

4. Оптимальною є така конструкція індуктора, що забезпечує рівновіддаленість усіх частин державки від індуктора, тобто індуктор необхідно робити еквідистантним за формою головки державки різця. У цьому разі перехідна зона різця за рахунок теплопровідності швидше нагріватиметься до температури, необхідної для фазових аустенітних та мартенситних перетворень.

5. За результатами розподілу температури можна визначати температуру в державці дорожнього різця для отримання необхідної твердості сталі в заданому перерізі.

Надійшла 03.06.10

УДК 621.9

Ю. А. Мельничук, канд. техн. наук; **С. А. Клименко**, д-р. техн. наук;
А. С. Манохин, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ПРИ ТОЧЕНИИ ИНСТРУМЕНТОМ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

The results are given of experimental studies of the effect the turning parameters on the roughness of the surface machined of workpieces from the ShKh15 hardened steel using a tool with a cylindrical rake face and cutting plate from the cBN + Si₃N₄ polycrystalline superhard material.

Состояние поверхностного слоя во многом определяет эксплуатационные свойства деталей машин и механизмов [1]. Повышение производительности механической обработки при обеспечении необходимого качества обработанной поверхности является важной задачей машиностроительного производства, направленной на снижение себестоимости изготавливаемой продукции, и соответственно повышение ее конкурентоспособности. Эта задача решается путем создания инструментов из новых функциональных материалов и новых технологий их использования. В настоящее время для обработки железоуглеродистых сплавов твердостью более 45 HRC ("твердое точение" – hard turning) наиболее эффективен лезвийный инструмент, оснащенный поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ) [2] и инструментальной керамикой, благодаря чему реализуется высокоскоростное резание – одно из перспективных направлений интенсификации процессов механической обработки. При этом отметим, что потенциал повышения эффективности процессов механической обработки за счет повышения скорости резания также имеет предел – новые материалы для режущих инструментов и защитные покрытия позволяют повысить скорость резания, однако когда она на 20 % превышает оптимальную скорость, это приводит к снижению стойкости инструмента на 50 %.

К важнейшим критериям качества поверхности наряду с физико-механическими свойствами поверхностного слоя относятся геометрические характеристики поверхности, в частности шероховатость.

Повышение производительности особенно важно при чистовой (финишной) обработке материалов, когда для обеспечения низкой шероховатости обработанной поверхности необходимо существенно снизить режимные параметры обработки, прежде всего подачу инструмента.

Производительность при лезвийной обработке материалов можно повысить за счет изменения конструкции инструмента. В последнее время созданы инструменты, которые благодаря изменению геометрии режущей части позволяют проводить обработку с высокими значениями рабочих подач (high-feed machining).

Величина подачи зависит от геометрии вершины режущего инструмента. Для инструментов с вершиной, оформленной по радиусу, подача жестко зависит от требований по обеспечению заданного качества поверхности. При обработке инструментом из КНБ диапазон рабочих подач составляет 0,05 - 0,2 мм/об. При этом обеспечивается шероховатость $Ra \leq 1$ мкм.

В последние годы такие зарубежные фирмы как Sandvik Coromant, Seco, Walter, Kennametal Hertel, Mitsubishi Carbide, Sumitomo выпускают пластины с Wiper-геометрией (WG) [3, 4], которые позволяют существенно повысить диапазон используемых подач при обеспечении высокого качества поверхности. Wiper-эффект возникает за счет модификации вершины пластины и создания специальной зачистной режущей кромки большого радиуса, которая является продолжением радиуса вершины инструмента. Вершина такого инструмента имеет форму кривой, которая образуется вследствие сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок набором окружностей специально подобранных радиусов. Зачистная режущая кромка обеспечивает при работе пластины минимальный вспомогательный угол в плане, что позволяет повысить рабочую подачу без снижения качества обработанной поверхности. При повышении подачи в два раза сокращается путь резания и соответственно износ инструмента.

Пластины Wiper, впервые разработанные фирмой Sandvik Coromant, находят все более широкое применение. Так, пластины из ПКНБ и керамики имеют два варианта геометрии Wiper: WN – основная геометрия, позволяющая достичь максимальной производительности, и дополнительная WG, обеспечивающая низкие усилия резания. Последняя применяется для высокоскоростной обработки при высоких требованиях к качеству обработанной поверхности.

К недостаткам пластин с Wiper-геометрией относится их низкая эффективность применения при обработке профильных и конических поверхностей длинных деталей. В частности, они не способствуют снижению шероховатости обработанной поверхности. При обработке инструментом с Wiper-геометрией зона контакта «инструмент–заготовка» больше, вследствие чего велика вероятность возникновения вибраций при обработке материалов с малой глубиной резания, а также длинных и нежестких деталей. В таком случае рекомендуется оставлять припуск для чистового точения около 0,5 мм, что позволяет обрабатывать поверхности деталей с более низкой шероховатостью, чем при глубине резания 0,2–0,3 мм.

Результаты исследований показали, что существенно снизить высоту микронеровностей обработанной поверхности можно за счет применения инструмента с цилиндрической передней поверхностью [5]. Работа такими резцами за счет особенностей их геометрии характеризуется специфическими условиями пластического деформирования обрабатываемого материала перед передней поверхностью инструмента, что обеспечивает существенное снижение шероховатости обработанной поверхности при повышенных значениях подачи. Кроме того, в отличие от инструмента с плоской передней поверхностью у инструмента с цилиндрической передней поверхностью проекция режущей кромки на основную плоскость имеет радиус кривизны в несколько раз больший, что также способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

Для инструмента с цилиндрической передней поверхностью характерно изменение угла наклона и углов в плане вдоль режущей кромки, что обуславливает неравномерную пластическую деформацию удаляемого материала вдоль режущей кромки и оказывает влияние на качество обработанной поверхности.

Кинематический угол в плане инструмента с цилиндрической передней поверхностью меньше, чем у резца с плоской передней поверхностью с режущей пластиной такого же радиуса. Этот фактор наряду с другими обеспечивает высокое качество обработки материалов при использовании инструментов с цилиндрической передней поверхностью.

Для проведения исследований изготовлен резец специальной конструкции с цилиндрической передней поверхностью, оснащенный круглой неперетачиваемой режущей пластиной RNMN 060300F (рис. 1). При этом использовали режущие пластины из ПСТМ на основе КНБ «сBN–Si₃N₄» и его модификаций, изготовленные в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины согласно ТУ2-037-636-89. При установке пластины в дер-

жавку резца обеспечивались следующие геометрические параметры на вершине инструмента: передний угол – (-10°) , задний – 10° . Влияние режимов обработки на микрогеометрию обработанной поверхности исследовали при продольном точении цилиндрических образцов из закаленной стали ШХ15 (60–62 HRC) длиной 100 мм, 1000 мм и диаметром 100 мм.

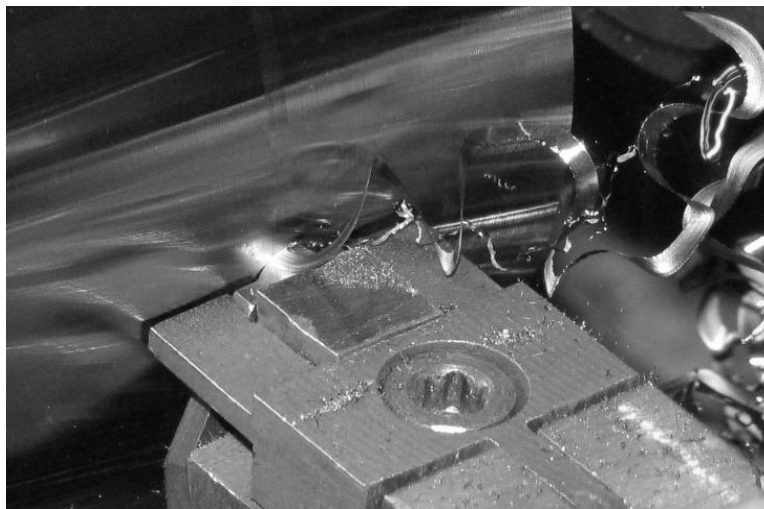


Рис. 1. Точение резцом с цилиндрической передней поверхностью

Шероховатость поверхности R_a измеряли непосредственно на токарном станке профилометром модели 170621 производства завода "Калибр". Измерение других параметров, а также регистрацию профилограмм осуществляли профилометром модели 170311 того же производителя. Через аналого-цифровой преобразователь этот профилометр соединили с персональным компьютером.

На первом этапе исследований сравнивали возможности инструментов с цилиндрической и плоской передними поверхностями, оснащенных неперетачиваемыми пластинами из ПСТМ на основе КНБ, при точении образцов длиной 100 мм.

Результаты сравнительных экспериментов показали, что при продольном точении закаленной стали инструментом с цилиндрической передней поверхностью при значениях подачи S равных 0,1; 0,19; 0,38 мм/об шероховатость поверхности R_a значительно ниже по сравнению с шероховатостью поверхности, обработанной в тех же режимах резцом с плоской передней поверхностью (рис. 2). При использовании инструмента с цилиндрической передней поверхностью при подаче $S = 0,1$ мм/об ($v = 75$ м/мин, $t = 0,1$ мм) достигается шероховатость обработанной поверхности $R_a 0,2$. В свою очередь, при точении стандартным резцом с круглой режущей пластиной при подаче 0,12 мм/об шероховатость обработанной поверхности составляет $R_a 0,63$, а при использовании инструмента с Wiper-геометрией такая шероховатость поверхности обеспечивается при подаче 0,2 мм/об [4].

При точении с более высокими подачами значительно увеличивается разница в значениях высоты микронеровностей при использовании двух видов инструментов. Как видим на рис. 2, величина подачи в диапазоне 0,10–0,38 мм/об при использовании инструмента с цилиндрической передней поверхностью существенно менее влияет на шероховатость обработанной поверхности: высота неровностей увеличивается от $R_a 0,19$ до $R_a 0,34$. При точении в аналогичных условиях резцом с плоской передней поверхностью шероховатость поверхности изменяется с $R_a 0,45$ до $R_a 2,8$.

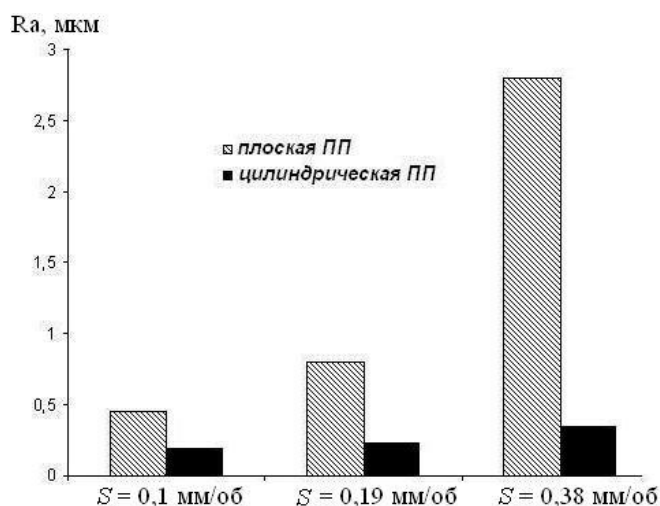


Рис. 2. Диаграмма влияния подачи инструмента с ПСТМ при точении детали из закаленной стали ($v = 75$ м/мин; $t = 0,1$ мм; $L = 100$ мм) на шероховатость поверхности Ra

Профилограммы обработанных поверхностей после точения инструментами с цилиндрической и плоской передними поверхностями с вышеуказанными величинами подачи показаны на рис. 3.

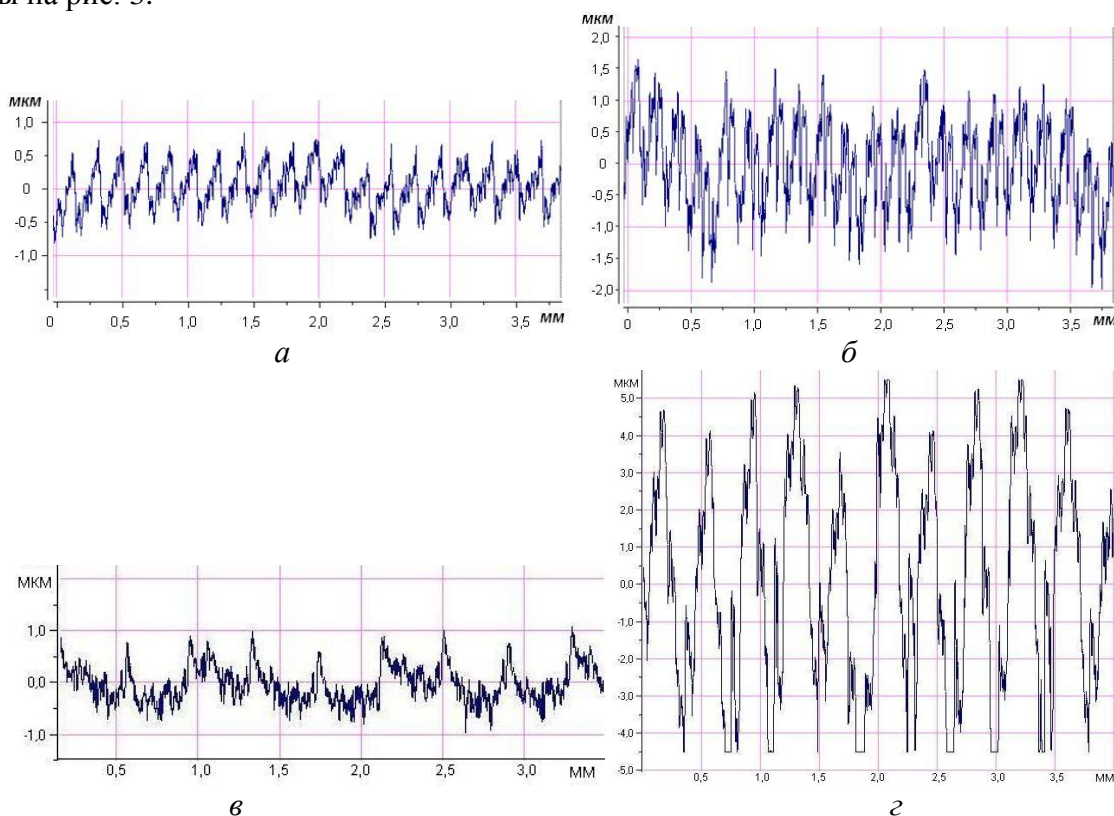


Рис. 3. Профилограммы поверхностей, обработанных инструментами с цилиндрической (а, в) и плоской (б, г) передними поверхностями: а, б – $S = 0,19$ мм/об; в, г – $S = 0,38$ мм/об ($v = 75$ м/мин, $t = 0,1$ мм; $L = 100$ мм)

На профилограммах отчетливо видно, что неровности при обработке с одной подачей имеют одинаковый шаг, но различную высоту. При подаче $S = 0,19$ мм/об получили Ra 0,29 и Rz 1,10 мкм; при $S = 0,38$ мм/об получили Ra 0,34; Rz 1,65 при обработке инструментом с цилиндрической передней поверхностью; при $S = 0,19$ мм/об получили Ra 0,80; Rz 2,6; при $S = 0,38$ мм/об – Ra 2,80; Rz 8,60 при обработке инструментом с плоской передней поверхностью.

При обработке образца длиной 1000 мм жесткость системы СПИД снижается, однако такие условия более близки к реальным условиям эксплуатации инструмента, разработанного для чистовой обработки длинномерных деталей.

С повышением подачи высота неровностей обработанной поверхности монотонно увеличивается (рис. 4). Однако при подачах $S > 0,6–0,7$ мм/об она увеличивается резко, что свидетельствует о нецелесообразности дальнейшего повышения подачи в таких условиях в связи с ухудшением качества обработанной поверхности.

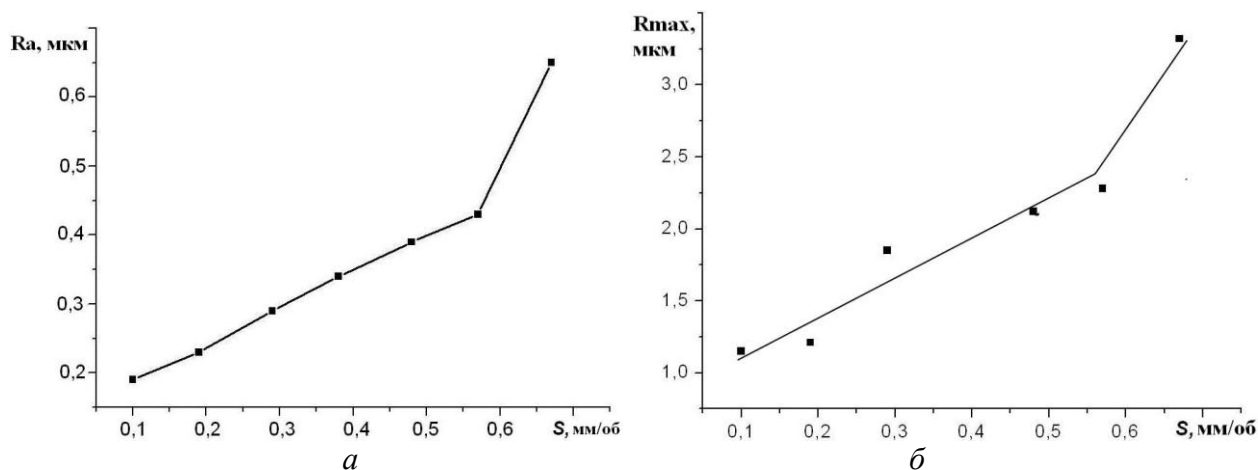


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности, обработанной инструментом с цилиндрической передней поверхностью, от подачи: а – среднее арифметическое отклонение профиля; б – максимальная высота неровностей профиля ($v = 75$ м/мин, $t = 0,1$ мм; $L = 1000$ мм)

Профилограммы обработанных поверхностей длинного образца (рис. 5) свидетельствуют о наличии во впадинах профиля углублений, которые не наблюдались при точении короткого образца. Это свидетельствует о значительном влиянии жесткости системы СПИД на формирование микрорельефа поверхности при рассматриваемой схеме обработки.

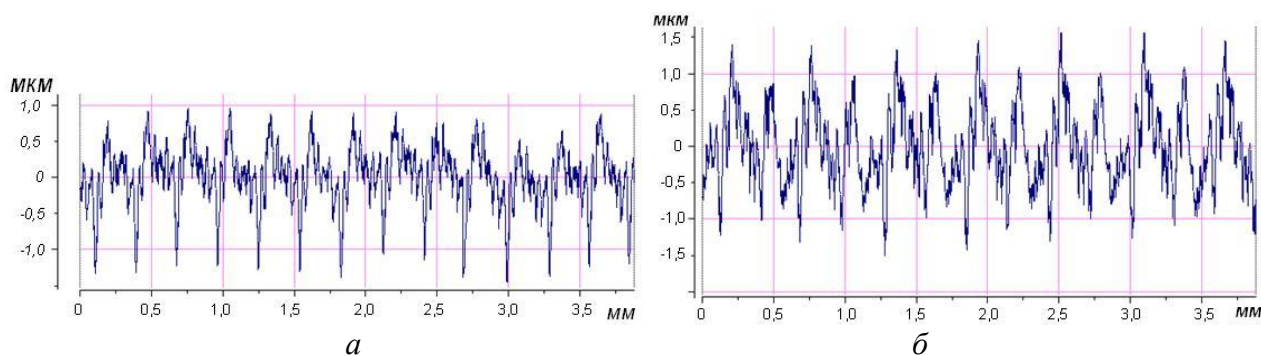


Рис. 5. Профилограммы поверхностей, обработанных инструментом с цилиндрической передней поверхностью: а – $S = 0,29$ мм/об; б – $S = 0,57$ мм/об ($v = 75$ м/мин; $t = 0,1$ мм; $L = 1000$ мм)

Для количественной оценки шероховатости поверхности в ГОСТ 2789-73 определены соотношения значений высотных параметров профиля и базовой длины. Так, при значениях параметра Ra в пределах $0,4–3,2$ мкм базовая длина составляет $l = 0,8$ мм. Как было показано, при обработке инструментом с цилиндрической передней поверхностью с повышением подачи существенно не изменяется шероховатость поверхности, что, согласно стандарта не дает оснований для увеличения базовой длины. Однако при повышении подачи изменяются параметры субмикронеровностей поверхности между вершинами микронеровностей (рис. 6), что, на пер-

вый взгляд, может служить основанием для утверждения о некорректности сравнения измерений поверхностей, обработанных с существенно различающейся подачей.

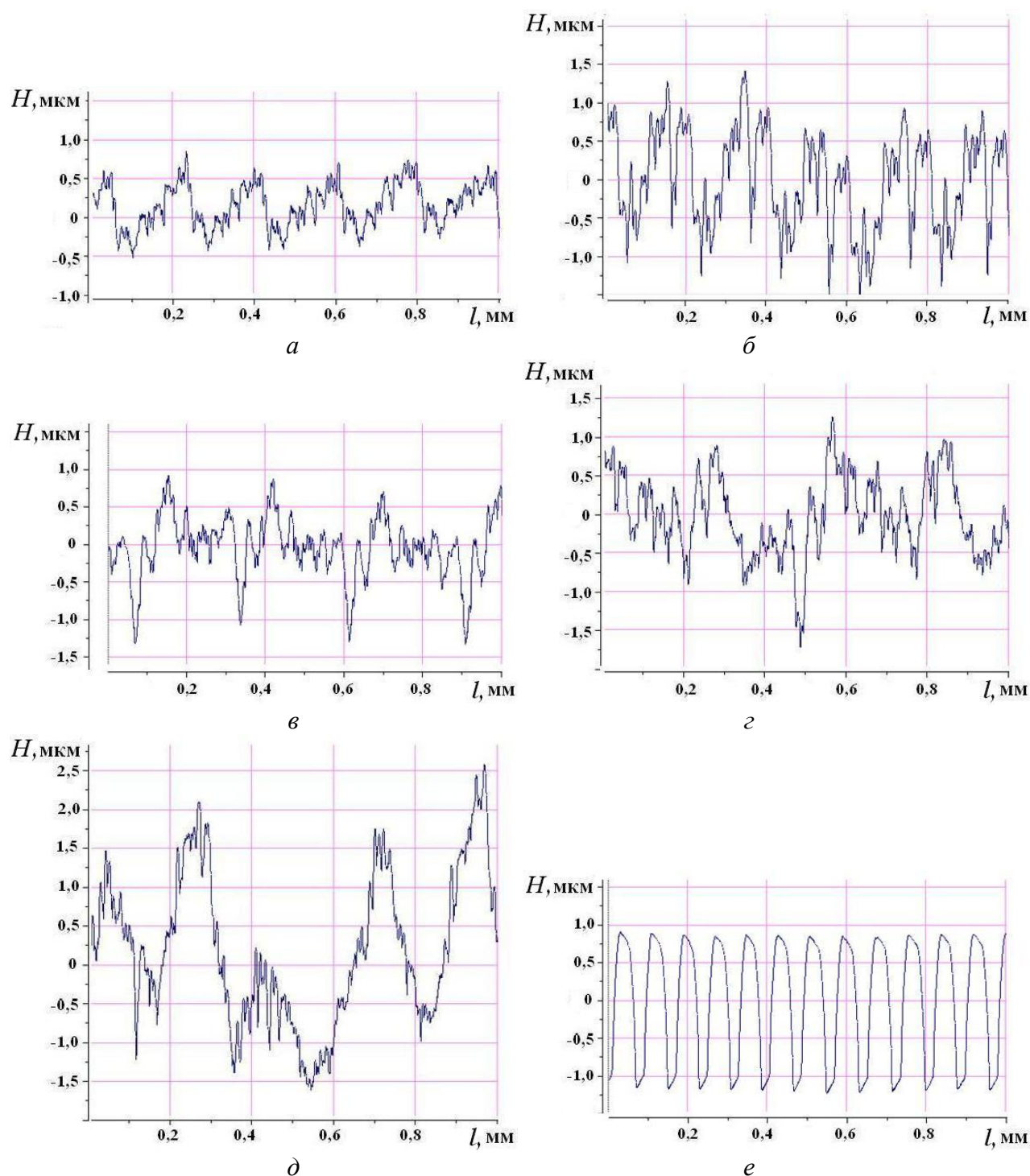


Рис. 6. Профилограммы обработанных поверхностей на участке длиной 1 мм (а, в, г, д – поверхности, обработанные инструментом с цилиндрической передней поверхностью: а – $S = 0,19$ мм/об; в – $S = 0,29$ мм/об; г – $S = 0,57$ мм/об; д – $S = 0,67$ мм/об; б – поверхность, обработанная инструментом с плоской передней поверхностью: $S = 0,19$ мм/об; е – шероховатость эталонного образца $Ra 0,63$; $Rz 1,96$; $Sm 80$ (ГОСТ 2789-73)

Измерения, проведенные на эталонном образце шероховатости ($Ra 0,63$; $Rz 1,96$; $Sm 80$ (ГОСТ 2789-73) с регулярным профилем (рис. 6, е) показали, что при изменении базовой длины l с 0,8 мм на 2,5 мм значения определяемых параметров шероховатости практически не

изменяются. Результаты измерений высотных параметров шероховатости поверхностей, обработанных с подачами до 0,57 мм/об, при базовой длине $l = 2,5$ мм также не показали их существенного изменения (см. таблицу). Это свидетельствует о том, что микрорельеф исследуемых поверхностей характеризуется незначительным изменением высот микронеровностей, что и подтверждают профилограммы на рис. 6. При подаче 0,67 мм/об в рассматриваемых условиях обработки на поверхности формируются ярко выраженные пики микронеровностей, что обуславливает резкое повышение высотных параметров шероховатости (рис. 6, 7).

Значения высотных параметров шероховатости поверхности при разной базовой длине

Подача инструмента, S , мм/об	Ra , мкм		$Rmax$, мкм		Rp , мкм	
	базовая длина l , мм					
	0,8	2,5	0,8	2,5	0,8	2,5
0,29	0,29	0,35	1,85	2,15	0,89	1,31
0,57	0,42	0,45	2,28	2,74	1,35	1,32
0,67	0,74	0,99	3,32	4,38	2,18	2,63

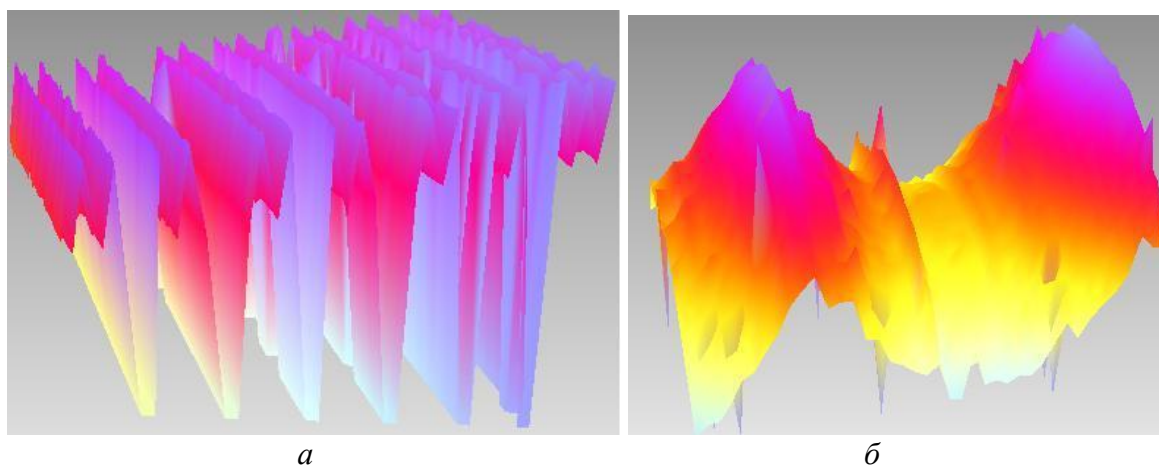


Рис. 7. 3D изображения поверхностей: а – эталонного образца шероховатости Ra 0,63; Rz 1,96; S_m 80 (ГОСТ 2789-73); б – поверхности, обработанной инструментом с цилиндрической передней поверхностью ($S = 0,67$ мм/об)

С увеличением переднего угла инструмента у резцов с плоской передней поверхностью увеличивается радиус проекции режущей кромки на основную плоскость, а с увеличением заднего угла у резца с цилиндрической передней поверхностью снижается радиус проекции режущей кромки. Соответственно этому происходит снижение или увеличение высотных параметров шероховатости обработанной поверхности.

Относительная опорная кривая профиля tp содержит наибольшую информацию о форме неровностей поверхности и позволяет судить о фактической площади контакта при взаимодействии шероховатых поверхностей на заданном уровне сечения p . Поверхности с одинаковой высотой микронеровностей, но полученные разными технологическими методами, могут иметь разные эксплуатационные свойства, отличаясь по параметрам их опорных кривых.

Результаты анализа данных, представленных на рис. 8, показывают, что относительные опорные кривые профилей поверхностей, полученных при обработке инструментом с цилиндрической передней поверхностью при подачах $S = 0,19$ мм/об и $S = 0,57$ мм/об существенно не отличается от таковой, полученной при использовании резца с плоской передней поверхностью. В этих случаях опорная длина профиля на уровне сечения 20 % составляет 7–10 %, на уровне 30 % – 17–20 %, на уровне 40 % – 28–35 %. Существенно выделяется относительная опорная кривая профиля поверхности после точения с подачей $S = 0,29$ мм/об.

При этом обеспечивается опорная длина профиля $t_{20} - 7-10\%$, $t_{30} - 25\%$, $t_{40} - 52\%$. Сравнительно медленно t_p повышается при обработке с подачей $S = 0,67$ мм/об.

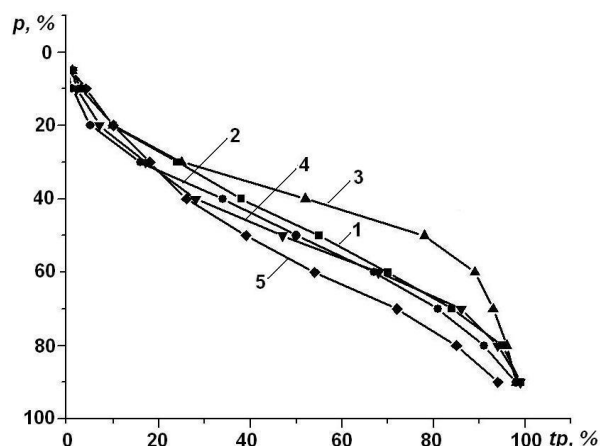


Рис. 8. Опорные кривые профилей неровностей обработанной поверхности:

1 – резец с плоской передней поверхностью ($S = 0,19$ мм/об); 2 – 5 – резец с цилиндрической передней поверхностью (2 – $S = 0,19$ мм/об; 3 – $S = 0,29$ мм/об; 4 – $S = 0,57$ мм/об; 5 – $S = 0,67$ мм/об)

Выводы

В результате исследований приходим к выводу, что обработка точением инструментом с цилиндрической передней поверхностью в диапазоне подач 0,19–0,57 мм/об позволяет получить поверхности не только с низкой высотой микронеровностей, но и обеспечить сравнительно большую опорную длину профиля, которая сопоставима, а иногда и превышает, полученную при точении инструментом с плоской передней поверхностью.

Применение инструмента с цилиндрической передней поверхностью перспективно для получения деталей с высокими эксплуатационными свойствами. Полученные результаты подтверждают эффективность применения резцов с цилиндрической передней поверхностью при чистовом точении деталей из закаленных сталей с высокими подачами.

Литература

1. Технологические основы управления качеством машин / А. С. Васильев, А. М. Дальский, С. А. Клименко и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова. – Т. 5: Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С. А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2006. – 316 с.
3. Klocke F., Brinksmeier E., Weinert K. Capability profile of hard cutting and grinding processes // Annals of the CIRP. – 2005. – № 47(2). – P. 557–580.
4. Grzesik W., Wanat T. Hard turning of quenched alloy steel parts using conventional and wiper ceramic inserts // Int. J. of Maching and Tools Manufacturing. – 2006. – № 46. – P. 1988–1995.
5. Точение износостойких защитных покрытий / С. А. Клименко, Ю. А. Муковоз, Л. Г. Полонский, П. П. Мельничук. – К.: Техн, 1997. – 144 с.

Поступила 05.07.10