

Ф.Я. Якубов, д-р техн. наук,
С. И. Джелалов, канд. техн. наук, Симферополь, Украина.

К ВОПРОСУ О ПРЕЦИЗИОННОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЦЕМЕНТИРОВАННОЙ СТАЛИ 20 ИНСТРУМЕНТОМ, ОСНАЩЕННЫМ КЕРАМИКОЙ

У роботі приведено результати порівняльних досліджень процесу точіння цементованої сталі 20 інструментом з керамічних матеріалів змішаного типу. Розглянуто вплив подачі на якість поверхні оброблюваного виробу, а також вивчений характер зношування ріжучих пластин при різних швидкостях різання. Встановлено ефективність застосування нової кераміки марки «ZIRCA» вітчизняного виробництва в розглянутих умовах.

В работе приведены результаты сравнительных исследований процесса точения цементированной стали 20 инструментом из керамических материалов смешанного типа. Рассмотрено влияние подачи на качество поверхности обрабатываемого изделия, а также изучен характер износа режущих пластин при различных скоростях резания. Установлена эффективность применения новой керамики марки «ZIRCA» отечественного производства в рассмотренных условиях.

Work contains the results of comparative researches of turning process of the cemented steel 20 (C 20) by an mixed type (A2) ceramic materials instrument. Influence of feeding on quality of a surface of a processed workpiece is considered, and also nature of wear of cutting plates is studied at various cutting speeds. New ceramics «ZIRCA» (domestic production brand) use efficiency in the considered conditions is established.

Опыт развитых машиностроительных предприятий показывает, что в условиях, сформировавшихся ныне на рынке индустрии, одним из наиболее важных требований, обеспечивающих конкурентоспособность, является возможность выпускать продукцию в наиболее короткие сроки. Одним из направлений, способствующих решению данного вопроса, является замена малопроизводительных операций механической обработки на более продуктивные, в частности, замена шлифования точением. Так называемое «твердое точение» [1, 2], основанное на применении высокоточного оборудования, в том числе станков с ЧПУ и сориентированное на чистовую обработку материалов с высокой твердостью (HRC 50...65) при высоких (200–300 м/мин.) скоростях, позволяет существенно сократить машинное время, что прежде всего вызвано повышением интенсивности съема материала по сравнению с шлифованием. Для выполнения такого типа операций может применяться инструмент на основе кубического нитрида бора (КНБ) и режущая керамика (РК). Одним из факторов, определяющих более широкое применение инструмента, оснащенного пластинами из керамических материалов, является способность наиболее хорошо противостоять адгезионному и химико-термическому взаимодействию с железоуглеродистыми сплавами. К тому же

пластины из минералокерамики отличает значительно более низкая себестоимость по сравнению с инструментом на основе КНБ. Инструмент на основе РК, способен обеспечивать тонкое чистовое точение при высоких (150–300 м/мин) скоростях резания высокотвердых изделий [1–4].

Многие комплектующие для используемой в машиностроительных производствах оснастки изготавливаются предприятиями сориентированными на серийное производство самостоятельно. К примеру, на заводе «Фиолент» (г. Симферополь) производится широкий спектр изделий инструментального назначения, обладающих высокой твердостью и требующих обработки шлифованием на конечной стадии технологического процесса изготовления. Так, деталь «втулка гладкая» из стали 20, цементированной на глубину 0,8...1,2 мм (HRC 58...62), является типовым элементом конструкции штампов, используемых для получения изделий из листового металла (рис. 1; 2).

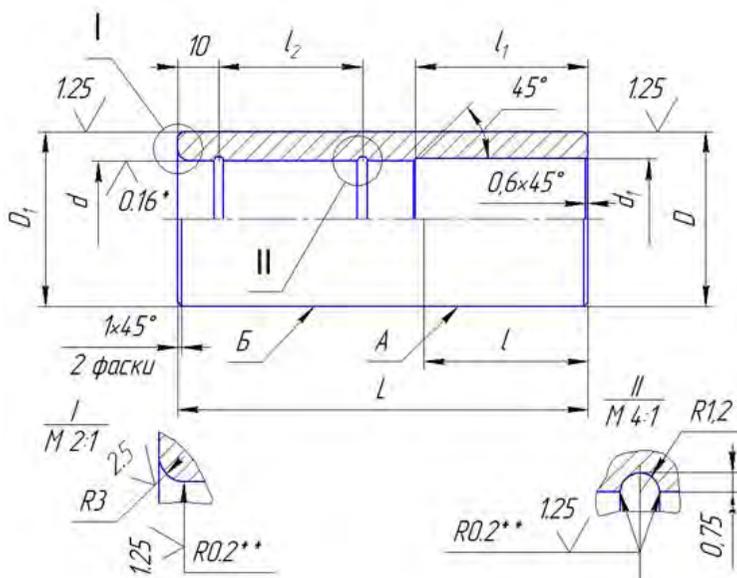


Рисунок 1 – Втулка из стали 20, цементированной (HRC 58...62) на глубину 0,8...1,2

Традиционная технология механической обработки наружной цилиндрической поверхности данной детали предполагает применение шлифования с целью достижения соответствующей размерной точности и шероховатости 1,25 Ra. Повышение эффективности обработки деталей данного типа возможно путем замены шлифования тонким точением.

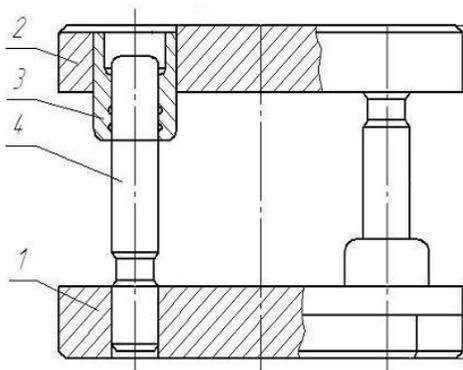


Рисунок 2 – Расположение втулки в блок штампа:
 1 – плита нижняя;
 2 – плита верхняя;
 3 – втулка гладкая;
 4 – колонка.

Основные преимущества твердого точения по сравнению с шлифованием определяются следующими факторами:

- сокращение времени обработки за счет замены принципа постепенного (с малыми величинами припусков) многопроходного снятия стружки;
- отсутствие применения СОЖ;
- образование стружки пригодной к восстановлению металла;
- твердое точение более технологичная операция – обработка сложно-профильных деталей не требует замены инструмента и подналадки станка.

Вышеприведенные данные, свидетельствуют об актуальности проведения исследований, направленных на установление возможности применения инструмента, оснащенного керамическими пластинами для прецизионной обработки изделий из стали высокой твердости, с целью замены шлифовальной операции на токарную, для решения проблемы повышения эффективности механической обработки.

Целью данной работы является установление зависимостей, характеризующих процесс тонкого точения изделий из цементированной стали 20 керамическим режущим инструментом, исследование характера его износа и определение оптимальных режимов обработки. Объектом исследования является процесс резания изделий из железоуглеродистых сплавов, позволяющий установить режимные параметры, определяющие производительность обработки инструментом, оснащенным керамикой. Предметом исследования являются закономерности износа режущих пластин при точении цементированной (HRC 58–62) стали 20.

Важным требованием, обуславливающим возможность реализации прецизионного точения, при скоростях свыше 100 м/мин является применение станка высокой жесткости и точности. Точение с небольшими глубинами резания позволяют задавать высокую скорость вращения шпинделя, что обычно приводит к повышению термобарических нагрузок в зоне соприкосновения режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом, кроме того процесс характеризуется склонностью к возникновению высокого уровня

вибраций. С учетом вышесказанного точение проводилось на токарно-винторезном станке повышенной точности «SAMAT-400M».

При точении использовались керамические пластины квадратной формы SNGN 120412 (рис. 2) различных марок BOK-71 (Светловодский комбинат твердых сплавов и тугоплавких металлов), CC650 (Sanvik Coromant), «ZIRCA» (ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины) [6]. Указанные инструментальные материалы относятся к режущей керамике типа «смешанная» (черная) и согласно рекомендациям производителей используются при точении сплавов повышенной твердости, в том числе железоуглеродистых.

В качестве режущего инструмента применяли резец проходной прямой правый с сечением державки 25×30 . Режущие пластины устанавливались в стальном резцедержателе посредством механического крепления (см. рис. 3). Геометрические параметры режущих пластин и углы резания, которые достигались установкой пластин в резцедержателе, составляли: $\theta = \theta_1 = 45^\circ$; $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\lambda = 0$; $\gamma\phi = -20^\circ$.

В качестве обрабатываемой детали использовался вал цилиндрической формы диаметром 100 мм из стали 20, цементированной на глубину 0,8...1,2 мм (HRC 58...62).

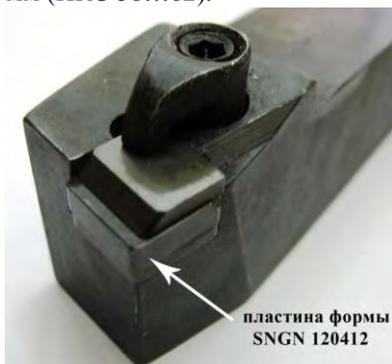


Рисунок 3 – Внешний вид резца, оснащенного пластиной формы SNGN 120412 из керамического материала

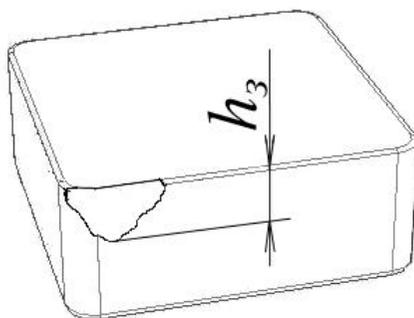


Рисунок 4 – Режущая пластина формы SNGN 120412 и измерение износа ее по задней поверхности

За критерий выхода из строя резцов при точении была принята величина износа по задней поверхности $h_z = 0,3$ мм (рис. 4), которая измерялась на инструментальном микроскопе с отсчетной микрометрической головкой через каждые 2,5 мин. При каждом режиме резания испытывали по три режущих кромки каждого из видов пластин.

Согласно данным [1–5] эффективная скорость при чистовой обработке сталей повышенной твердости керамическими режущими пластинами стандартных марок смешанной керамики находится в пределах $v = 2,3-3,6$ м/с.

На первом этапе исследования были проведены эксперименты, позволившие установить оптимальную величину подачи при резании, которая позволяет достичь удовлетворительный уровень шероховатости поверхности обрабатываемой детали. Точение проводилось при различных значениях $S = 0,05; 0,08; 0,1; 0,15$ мм/об., глубина резания при этом составляла $t=0,25$ мм, а из вышеуказанного интервала скоростей резания было выбрано среднее значение $v=2,8$ м/с.

На рис. 5 представлены результаты измерения шероховатости поверхности детали, обработанной при различных подачах.

Из рисунка видно, что с увеличением подачи чистота обработки исследуемых заготовок при резании пластинами всех используемых марок керамики ухудшается. При этом шероховатость поверхности, обработанной керамикой марки «ZIRCA» при подаче 0,05 мм/об. в 1,1 раза ниже шероховатости поверхности заготовки, обработанной пластинами марки ВОК-71; и в 1,46 раза выше шероховатости, полученной при обработке инструментом из керамики марки СС 650.

Наиболее низкий уровень чистоты поверхности, полученной при точении пластинами ВОК-71 вероятно обусловливается образованием в процессе резания микросколов на режущей кромке из-за более низкой стойкости инструмента к возникающим нагрузкам, по сравнению с пластинами марок «ZIRCA» и СС 650, а также наличием высокого уровня дефектов на поверхности режущей кромки, вызванным относительно низким технологическим уровнем производственной подготовки рабочих поверхностей пластин.

Было также установлено, что с увеличением подачи от 0,05 до 0,08 мм/об. шероховатость поверхности при обработке пластинами из керамики марок «ZIRCA» и ВОК-71 увеличивается в 1,06 и в 1,14 раза, при этом шероховатость образца, обработанного пластинами марки СС 650 растет в 1,43 раза (рис. 5).

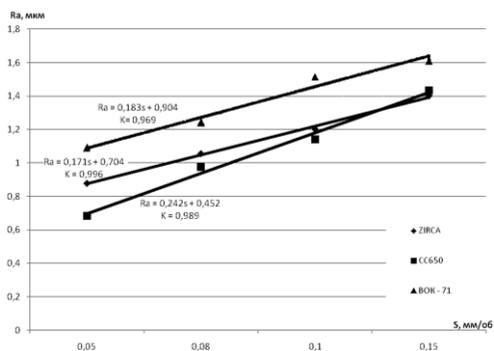


Рисунок 5 – Зависимость шероховатости обрабатываемой поверхности детали из стали 20, цементированной на глубину 0,8...1,2 мм (HRC 58...62) от величины подачи при точении ($v=2,8$ м/с).

Это свидетельствует о большей чувствительности последней к растущей температурно-силовой нагрузке на режущий клин инструмента, что, вероятно, объясняется более низкими прочностными показателями керамики шведского производства (см. таблицу ниже).

Некоторые характеристики керамических материалов

Марка режущей пластины	Твердость HV15, ГПа	Грещиностойкость K_{1c} , МПа·м ^{1/2}	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Прочность при изгибе R_{bm} , МПа
ZIRCA	18,3–18,7	5,2–5,6	24–26	700–750
CC650	19–19,2	4,1–4,4	24*	400–500*
ВОК-71	18,5–18,8	4,2–4,5	20–24*	650–750*

Примечание. * – справочные данные, другие – установлены измерениями.

Последующее увеличение подачи до 0,10 мм/об. приводит к повышению шероховатости обрабатываемой поверхности при этом обработка керамикой «ZIRCA» и CC 650 позволяет сохранить допустимый уровень (соответственно 1,20 и 1,14 мкм), а резание пластинами марки ВОК-71 приводит к повышению уровня шероховатости до средней величины 1,61 мкм, что превышает допустимый (1,25 мкм) уровень качества поверхности.

С учетом того, что дальнейшие исследования планировалось проводить также и при более высоких скоростях точения, эксперименты были ограничены применением режущих пластин марок «ZIRCA» и CC650.

На втором этапе исследований проведены стойкостные испытания, которые сопровождались изучением закономерностей износа выбранного режущего инструмента в зависимости от скорости резания. Исследования проводились при $v=2,3; 2,8; 3,6$ м/с. На основании полученных выше зависимостей шероховатости поверхности от подачи оптимальной (удовлетворяющей параметры чистовой обработки детали «втулка») была принята величина $S=0,10$ мм/об. Результаты стойкостных испытаний при чистовом продольном точении цементированной стали 20 (рис. 6) позволили установить зависимости стойкости исследуемых керамических инструментов от скорости резания:

$T_1 = -47,4v_2 + 197,7v - 84$ – для керамики CC650 (коэффициент корреляции 1);

$T_2 = -54,1v + 230,6$ – для керамики ZIRCA (коэффициент корреляции 0,99), где T_1 и T_2 – стойкость соответствующего инструмента, v – скорость резания.

Как видно из графика (рис. 6), с увеличением скорости резания до 2,8 м/с стойкость инструмента, оснащенного керамикой ZIRCA, падает более интенсивно, чем CC650.

Согласно полученным данным, такая интенсивность сохраняется вплоть до скорости 3,6 м/с, о чем свидетельствует график зависимости $T(v)$, который описывается линейной функцией (прямая ■ на рис. 6). Последнее также свидетельствует о том, что процесс изнашивания инструмента происходит равномерно, при отсутствии микроскальвания режущей кромки, что подтверждается и металлографическими исследованиями (рис. 7, а). Было установлено, что изнашивание инструмента обеих марок керамики в диапазоне скоростей резания 2,3–2,8 м/с происходит в результате абразивного износа (рис. 7, а, б).

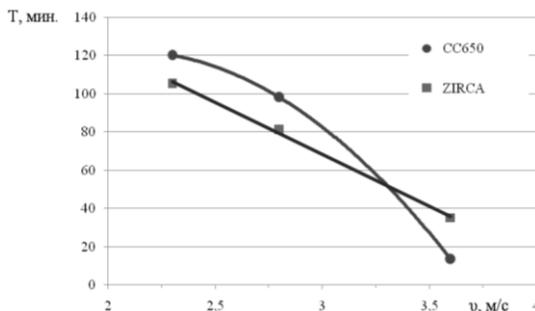


Рисунок 6 – Зависимость стойкости инструмента (T) от скорости резания (v) при точении цементированной стали 20 пластинами марок ZIRCA и CC650.

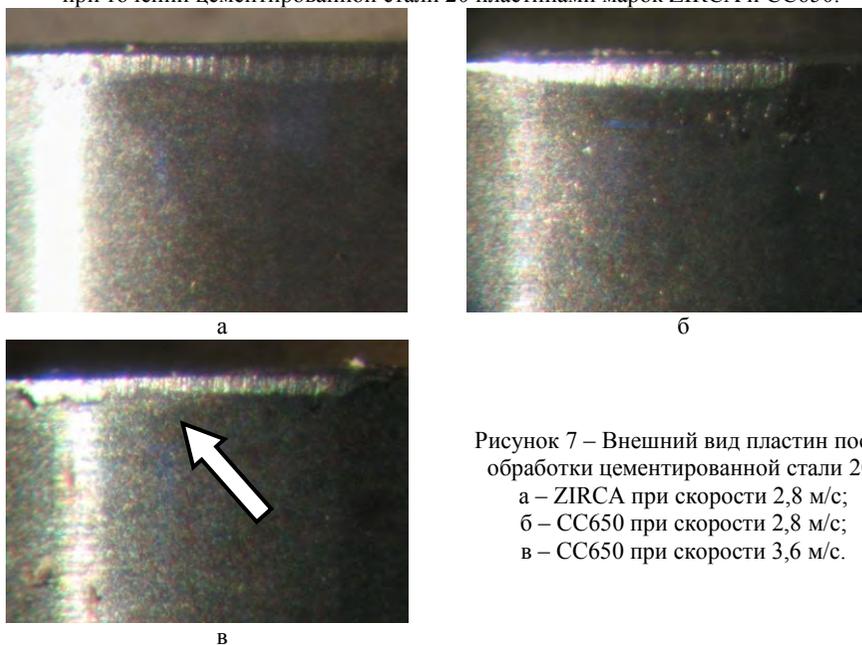


Рисунок 7 – Внешний вид пластин после обработки цементированной стали 20:
 а – ZIRCA при скорости 2,8 м/с;
 б – CC650 при скорости 2,8 м/с;
 в – CC650 при скорости 3,6 м/с.

Характер кривой износа инструмента, оснащенного керамикой CC650 указывает на то, что в рассматриваемом диапазоне скоростей стойкость пластин выше, чем у пластин ZIRCA. Однако последующее повышение скорости обработки приводит к постепенному повышению интенсивности изнашивания.

Следует также отметить, что с ростом скорости происходит ухудшение качества обрабатываемой поверхности, о чем свидетельствует появление неравномерно распределенных по периферии обрабатываемой заготовки борозд. При этом шероховатость некоторых участков находится либо на близком к предельному, либо превышает допустимый уровень.

Причиной этому может быть образование микросколов на поверхности режущей кромки (рис. 7, в), из-за повышения нагрузок на инструмент, что в к тому же снижает надежность работы режущей пластины. Таким образом при скорости 3,6 м/с стойкость керамики ZIRCA в 1,14 раз превышает срок работы инструмента на основе CC650.

Проведенные исследования позволили установить зависимости шероховатости поверхности обрабатываемой заготовки из цементированной стали 20 и определить оптимальное значение подачи при обработке инструментом, оснащенным керамическими режущими пластинами смешанного типа. Полученные результаты показали, низкую эффективность применения инструмента, оснащенного пластинами ВОК-71, уже при скорости 2,8 м/с, который разрушается в результате микроскалывания, что приводит к превышению допустимого уровня шероховатости обрабатываемой заготовки. Выявлено, что во всем диапазоне исследуемых скоростей 2,3–3,6 м/с происходит абразивный износ инструмента оснащенного пластинами ZIRCA. Это обуславливает более стабильную его работу, по сравнению с инструментом на основе CC650, который в диапазоне скоростей 2,8–3,6 м/с склонен к разрушению микроскалыванием. Меньшая чувствительность к повышению скорости обработки приводит к тому, что стойкость пластин марки ZIRCA при максимальном значении скорости (3,6 м/с) выше, чем у пластин CC650.

Список использованных источников: 1. Кундрак Я. Твердое точение: технологические возможности и экономическая эффективность / Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 9. – С. 24–27. 2. J. Kundrak, K. Gyani & oth. Hard turning-machining without cooling. Высокие технологии в машиностроении. Сборник научных трудов НТУ «ХПИ» Харьков. Вып. 1 (4) – 2001. 3. A. Senthil Kumar, A. Raja Durai & oth. Wear behaviour of alumina based ceramic cutting tools on machining steels / Tribology International. – 2006. – Vol. 39, Is. 3. – P. 191–197. 4. E. Aslan, N. Camuşcu & oth. Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN mixed ceramic tool. / Materials & Design. – 2007– Vol. 28, Is. 5. – P. 1618–16. 5. S. Lo Casto, E. Lo Valvo & oth. Ceramic materials wear mechanisms when cutting nickelbased alloys // Wear. – 1999. – Vol. 225 (1). – P. 227–233. 6. Дзелялов С. І. Закономірності формування структури та властивостей керамічного матеріалу інструментального призначення в системі ZrO₂-Al-C.: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство». / С. І. Дзелялов. – Київ, 2008. – 20 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012