

Исследование процессов обработки

УДК 621.9

**С. А. Клименко, А. С. Манохин,
Ю. А. Мельничук** (г. Киев)

Износ и стойкость инструмента, оснащенного пластинами из ПСТМ на основе КНБ, при чистовом точении закаленных сталей с большими подачами

Представлены результаты экспериментальных исследований закономерностей изнашивания инструментов, оснащенных поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе кубического нитрида бора в условиях высокопроизводительной чистовой обработки закаленной стали косоугольными резами. Изучено влияние условий обработки на стойкость таких инструментов.

***Ключевые слова:** износ режущего инструмента, инструменты на основе КНБ, закаленная сталь, чистовое косоугольное резание, стойкость, условия резания.*

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности механической обработки при обеспечении необходимого качества обработанной поверхности является важной задачей машиностроительного производства, которая направлена на снижение себестоимости изготавливаемой продукции и, соответственно, повышение ее конкурентоспособности. Особую актуальность вопрос повышения производительности приобретает при чистовой (финишной) обработке, когда необходимость обеспечения низкой шероховатости обработанной поверхности требует значительного снижения режимных параметров обработки, в первую очередь подачи инструмента.

Одной из современных тенденций совершенствования технологий механической обработки является увеличение площади контакта инструмента с обрабатываемой деталью, замена точечного контакта инструмента с изделием на распространенный по поверхности, что обуславливает увеличение производительности обработки. Все это может быть реализовано за счет изменения конструкции инструмента. Существенно снизить шероховатость обработанной поверхности при высокой производительности процесса обработки можно, применяя косоугольный однокромочный безвершинный инструмент и

© С. А. КЛИМЕНКО, А. С. МАНОХИН, Ю. А. МЕЛЬНИЧУК, 2012

резцы с цилиндрической передней поверхностью, которые позволяют интенсифицировать обработку при увеличении величины продольной подачи до 1,0 и 0,68 мм/об соответственно [1].

Особенно актуален вопрос повышения производительности финишной обработки при изготовлении крупногабаритных изделий из конструкционных материалов высокой твердости, например, валков прокатных станов из закаленной стали. Как известно [2, 3], при обработке высокотвердых железоуглеродистых сплавов наиболее эффективен лезвийный инструмент, оснащенный поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ).

Учитывая, что процесс обработки деталей из закаленных сталей инструментом, оснащенным ПСТМ, характеризуется высокими термобарическими нагрузками [3], эффективность процесса обработки и состояние формируемого при обработке поверхностного слоя деталей во многом определяется величиной износа режущего инструмента. В настоящее время в технической литературе отсутствует информация об износе и стойкости режущих инструментов для чистового точения детали из закаленной стали с большими подачами.

Целью исследования было изучение особенностей износа косоугольного однокромочного инструмента и инструмента с цилиндрической передней поверхностью, оснащенных ПСТМ на основе КНБ, а также влияния условий обработки на стойкость указанных инструментов при точении образцов из закаленной стали.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования процесса резания проводили с использованием инструментов с механическим креплением сменных многогранных неперетачиваемых пластин из ПСТМ на основе КНБ (ПКНБ):

– косоугольного однокромочного инструмента, оснащенного пластинами из ПКНБ марки киборит типоразмера SNUN 120408;

– инструмента с цилиндрической передней поверхностью, оснащенного пластинами из ПКНБ марки борсинит типоразмеров RNMN 060300, RNMN 070300, RNMN 09T300. Пластины изготавливали в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины по ТУ 2-037-636–89.

При установке пластин в державки резцов обеспечивали геометрические параметры инструмента: передний угол – (-10°) , задний угол – 10° . Исследования проводили при продольном точении цилиндрических образцов из закаленной стали марки ШХ15 диаметром 100 мм и длиной 100, 1000 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены результаты исследований по оценке влияния износа безвершинного инструмента из ПКНБ на шероховатость обработанной поверхности.

Кинетика изнашивания режущего инструмента при косоугольном точении однокромочным инструментом стали высокой твердости выглядит следующим образом. После этапа приработки, соответствующего 10 мин времени резания и фаске износа $h_3 = 0,10-0,12$ мм, в течение довольно длительного времени работы износ инструмента по задней поверхности носит монотонный характер, а интенсивность его изнашивания постоянна. Такой картине изнашивания инструмента отвечает практически неизменная шероховатость обработанной поверхности, которая в течение 80 мин резания остается на

приблизительно одинаковом уровне и составляет $Ra = 0,4-0,7$ мкм. При износе инструмента $h_3 = 0,3$ мм высота микронеровностей резко возрастает, и на отметке 90 мин шероховатость обработанной поверхности составляет уже $Ra = 1,6-1,7$ мкм. Резкий рост высоты микронеровностей свидетельствует о том, что режущая кромка инструмента при достижении фаски износа $h_3 = 0,3$ мм теряет прямолинейность, происходит микровыкрашивание фрагментов ПСТМ, режущая кромка скалывается.

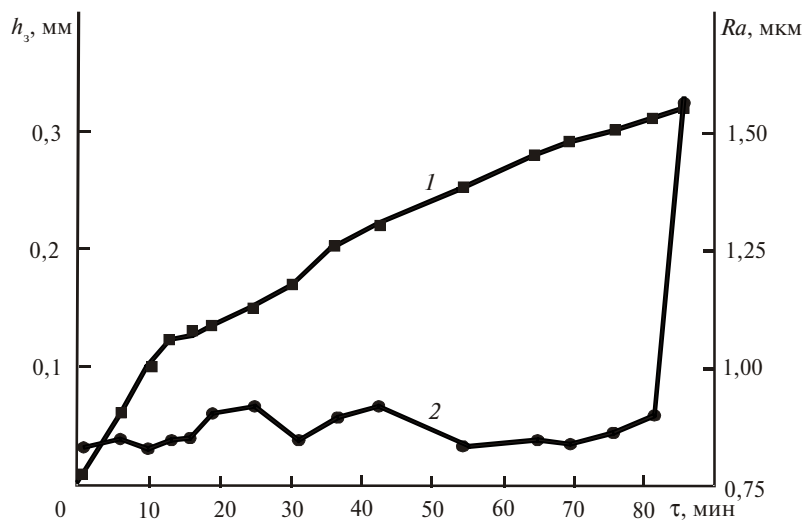


Рис. 1. Влияние времени работы на износ (1) однокромочного косоугольного инструмента и шероховатость (2) обработанной поверхности стали марки ШХ15 (60–62 HRC); $S = 0,67$ мм/об; $v = 1,32$ м/с; $t = 0,075$ мм; $\lambda = 50^\circ$.

Регистрация составляющих силы резания в режиме реального времени позволила наглядно контролировать кинетику изнашивания режущих пластин в процессе точения. Окончание периода приработки характеризуется стабилизацией радиальной составляющей силы резания P_y . При обработке инструментом с цилиндрической передней поверхностью время приработки существенно зависит от условий точения. С увеличением величины подачи от 0,14 до 0,67 мм/об период приработки сокращается с 10 до 1,5 мин. В течение периода приработки наблюдается уменьшение величины высоты шероховатости обработанной поверхности, что объясняется возникновением выглаживающего эффекта на задней поверхности инструмента (рис. 2). На окончательном этапе обработки по достижению величины износа $h_3 = 0,25-0,3$ мм происходит резкое увеличение шероховатости.

Полученные результаты наглядно показывают, что для обеспечения в процессе обработки требуемой шероховатости поверхности следует уделять большое внимание состоянию режущего инструмента. Особенно это важно при обработке крупногабаритных деталей, которые являются основной областью применения технологии косоугольного точения. На основе анализа приведенных выше данных можно сделать вывод о целесообразности использования в качестве критерия стойкости инструмента величины фаски износа по задней поверхности $h_3 = 0,3$ мм.

При использовании инструмента с цилиндрической передней поверхностью и косоугольного однокромочного инструмента на высоту микронеровностей оказывает влияние скорость резания. С ее увеличением наблюдается

снижение высоты Ra , однако стойкость инструмента существенно снижается (рис. 3). Особенно интенсифицируется процесс изнашивания инструмента при скорости более 100 м/мин.

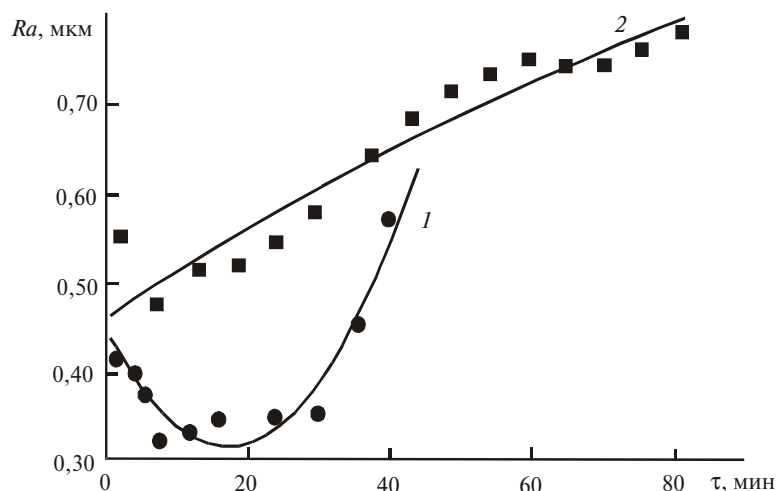


Рис. 2. Изменение шероховатости поверхности при обработке стали марки ШХ15 инструментом с цилиндрической передней поверхностью: 62–64 HRC, $v = 120$ м/мин; $S = 0,38$ мм/об, $t = 0,1$ мм (1); 55–57 HRC, $v = 60$ м/мин; $S = 0,38$ мм/об, $t = 0,1$ мм (2).

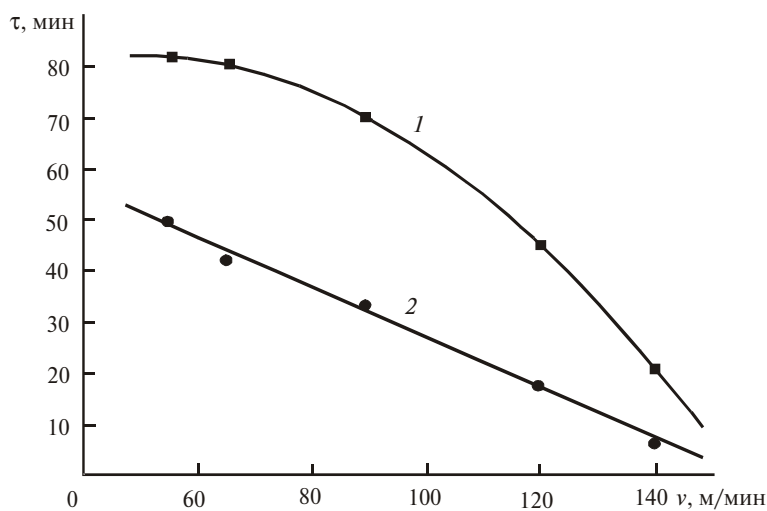


Рис. 3. Зависимость стойкости инструмента с цилиндрической ($R = 3,5$ мм) передней поверхностью от скорости резания при точении стали марки ШХ15 (60–62 HRC): $S = 0,38$ мм/об, $t = 0,1$ мм (1); $S = 0,57$ мм/об, $t = 0,1$ мм (2).

Это связано с тем, что с увеличением скорости резания увеличивается контактная температура, определяющая возрастание интенсивности химического взаимодействия контактирующих материалов. При точении со скоростью резания более 120 м/мин на передней поверхности инструмента наблюдается образование лунки, что при длительной работе обуславливает опускание режущей кромки инструмента (рис. 4, а, б). При обработке с невысокими скоростями резания изнашивание инструмента происходит преимущественно по задней поверхности и определяется интенсивностью протекания процес-

сов абразивного и адгезионного взаимодействия контактирующих материалов. Износ инструмента по задней поверхности распространяется по всей рабочей длине главной режущей кромки, однако фаска износа имеет неравномерную ширину.

На задней поверхности уже на начальном этапе работы инструмента отчетливо видны мелкие борозды, имеющие ориентацию, совпадающую с направлением скорости резания. В процессе точения подобные борозды образуются и на передней поверхности инструмента (см. рис. 4, в, з). С увеличением величины износа глубина борозд увеличивается, что приводит к искажению формы режущей кромки, микроскалываниям на участках интенсивного износа и, в результате, к ухудшению качества обработанной поверхности.

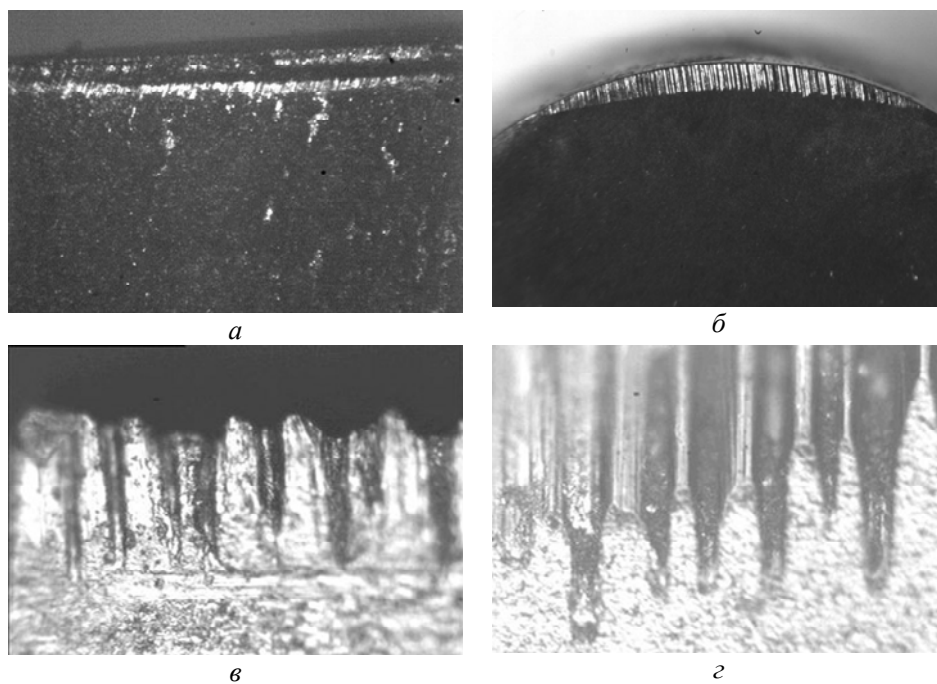


Рис. 4. Инструмент с цилиндрической передней поверхностью, изношенный по передней (а, в) и задней (б, з) поверхностям: $\times 30$ (а, б), $\times 500$ (в, з); сталь марки ШХ15 (60–62 HRC).

Подобный вид режущей кромки и контактных участков инструмента имеет место и при точении традиционным инструментом с плоской передней поверхностью (рис. 5 [4]).

При износе инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ, при точении закаленной стали на его контактных участках формируются впадины с шагом близким к подаче, а сама режущая кромка приобретает волнистый вид. При этом впадины на задней и передней поверхностях инструмента связаны между собой, что, вероятно, обусловлено их формированием вследствие разрушения микрообъемов ПСТМ в области режущей кромки с последующим удалением фрагментов материала как по задней, так и по передней поверхностям инструмента.

Такой характер износа инструмента может быть связан с формированием на его режущей кромке микродефектов, повторяющихся с шагом, соответствующим подаче, при контактировании с краем обрабатываемой детали на каждом ее обороте. Эти микродефекты являются концентраторами напряже-

ний и в дальнейшем от них развивается износ инструмента с характерными впадинами на контактных участках.

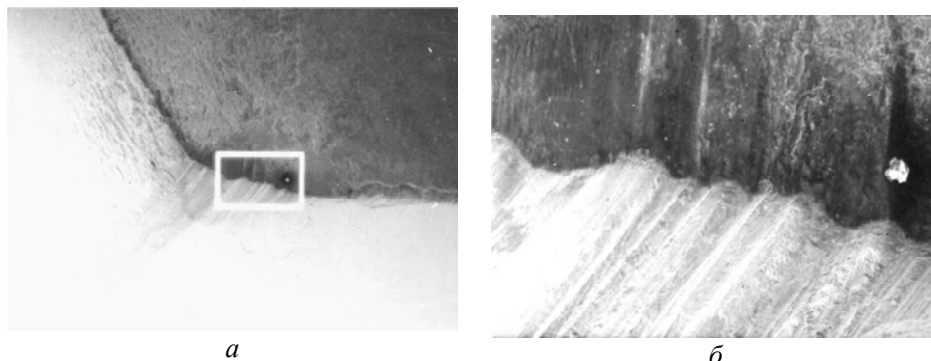


Рис. 5. Изношенный инструмент (а) и его режущая кромка (б) при точении ($v = 50$ м/мин, $h_3 = 0,40$ мм) стали марки ШХ15 (60–62 HRC); $\times 30$ (а), $\times 120$ (б).

Подобный вид изношенных поверхностей инструмента объясняется в [5] “самоизнашиванием” за счет их абразивного разрушения частицами материала инструмента, внедрившимися в поверхность резания и царапающими на первом обороте детали заднюю поверхность инструмента, а на втором, находясь уже в стружке, – его переднюю поверхность.

Как видно на рис. 6, на контактных участках косоугольного однокромочного инструмента также формируются борозды, которые имеют ориентацию, совпадающую с направлением вектора результирующей скорости резания, и, соответственно, угол их наклона по отношению к режущей кромке составляет $90^\circ - \lambda$. Для однокромочного инструмента формирование волнистости на режущей кромке менее выражено в сравнении с рассмотренными выше случаями.

Указанные дефекты формируют микрорельеф участка задней поверхности резца, который копируется на обработанной поверхности в виде повторяющихся близких по форме микронеровностей. Высота выступов, формирующихся на обработанной поверхности вследствие вырывания при износе инструмента отдельных зерен из ПСТМ, может достигать 2–7 мкм. Выкрашивание отдельных участков ПСТМ и появление на режущей кромке инструмента зазубрин наиболее часто является причиной ухудшения качества обработки и служит признаком выхода инструмента из строя.

Математическая обработка экспериментальных данных (при скорости резания $v = 60$ м/мин) позволила описать зависимость стойкости однокромочного косоугольного резца от условий обработки при помощи регрессионного уравнения вида

$$T = -145,14 + 725,46t + 116,16S - 35,52S^2 + 5,96\lambda - 0,04\lambda^2 - 490,02tS - 13,00t\lambda.$$

Зависимость адекватна в диапазоне условий обработки: глубина резания $t = 0,075-0,0125$ мм, подача $S = 0,38-0,95$ мм/об, угол наклона режущей кромки $\lambda = 30^\circ-50^\circ$.

На рис. 7 представлены зависимости стойкости косоугольного однокромочного инструмента от параметров процесса обработки, рассчитанные по приведенной модели.

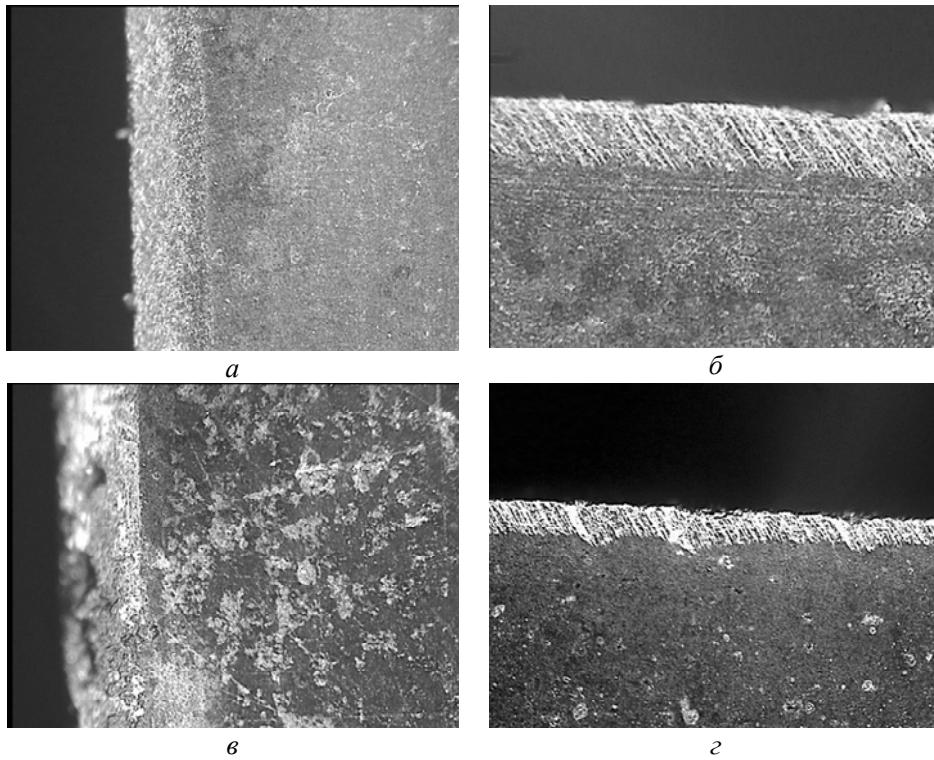


Рис. 6. Контактные участки на передней (*а, в*) и задней (*б, г*) поверхностях инструмента при равномерном износе (*а, б*) и при износе, сопровождающемся микровыкрашиваниями фрагментов материала инструмента в области, прилегающей к режущей кромке (*в, г*); сталь марки ШХ15 (60–62 HRC).

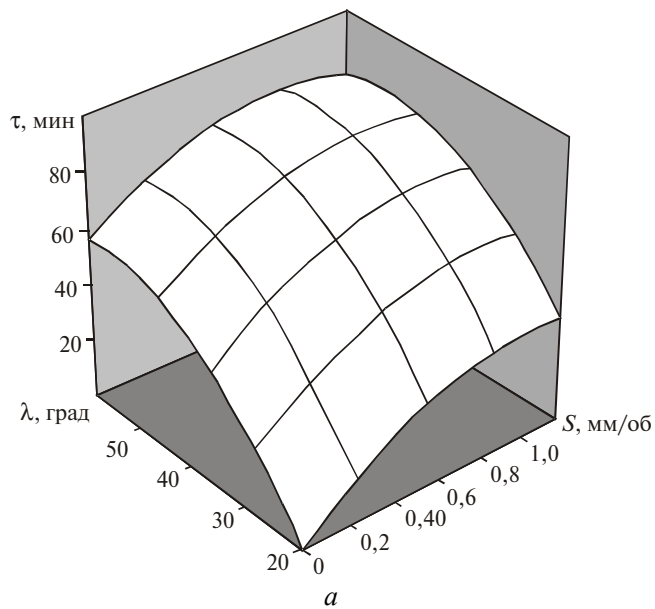


Рис. 7. Зависимость стойкости инструмента от угла наклона режущей кромки и подачи (*а, б*), от подачи и глубины резания (*в, г*): $t = 0,10$ (*а*), $0,15$ (*б*) мм; $\lambda = 50^\circ$ (*в*), 30° (*г*).

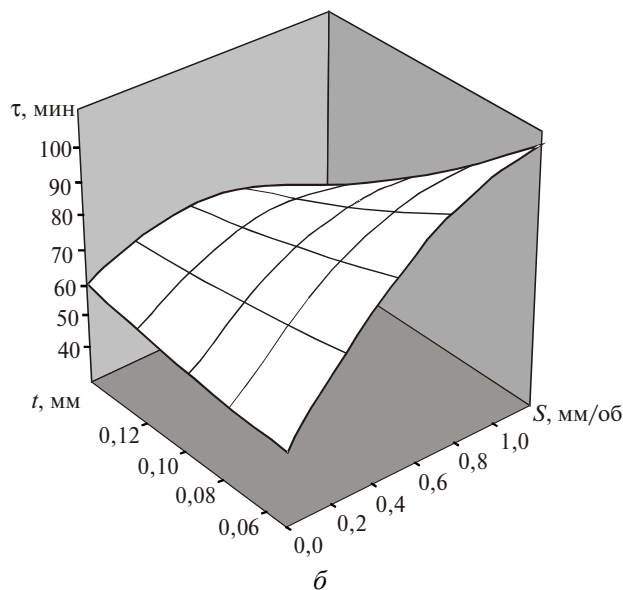


Рис. 7. (Продолжение).

Анализ графика на рис. 7, а показывает, что для указанных условий с ростом λ и S стойкость инструмента возрастает, достигая своего максимума $T = 80\text{--}90$ мин в диапазоне $\lambda = 50^\circ\text{--}55^\circ$, $S = 0,8\text{--}1,0$ мм/об. Скорость и глубина резания составляют при этом $v = 1,3$ м/с и $t = 0,1$ мм. Влияние λ и S на T носит одинаковый характер, хотя изменение угла наклона влияет более значительно. Сравнивая поверхности отклика моделей, полученных авторами и ранее в [6], можно отметить, что максимальная стойкость инструмента наблюдается при температурах $1020\text{--}1040$ °С.

Зависимость стойкости инструмента от глубины резания (см. рис. 6, б) имеет монотонно возрастающий характер при малых ($S = 0,2\text{--}0,4$ мм/об) подачах и монотонно убывающий – при более высоких ($S = 0,6\text{--}1$ мм/об) ее значениях. Оценивая стойкость инструмента при величинах угла $\lambda = 50^\circ$ и 30° , отметим, что для больших значений угла наклона режущей кромки, при прочих равных условиях, период стойкости резца будет выше. Максимальная стойкость инструмента достигается в диапазоне $S = 0,8\text{--}1,2$ мм/об и $t = 0,025\text{--}0,05$ мм и достигает величины $T = 110$ мин ($\lambda = 50^\circ$) и 75 мин ($\lambda = 30^\circ$) соответственно.

ВЫВОДЫ

Выполнен комплекс экспериментальных исследований стойкости и закономерностей изнашивания инструментов в процессе косоугольного резания закаленных сталей инструментами, оснащенными ПСТМ на основе КНБ.

Износ косоугольных резцов происходит по задней поверхности при скоростях резания до 120 м/мин, при более высоких скоростях резания следы изнашивания появляются также и на передней поверхности резцов. В качестве критерия износа следует принимать ширину фаски износа на задней поверхности резца не более 0,3 мм.

Показано, что стойкость косоугольных безвершинных инструментов и резцов с цилиндрической передней поверхностью при точении закаленной стали ШХ15 (60–62 HRC) с подачами до 0,6 и 1 мм/об составляет от 40 до 110 мин соответственно.

Наведено результати експериментальних досліджень закономірностей зношування інструментів, оснащених полікристалічними надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору, в умовах високопродуктивної чистової обробки загартованих сталей косокутними різцями. Досліджено вплив умов обробки на стійкість таких інструментів.

Ключові слова: знос різального інструменту, інструменти на основі КНБ, загартована сталь, чистове косокутне різання, стійкість, умови різання.

The results have been considered of experimental studies of the wear regularities of tools with polycrystalline superhard materials based on cubic boron nitride (PCBN) in high-performance finishing of hardened steel with oblique cutters. The effect of machining conditions on the life of such tools has been analyzed.

Keywords: cutting tool wear, cBN-based tools, hardened steel, oblique finish cutting, tool life, cutting conditions.

1. Клименко С. А., Мельничук Ю. А., Манохин А. С. Высокопроизводительное чистовое точение деталей из закаленных сталей // Инструментальный світ. – 2010. – № 4(48). – С. 7–9.
2. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.
3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова; НАН Украины. Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля. – Т. 5: Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С. А. Клименко. – Киев, 2006. – 316 с.
4. Клименко С. А. Кинетика износа инструмента при точении мартенситных сталей // Сверхтв. материалы. – 1995. – № 2. – С. 71–75.
5. Бухштейн В. И., Тихонцов А. М., Волкогон В. М. и др. Исследование механизма износа двухслойных пластин К10Д при обработке закаленных хромистых сталей // Там же. – 1989. – № 4. – С. 45–51.
6. Манохин А. С. Температура резания при безвершинном точении закаленных сталей // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Житомир: ЖДТУ, 2009. – Вип. 6. – С. 101–111.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 01.06.11