. Влияние глубины резания и подачи на высоту микронеровностей обработанной поверхности исследовали после продольного точения ступенчатого вала среднего диаметра 60 мм из закаленной стали ШХ15 твердостью HRC 58–62 на токарно-винторезном станке модули ФТ 11 (аналог модели 16K20) резцом с размером сечения державки 25×25 мм. Резец был оснащен механически закрепляемыми негативными пластинами RNMN 070300 из поликристаллического кубического нитрида бора (ПКНБ) марки киборит с диаметром пластины 7 мм. Режущая часть пластины имела следующие геометрические параметры: передний угол $\gamma = -10^\circ$, задний угол $\alpha = 10^\circ$ без наклона режущей кромки. Скорость резания $V = 75$ м/мин была выбрана из соображений обеспечения максимальной стойкости инструмента при достаточно высокой производительности процесса резания.

Цель исследования состояла в получении экспериментальных зависимостей высотных характеристик микронеровностей и составляющих силы резания от глубины резания и подачи резца с последующей компьютерной обработкой полученных результатов для выявления основных факторов процесса резания, формирующих шероховатость обработанной поверхности.

При точении применяли только острые резцы в целях исключения влияния износа инструмента, для чего заменяли режущие кромки и режущие пластины, изготовленные одной партией, обеспечивая стабильность их физико-механических характеристик и постоянство остроты режущих кромок. Осмотр состояния режущих кромок после точения в течение 20 с не выявил износа ни на одном из режимов, кроме, как при точении на верхних уровнях подачи и глубины резания. Сколы на передней поверхности режущей кромки имеет, которые «спрямляют» ее, тем самым увеличивая радиус округления вершины резца. При точении в течение 60 с образуется округленная режущая кромка и появляется площадка износа на задней поверхности режущей пластины.

Усилия резания измеряли универсальным динамометром УДМ 600.

В процессе точения и измерения составляющих силы резания и шероховатости был реализован полный факторный эксперимент, в котором нижний уровень глубины резания составил $t_1 = 0,1$ мм; средний $t_2 = 0,3$ мм и верхний $t_3 = 0,5$ мм. Продольную подачу также задавали в трех уровнях: нижнем $S_1 = 0,08$ мм/об; среднем $S_2 = 0,19$ мм/об и верхнем $S_3 = 0,38$ мм/об.

Характерные зависимости составляющих силы резания от величины подачи инструмента показаны на рис. 1.

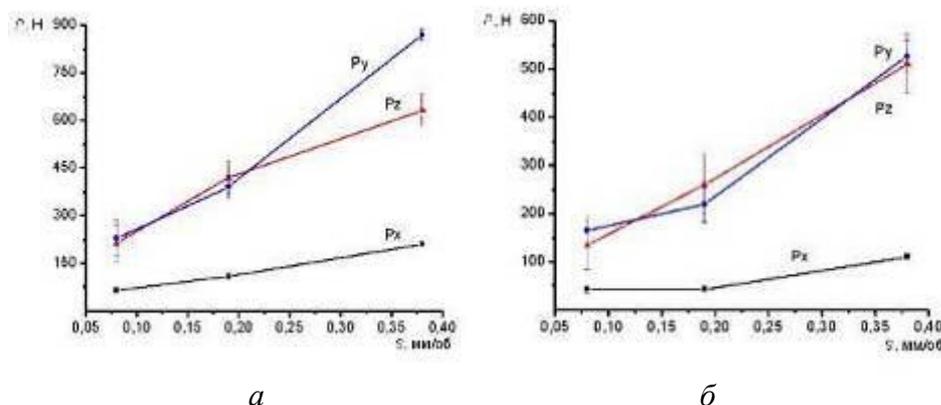


Рис. 1. Зависимости составляющих силы резания при точении стали ШХ15 инструментом из киборита от продольной подачи инструмента. а – $t = 0,5$ мм, $T = 60$ с, б – $t = 0,5$ мм, $T = 20$ с

Как видно из рис. 1, при малой толщине среза радиальная составляющая P_y силы резания близка к тангенциальной составляющей P_z , а при дальнейшем увеличении толщины среза и превышает ее значения что является отличительной особенностью обработки закаленных сталей и труднообрабатываемых высокопрочных, отбеленных и легированных чугунов, а в ряде случаев и наплавки лезвийным инструментом, оснащенным ПСТМ. С увеличением износа резца, превышение радиальной составляющей существенно повышается за счет повышения силы трения по задней поверхности инструмента на контакте с обрабатываемой деталью, вызванного увеличением площадки износа режущего инструмента.

Точность обработанных шлифованием деталей из износостойких материалов превышает точность аналогичных деталей, полученных в результате окончательной лезвийной обработки. что объясняется более высокой жесткостью и точностью шлифовального оборудования по сравнению со станками, токарной группы.

Поскольку шаговые параметры шероховатости на данном этапе не вызывали особого интереса, измеряли высотные показатели микронеровностей: среднее арифметическое отклонение профиля R_a и высоту неровностей профиля по 10 точкам R_z .

Измерения проводили профилографами-профилометрами производства завода «Калибр» модели 170311 (Россия), фирм Mitutoyo (Япония) и «Surtronic» (Великобритания). Перед измерением шероховатости исследуемых обработанных поверхностей измеряли шероховатость эталонного образца с параметрами $R_a = 0,63$ мкм и $R_z = 1,60$ мкм. Результаты измерения шероховатости эталонного образца показали высокую повторяемость ее значений всеми приборами. Вместе с тем результаты измерения шероховатости обработанных в одинаковых режимах резания поверхностей различными приборами показали отличающиеся высотные параметры микронеровностей.

Результаты измерений, пересчитанные как среднее арифметическое по пяти точкам приведены в таблице.

Результаты измерений шероховатости обработанной поверхности, пересчитанные, как среднее арифметическое по пяти точкам

№ п/п	Режимы резания		Шероховатость, мкм						Волнистость, мкм	
			R _a ,			R _z ,			R _{aw} ,	R _{zw} ,
			Профилографы-профилометры							
			S, мм/об	t, мм	«Калибр» 170311	Mitutoyo	Surtronic	«Калибр» 170311	Mitutoyo	Surtronic
1	0,08	0,1	0,50	–	0,85	4,07	–	1,9	0,81	2,64
2	0,19		0,80	0,75	1,05	5,64	5,9	2,41	0,99	3,02
3	0,38		1,21	–	1,72	4,92	–	2,67	1,66	5,94
4	0,08	0,3	0,51	0,56	1,12	4,21	4,195	1,3	1,10	3,40
5	0,19		0,84	0,82	1,18	3,82	4,54	1,93	1,14	4,22
6	0,38		1,10	1,43	1,99	4,10	7,01	2,00	1,92	6,53
7	0,08	0,5	0,74	0,80	1,33/0,26	4,38	4,19	1,82/1,66	1,26	4,09
8	0,19		0,94	1,09	1,63/0,31	4,21	6,04	2,35/2,18	1,51	5,86
9	0,38		1,10	1,29	3,55/0,24	3,44	7,51	2,45/2,22	3,20	8,70

Одним из важнейших факторов воздействия на качество обработанной поверхности является стабильность процесса механической обработки, проявляющаяся в неизменном качестве обработанной поверхности детали из труднообрабатываемого материала в течение экономически целесообразного периода стойкости инструмента. Кроме того, важным показателем является напряженность процесса, которую можно оценить величинами составляющих силы резания, на основании которых рассчитывают напряжения в режущем клине для определения их критических значений и соответственно предельно допустимых значений величин технологических параметров, обеспечивающих производительность обработки [1]. Вместе с тем трудно комплексно охарактеризовать процесс чистового точения труднообрабатываемых железоуглеродистых материалов с учетом его производительности, составляющих силы резания, шероховатости обработанной поверхности и сравнить его стабильность с другими процессами механической обработки. Для этого мы в настоящей работе предлагаем комплексный критерий, связывающий разность высотного параметра R_z шероховатости обработанной поверхности и радиальной составляющей силы резания P_y, соотношенную с площадью сечения срезаемого слоя за один оборот детали при точении. Графическая зависимость отношения удельной шероховатости поверхности на единицу радиальной составляющей силы резания к величине площади сечения среза при чистовом точении закаленной стали ШХ15 резцами из киборита показана на рис. 2.

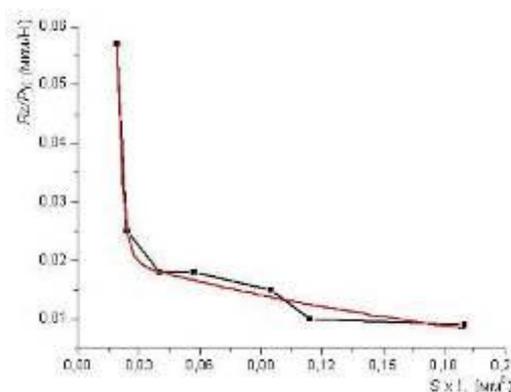


Рис. 2. Зависимость отношения относительной шероховатости поверхности на единицу радиальной составляющей силы резания к площади сечения среза при чистовом точении закаленной стали ШХ15 резцами из киборита. А – ломаная, построенная по расчетным точкам, В – ниспадающая экспонента

Математическая обработка полученных результатов эксперимента и расчета удельных величин высоты микронеровностей относительно радиальной составляющей силы резания позволила построить график в виде ниспадающей экспоненты. Этот показатель можно представить в виде экспоненциальной зависимости и использовать в качестве комплексного критерия оценки стабильности процесса механической обработки чистовым точением относительно его производительности, силовой напряженности и качества обработанной поверхности. С учетом предлагаемого критерия можно оценивать влияние на качество и производительность обработки различных технологических факторов процесса резания, в том числе, связанных с оборудованием и приспособлениями (например, жесткостью технологической системы) и относящихся к геометрическим параметрам инструмента, обрабатываемому и инструментальному материалам, смазочно-охлаждающим технологическим средам, режимам резания.

Перспективны дальнейшие сравнительные исследования стабильности различных процессов механической обработки, как лезвийных, так и абразивных, с использованием предложенного критерия. Как показывают результаты сравнительного анализа высотных параметров шероховатости поверхности деталей из закаленных сталей, износостойких чугунов и других труднообрабатываемых материалов, обработанных шлифованием и точением лезвийными инструментами из поликристаллов СТМ на основе КНБ, их значения очень близки. Показатель удельной шероховатости на единицу радиальной составляющей силы резания при тонком точении с малой площадью сечения среза также можно использовать для оценки способности металлорежущего оборудования обеспечивать требуемую шероховатость обработанной поверхности при малых нагрузках.

Литература

1. Новиков Н. В., Мановицкий А. С., Клименко С. А. Расчет силы стружкообразования при сложнопрофильном точении резцами, оснащенными круглыми пластинами. / Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск – Киев, вып. № 23, 2008. С. 3 – 11.

Поступила 27.05.09.

УДК 621.921

С. А. Кухаренко, канд. техн. наук, **А. Е. Шило**, д-р. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

УПРОЧНЕНИЕ АБРАЗИВСОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСПЕРСНЫМИ ТУГОПЛАВКИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Methods of regulation of properties of superhard materials with glasscovering are justified and implemented at the expense of use glass-base different chemical composition, regimes of their heat treatment and introduction in the capacity of fillers of refractory oxides Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 .

Введение

Основная задача при разработке композитов из сверхтвердых материалов (СТМ) состоит в создании связующих, способных обеспечивать эффективную работоспособность инструмента, используемого в промышленности при обработке различных материалов.