

УДК 621.941



С.А. Клименко,
д.т.н., профессор,
Институт сверх-
твердых материалов
им. В.Н. Бакуля
НАН Украины
e-mail:
atmu@meta.ua



А.С. Манохин,
к.т.н., докторант,
Институт сверх-
твердых материалов
им. В.Н. Бакуля
НАН Украины
e-mail: the.manokhin
@gmail.com

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

С.А. Клименко, А.С. Манохин. Анализ методов чистового точения изделий из упрочненных сталей и сплавов. Рассмотрены современные методы чистового точения деталей из упрочненных сталей и сплавов инструментами, оснащенными ПСТМ на основе КНБ. Показаны преимущества инструментов, работающих по косоугольной схеме.

S.A. Klimenko, A.S. Manokhin. Analysis methods of finish turning of hardened steel and alloys. The modern methods for finish turning parts from hardened steels and alloys tool equipped with PSTM cBN. Showing advantages of tools working on oblique pattern.

Особое место в обеспечении эффективности процессов механической обработки занимает правильный выбор конструкции инструмента и материала режущего инструмента, область применения которого определяется его физико-механическими и химическими свойствами. Отмеченное особенно важно в случае обработки деталей из сталей и сплавов с высокой твердости – закаленных сталей, отбеленных и специальных чугунов, наплавленных и напыленных покрытий.

Чистовая токарная обработка деталей из таких материалов инструментом, оснащенным ПСТМ на основе cBN [1], позволяет в ряде случаев отказаться от операции шлифования – традиционного способа обработки деталей из материалов высокой твердости, к поверхностям которых предъявляются требования по шероховатости $< Ra\ 1,25$. Распространение для обработки деталей из материалов высокой твердости режущих инструментов, оснащенных ПСТМ на основе cBN, и режущей керамики обусловило появление специального термина – «твердое точение» (hard turning) [2], под которым понимается обработка деталей из материалов твердостью $> 45\ HRC$ с обеспечением шероховатости обработанных поверхностей на уровне, соответствующем процессу шлифования. Опыт практического использования этой технологии свидетельствует о наличии значительных преимуществ, связанных с обработкой резами, оснащенными ПСТМ на основе cBN, в сравнении с процессом шлифования:

© С.А. Клименко, А.С. Манохин, 2016

- производительность обработки за счет сокращения машинного времени возрастает в 2–4 раза;
- уменьшается вспомогательное время и трудоемкость обработки;
- снижаются затраты на оборудование и энергоемкость производства;
- появляется возможность совмещать несколько операций (продольное точение, подрезка торцов, снятие фасок), обработка деталей производится с одной установки;
- значительно снижается потребление СОТС;
- облегчается уборка стружки и снижается негативное воздействие на окружающую среду.

Применение инструментов, оснащенных ПСТМ на основе cBN, позволяет достичь при точении деталей из закаленных сталей шероховатость обработанных поверхностей – Ra 0,05–1,25.

Одним из преимуществ точения труднообрабатываемых материалов по сравнению с другими методами финишной обработки является возможность направленного формирования свойств поверхностного слоя обработанных изделий (микрogeометрии, физико-механических свойств, структурно-фазового состава) за счет выбора соответствующих условий обработки и геометрических параметров инструмента.

Одним из преимуществ «твердого» точения в сравнении со шлифованием является формирование в поверхностном слое изделий остаточных напряжений, величина и знак которых способствует повышению эксплуатационных характеристик, в частности, усталостной прочности деталей. При обработке резцами, оснащенными ПСТМ на основе cBN, в детали на глубине 50–70 мкм обеспечиваются сжимающие напряжения, величина которых достигает 0,8 ГПа.

Менее интенсивный, по сравнению со шлифованием, локальный нагрев обрабатываемой поверхности при точении является важной особенностью токарной обработки инструментом, оснащенным ПСТМ на основе cBN. Основная часть тепла, образующегося в зоне резания, уходит в стружку и инструмент, вследствие чего отсутствуют характерные для шлифования прижоги, структурные превращения и изменение химического состава материала в поверхностном слое изделия. При шлифовании обработанная поверхность может шаржироваться частицами абразивного материала, насыщаться химическими элементами, содержащимися в шлифовальных кругах и окружающей среде, например, Al и O₂. Применение таких режущих инструментов за счет возможности регулирования температурно-силового воздействия в зоне резания позволяет управлять формированием поверхностного слоя на обработанной детали с целью создания в нем отбеленного слоя. Белый слой глубиной 5–15 мкм формируется в поверхностном слое стали (C – 1 %, Cr – 1,45 %), твердостью 60–62 HRC, при обработке резцом с фаской износа 0,2 мм со скоро-

стю резання 2–3 м/с при подаче 0,05 мм/об [3]. Фазовые превращения, вызывающие образование мартенсита с мелкозернистой структурой (белого слоя) в поверхностном слое детали, происходят под воздействием температуры резания > 730 °С и радиальной силы резания 100–400 Н.

В табл. представлены данные, характеризующие производительность обработки и качество поверхности деталей из железоуглеродистых сталей высокой твердости.

Таблица

Технологические возможности инструментов, оснащенных
ПСТМ на основе cBN

Марка	Марка сплава, HRC	v, м/мин	S, мм/об	t, мм	$\frac{T, \text{мин}}{h_3, \text{мм}}$	Ra	Источник
BZN 8100 (BL)	AISI 52100, 61–63	120	0,12	0,05	$\frac{21}{0,25}$	0,10–0,40	[4]
BZN 6000 (BH)					$\frac{21}{0,4}$	0,20–0,70	
CB 7020 (BL)	AISI 52100, 62	100	0,10	0,30	–	0,30 Rz 1,65	[5]
Киборит (BH)	ХВГ, 60–62	75–110	0,08–0,20	0,10	$\frac{70-100}{0,4}$	0,32–2,50	[6]
	ШХ 15, 60–65	70–90		–	$\frac{50-80}{0,4}$		
	40X13, 50–52	60–90	0,02–0,04	0,10	$\frac{20-90}{0,4}$	0,32–0,63	[7]
Гексанит-Р (BH)	ХВГ, 60–62	50–150	0,02–0,10	0,10–0,50	$\frac{60-90}{0,4}$	0,63–1,25	[8]
CB 7020 (BL)	DIN 100Cr6, 62–64	100–180	0,06–0,09–0,09–0,22	0,25	$\frac{200-80}{0,2}$	0,50–1,00	[9]
					$\frac{120-20}{0,2}$	1,00–2,50	
BN 250 (BL)	AISI 4340, 53	125	0,15		$\frac{35}{0,2}$	0,60–1,10	[4]

Примечания. BL – марка ПСТМ с содержанием кубической фазы 50–70 %; BH – марка ПСТМ с содержанием кубической фазы > 90 %

Следует отметить, что в качестве наиболее часто применяемой подачи при финишной обработке инструментом, оснащенным режущими пластинами по ISO 1832-85, принимается $S < 0,2$ мм/об [8–10]. Указанная величина подачи является максимальной, исходя из условия обеспечения допустимой для «твердого» точения высоты микронеровностей на обработанной поверхности $Ra 1,25$ [8, 10].

Ввиду использования малых подач, чистовая токарная обработка является относительно низкопроизводительным процессом механической обработки и требует значительных затрат времени и ресурсов.

Повышения производительности при финишном точении можно добиться за счет изменения геометрических параметров режущих инструментов, обеспечивающих возможность обработки с увеличенными подачами.

Примером таких решений являются резцы с *wiper*-геометрией, которые позволяют вести обработку с подачами до двух раз большими.

Возможность повышения производительности обработки за счет увеличения подачи при использовании инструмента с *wiper*-геометрией связана с наличием у инструмента зачистной режущей кромки. Вершина инструмента выполняется в форме кривой, образованной при сопряжении главной и вспомогательной режущих кромок набором окружностей со специально подобранными радиусами (рис. 1) Такая форма рабочего участка режущей кромки инструмента приводит к тому же эффекту, что и увеличение радиуса при вершине резца – образованные на предыдущем проходе неровности срезаются на следующем витке.

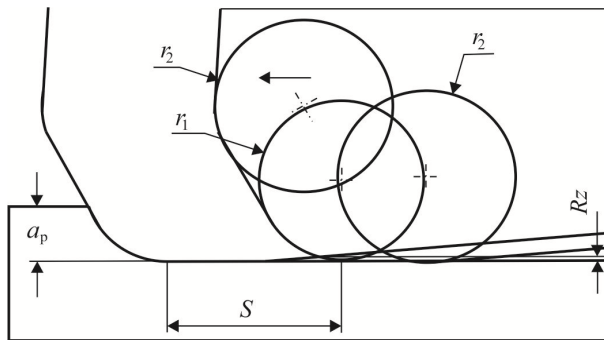


Рис. 1. Форма режущей кромки, сформированной с использованием концепции *wiper*-геометрии

Зачистная режущая кромка обеспечивает минимальный вспомогательный угол в плане инструмента, что позволяет увеличивать рабочую подачу без потери для качества обработанной поверхности (рис. 2). При увеличении подачи вдвое сокращается путь резания и, соответственно, износ инструмента.

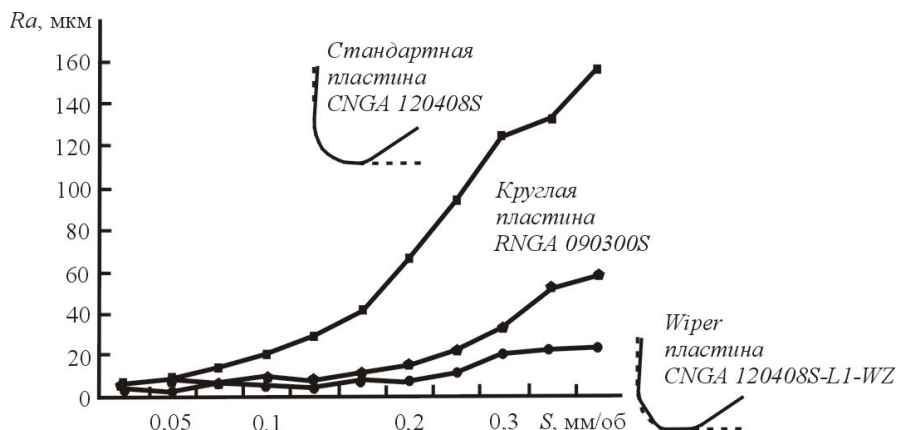


Рис. 2. Влияние подачи на шероховатость поверхности при точении резцами со стандартными пластинами и пластинами с wiper-геометрией

Для режущих инструментов существуют два варианта wiper-геометрии. Геометрия WH – основная геометрия, позволяющая достигнуть максимальной производительности. Геометрия WG – дополнительная геометрия, обеспечивающая низкие усилия резания, применяемая для высокоскоростной обработки при повышенных требованиях к качеству обработанной поверхности.

По сравнению с обычным «твердым» точением, подачу инструмента с wiper-геометрией можно увеличивать без потери для качества обработанной поверхности. Кроме роста производительности обработки, снижается также время контакта режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой и увеличивается период его стойкости.

Одна из разработок в этом направлении – режущая пластина Secomax CBN100 Crossbill из ПСТМ на основе cBN (фирма Seco Tools AB, Швеция) (рис. 3). Она позволяет обрабатывать цилиндрические поверхности, как в правом, так и в левом направлениях, а так же выполнять закругления и радиусные выточки на деталях.

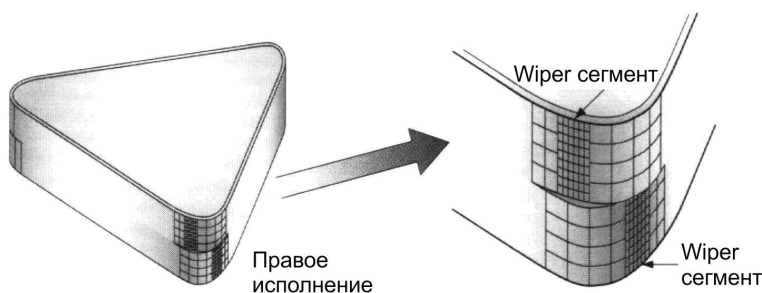


Рис. 3. Режущая пластина Secomax CBN100 Crossbill

При растачивании отверстий в деталях из закаленной стали (60 HRC), инструмент, оснащенный такой пластиной, обеспечивает шероховатость Ra 0,2 мкм при подаче 0,3–0,4 мм/об ($v = 150$ м/мин; $t = 0,15$ мм).

На рис. 4 [11] представлены сравнительные результаты по влиянию подачи при точении закаленной стали различными инструментами на шероховатость обработанной поверхности, показывающие перспективность применения инструмента с *wiper*-геометрией.

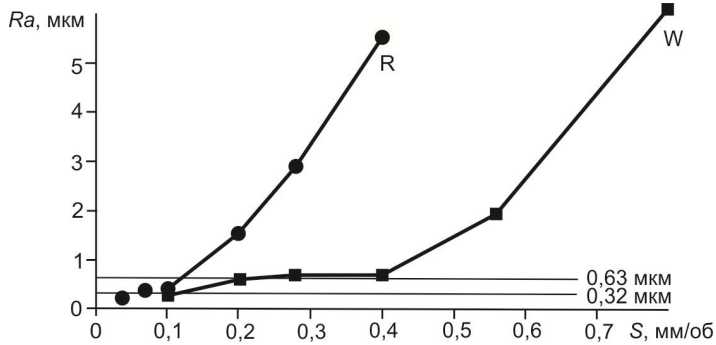


Рис. 4. Зависимость высоты микронеровностей от величины подачи ($v = 100$ м/мин, $t = 0,25$ мм) при обработке стали AISI 5140 (59–61 HRC) инструментом со стандартной режущей пластиной SNGN 120408 T01020 и пластиной с *wiper*-геометрией CNGA 120408 T01020 WG

Как видно, высоту микронеровностей $\leq Ra$ 0,32, можно обеспечить, применяя подачи до 0,04 мм/об и 0,1 мм/об для инструментов стандартной режущей пластиной и пластиной с *wiper*-геометрией соответственно. При подачах до 0,2 и 0,4 мм/об, для данных типов режущих инструментов высота микронеровностей увеличивается до Ra 0,63 при остром резце, а с ростом величины износа инструмента до 0,14–0,15 мм после 30 мин резания, шероховатость достигает значения Ra 0,8.

При подаче $> 0,4$ мм/об высота микронеровностей на обработанной поверхности резко возрастает.

При прочих равных условиях, применение режущего инструмента с *wiper*-геометрией обеспечивает повышение производительности обработки в 2,0–2,5 раза.

Проблема повышения производительности стоит особенно остро в случае финишной обработки крупногабаритных деталей (типа прокатных валков). Для обеспечения эффективности процесса необходимо применять подачи 0,4–1,0 мм/об, а высота микронеровностей на обработанной поверхности должна составлять Ra 0,32–1,25.

Более высокой производительностью по сравнению с рассмотренными выше методами токарной обработки характеризуется точение инструментами, работающими по косоугольной схеме – резцами с передней поверхностью в форме тела вращения и безвершинными резцами («бреющее» резание), которые имеют одну прямолинейную режущую кромку, расположенную под отрицательным углом λ (-10...-60°) (рис. 5 [1]).

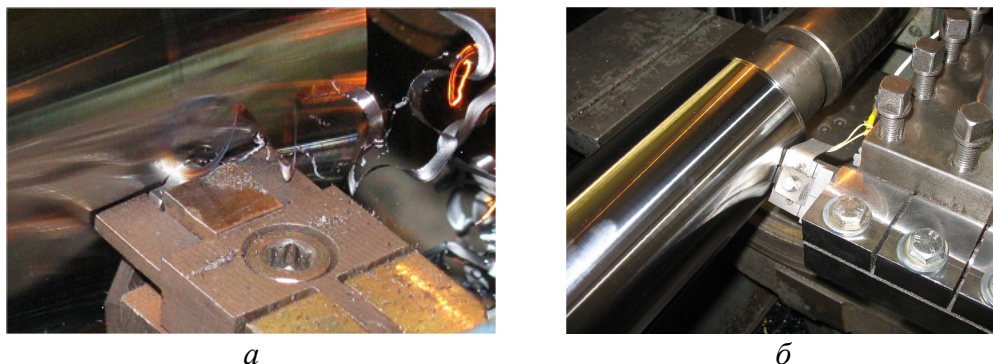


Рис. 5. Обработка деталей из закаленной стали резцом с цилиндрической передней поверхностью (а) и «бреющим» резцом (б)

Такие инструменты работают с подачами в 3–4 и в 8–10 раз соответственно превышающими принятые при традиционной обработке (рис. 6 [12]). Для этих инструментов высокое качество обработанной поверхности обусловлено значительной длиной контакта между режущей кромкой и заготовкой, а также близкими к свободному резанию условиями деформации удаляемого материала перед передней поверхностью инструмента.

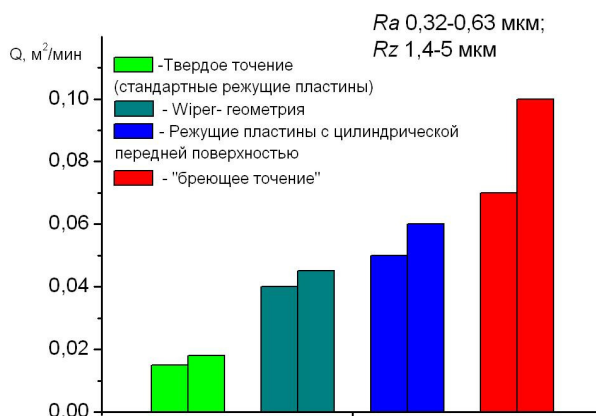


Рис. 6. Производительность технологий финишного точения инструментами, оснащенными ПСТМ на основе cBN, при обеспечении одинаковой шероховатости обработанной поверхности

Таким образом, анализ методов чистового точения изделий из упороченных сталей и сплавов показал, что наибольшая производительность обработки достигается за счет применения инструментов, оснащенных ПСТМ на основе cBN, работающих по схеме косоугольного резания. Обработка таким инструментами производится с большими продольными подачами (0,4–1,0 мм/об), обеспечивая высоту микронеровностей на обработанной поверхности изделий Ra 0,32–1,25.

Література

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Astakhov V. P. Machining of Hard Materials – Definitions and Industrial Applications // *Machining of Hard Materials*. – London: Springer, 2011. – P. 1–32.
3. Chou Y.B. FE-simulation of the effects of machining-induced residual stress profile on rolling contact of hard machined components / Y.B. Guo, Mark E. Barkey // *International Journal of Mechanical Science*. – 2004. – № 46/ – P. 371–388.
4. Chou Y. Kevin. Experimental investigation on CBN turning of hardened AISI 52100 / Y. Kevin Chou, Chris J. Evans, Moshe M. Barash // – 2002. – № 124. – P. 274–283.
5. Guo Y.B. Hard turning versus grinding-the effect of process-induced residual stress on rolling contact / Y.B. Guo, D.W. Yen // *Wear*. – 2004. – № 256. – P. 393–399.
6. Захарченко П.В. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / П.В. Захарченко, В.М. Волкогон, А.В. Бочко и др. // К.: Наук. думка, 1991 – 288 с.
7. Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справ. / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: Техніка, 1988. – 118 с.
8. Benga G.C. Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools / G.C. Benga, A.M. Abrao // *Journal of Material Processing Technology*. – 2003. – № 143-144. – P. 237–241.
9. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: в 6-и т. / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006.
- Т. 5: Клименко С.А. Обработка материалов лезвийным инструментом / С.А. Клименко, А.А. Виноградов, Ю.А. Муковоз и др. – 2006. – 316 с.
10. Klocke F. Sapability profile of hard cutting and grinding processes / F. Klocke, E. Brinksmeier, K. Weinert // *Annals of the CIRP*. – 2005. – № 47 (2). – P. 557–580.
11. Grzesik W. Hard turning of quenched alloy steel parts using conventional and wiper ceramic inserts / W. Grzesik, Wanat T. // *International Journal of Maching and Tools Manufacturing*. – 2006. – № 46. – P. 1988–1995.
12. Klimenko S.A. Hard “Skiving” Turning / S.A. Klimenko, A.S. Manokhin // *Journal of Superhard Materials*.–2009. – vol. 31, № 1.– P 42–55.