

УДК 621.941

Л. Н. Девин, д-р техн. наук, С. В. Рычев, А. С. Антонюк

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗЦОВ ИЗ КНБ «БОРСИНИТ» ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0

Исследовано влияние скорости резания на силу резания и вероятность разрушения сборных проходных резцов из КНБ «БОРСИНИТ» с подложкой из твердого сплава при различных условиях обработки. Приведены результаты анализа влияния силы резания на вероятность разрушения при различной скорости резания, а также влияния скорости резания на шероховатость заготовки из титана.

Ключевые слова: титановые сплавы, КНБ, сила резания, вероятность разрушения.

Титановые сплавы широко используют в машиностроении и медицине для изготовления ответственных узлов механизмов. Это обусловлено высокими физико-механическими свойствами в сравнении с другими конструкционными материалами. Основные преимущества титановых сплавов следующие:

- высокая удельная прочность;
- коррозионная стойкость в агрессивных средах;
- высокая температура плавления;
- низкий коэффициент температурного расширения;
- биологическая инертность.

Механическая обработка титановых сплавов сопровождается рядом трудностей: при высоком уровне вибраций наблюдаются микросколы и интенсивный износ инструментов;

при высоких адгезионных свойствах к материалу режущей части инструмента наблюдается наростообразование, увеличение вибраций и усложняется стружкоотвод;

при структурно-фазовых изменениях повышается твердость поверхностного слоя обрабатываемой заготовки;

при высокой силе резания увеличивается вероятность разрушения и появляются сколы вершины резца.

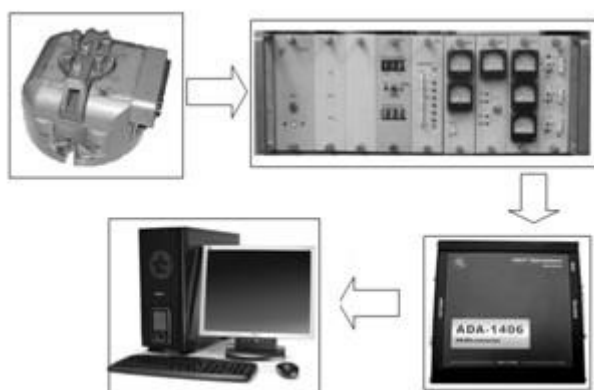


Рис. 1. Блок-схема автоматизированной измерительной системы

Таким образом, исследование обработки титановых сплавов в целях повышения работоспособности резцов из КНБ при точении – актуальна научно-техническая задача.

В ходе эксперимента использовали автоматизированную систему измерения силы резания [1], блок-схема которой показана на рис. 1. Провели экспериментальные исследования по точению титанового сплава ВТ1-0 резцами с пластинками из КНБ марки «БОРСИНИТ» [2] с

острой режущей кромкой, изготовленных в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Испытания проводили без СОТС, а также с использованием СОТС марки «ЕСОСОOL 83».

Точение выполняли на высокоточном токарном станке ТПК-125ВМ с бесступенчатым регулированием скорости вращения шпинделя главного привода от 180 до 900 об./мин (рис. 2) с постоянной подачей 0,1 мм/об. В качестве инструмента использовали сборной проходной резец с углом в плане $\phi = 45^\circ$, оснащенный механически закрепленной пластиной КНБ на подложке из твердого сплава ВК8. Геометрия режущей кромки $\gamma = -10^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, угол заострения $\beta = 90^\circ$.

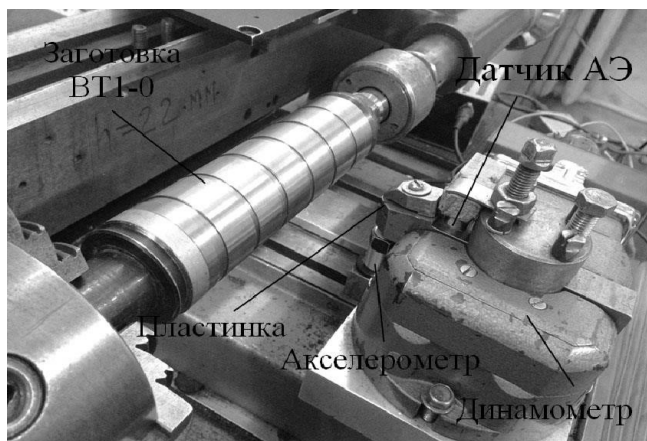


Рис. 2. Общий вид установки для точения

шероховатость обработанной поверхности. Шероховатость измеряли прибором «Surtronic» 3 (Великобритания) фирмы «Rank Taylor-Hobson» (рис. 3).

Автоматизированная система измерения составляющих силы резания состояла из универсального динамометра УДМ-100 (рис. 1, 2) конструкции ВНИИИ (Россия) и разработанного нами тензоусилителя «Топаз», а также АЦП ADA 1406 фирмы «HOLIT Data Systems» и персонального компьютера [3]. Управление АЦП, регистрацию и предварительную обработку экспериментальных данных выполняли с помощью программы «PowerGraph» [4].

Исследовали также влияния скорости резания и вибраций на

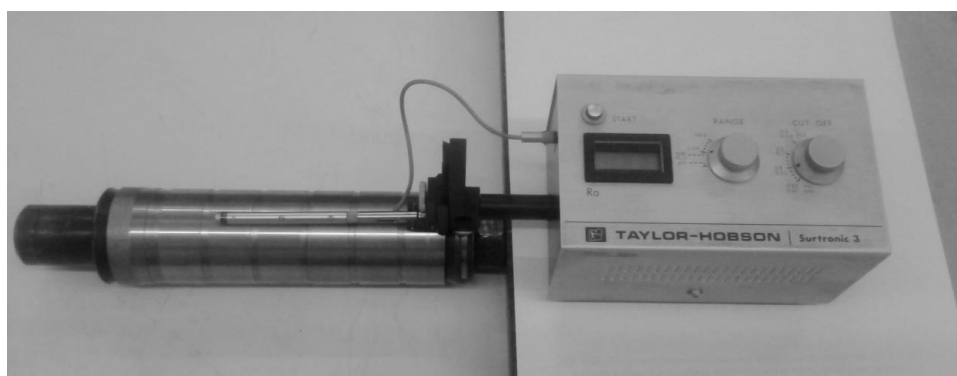


Рис.3.Общий вид прибора для измерения шероховатости Surtronic 3

Для определения напряжений, возникающего на гранях резца, и вероятности его разрушения использовали методику, приведенную в [5]. Обозначим напряжения, возникающие в опасных точках вершины резца при точении S_R , а прочность КНБ при растяжении и сжатии – соответственно S_p и S_c . При механической обработке вследствие неоднородности свойств титанового сплава и нестационарности стружкообразования величина сила резания колеблется. С учетом этого напряжения в опасных точках резца

характеризовали средним значением \bar{S}_R и среднеквадратическим отклонением σ_{S_R} , предполагая, что их распределение не противоречит нормальному закону [6].

Прочность КНБ характеризовалась средними пределами прочности при растяжении и сжатии и их среднеквадратическими отклонениями соответственно $\sigma_{S_R}, \sigma_{S_C}$. Известно, что распределение прочности хрупких материалов наиболее хорошо описывается законом Вейбулла. Однако при оценке параметров распределения по малой выборке (до 20 – 30 образцов) трудно отдать предпочтение закону Вейбулла по сравнению с нормальным или логарифмически нормальным распределением [7].

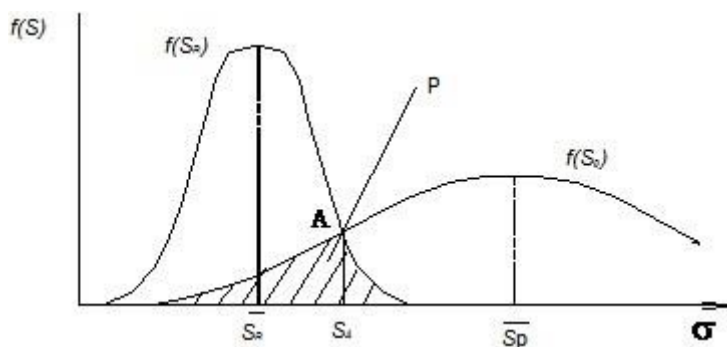


Рис.4. Дифференциальные функции распределения S_p и S_c

Как и в работе [8] для упрощения расчетов на первом этапе допустим, что распределение прочности S_p и S_c подчиняется нормальному закону (рис. 4).

Из [8] известно, что вероятность разрушения резца P в данном случае будет равна площади фигуры, образованной пересечением кривых этих функций, т. е.

$$P = \int_0^{S_A} f(S_p) dS + \int_{S_A}^{\infty} f(S_R) dS, \quad (1)$$

где S_A - напряжение, в точке пересечения A дифференциальных функций $f(S_p)$ и $f(S_R)$.

Величину S^A находили, решая систему уравнений:

$$\begin{cases} f(S_p) = \frac{1}{\sigma_{S_p} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-(S_A - \bar{S}_p)^2 / 2\sigma_{S_p}^2\right] \\ f(S_R) = \frac{1}{\sigma_{S_R} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-(S_A - \bar{S}_R)^2 / 2\sigma_{S_R}^2\right] \end{cases} \quad (2)$$

откуда

$$(\sigma_{S_R}^2 - \sigma_{S_p}^2)^2 S_A^2 + 2(\sigma_{S_R}^2 \bar{S}_R - \sigma_{S_p}^2 \bar{S}_p) S_A + \sigma_{S_R}^2 \bar{S}_R^2 - \sigma_{S_p}^2 \bar{S}_p^2 - 2\sigma_{S_p}^2 \sigma_{S_R}^2 \ln(\sigma_{S_R} / \sigma_{S_p}) = 0 \quad (3)$$

Координата точки A – S_A является корнем уравнения (3).

Для вычисления напряжений на передней и задней гранях резца использовали формулу (4) [9,10].

$$S_R = -\frac{2R}{br} \left\{ \frac{\cos\left[v_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma\right)\right] \cos\left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma\right)\right]}{\beta + \sin \beta} + \frac{\sin\left[v_0 - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma\right)\right] \sin\left[\theta - \left(\frac{\beta}{2} + \gamma\right)\right]}{\beta - \sin \beta} \right\}, \quad (4)$$

где r, θ – полярные координаты.

Графики изменения составляющих силы резания от скорости резания для различных условий обработки во время точения пластиной КНБ марки «борсинит» показаны на рис. 5.

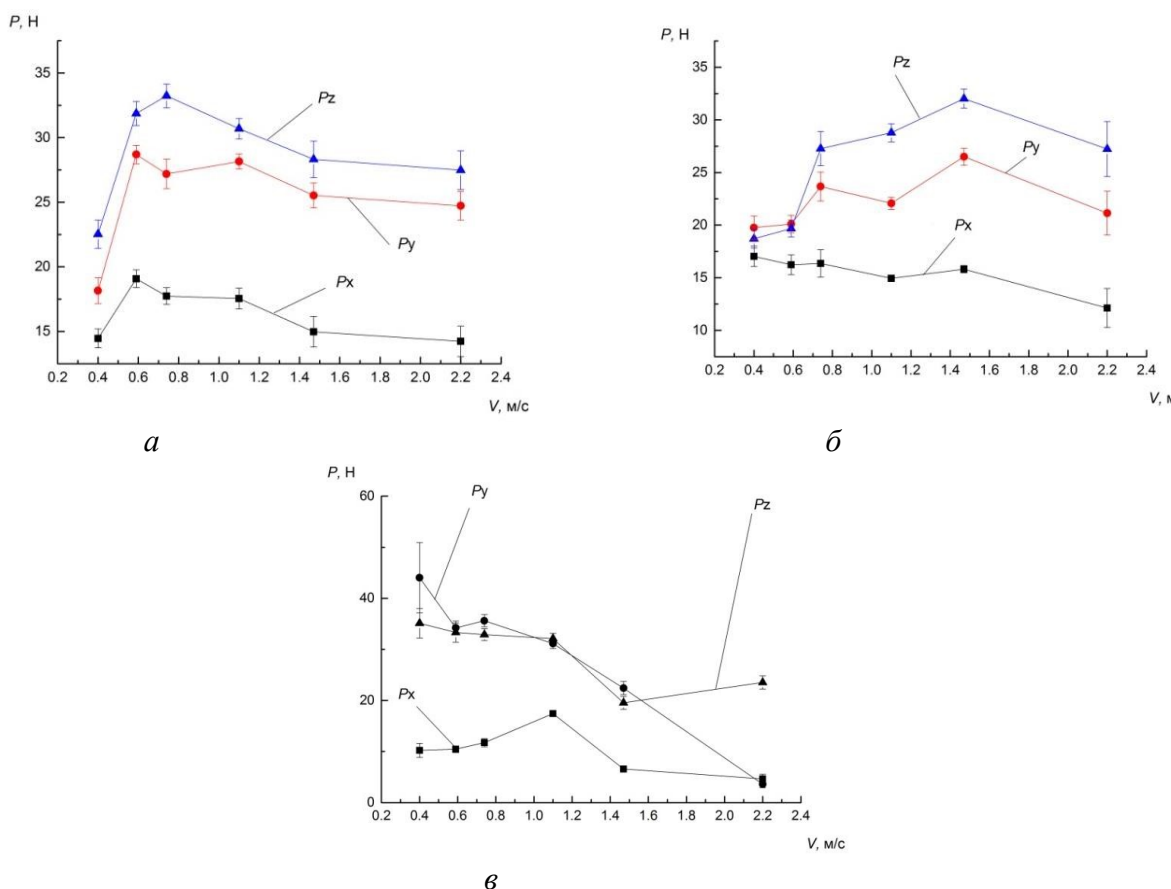


Рис. 5. Графики зависимости составляющих силы резания от скорости обработки: а – острозаточенным резцом без СОТС; б – острозаточенным резцом с СОТС; в – резцом с вершиной радиуса 0,2 мм без СОТС (в)

Данные (рис. 5, а) свидетельствуют, что минимальная сила резания соответствует скорости резания 0,4 м/с. Составляющие силы резания P_x , P_y и P_z повышались при скоростях резания от 0,4–0,74 м/с, после чего при 0,8–2,2 м/ постепенно снижались. Графики зависимости составляющих силы резания от скорости резания при точении острой режущей кромкой с использованием СОТС марки «ЕСОСОOL 83» с постоянной подачей 0,1 мм/об показаны на рис. 5, б. Как видим, вид кривых аналогичный. Минимальная сила резания наблюдалась при скорости резания 0,4 м/с, составляющие P_y и P_z были максимальными при скорости резания 1,5 м/с. При обработке резцом с вершиной радиуса 0,2 мм (рис. 5, в) составляющие силы резания P_y и P_z снижались с повышением скорости резания во всем исследуемом диапазоне.

По полученным значениям силы резания вычислили напряжение на гранях резца (рис. 6).

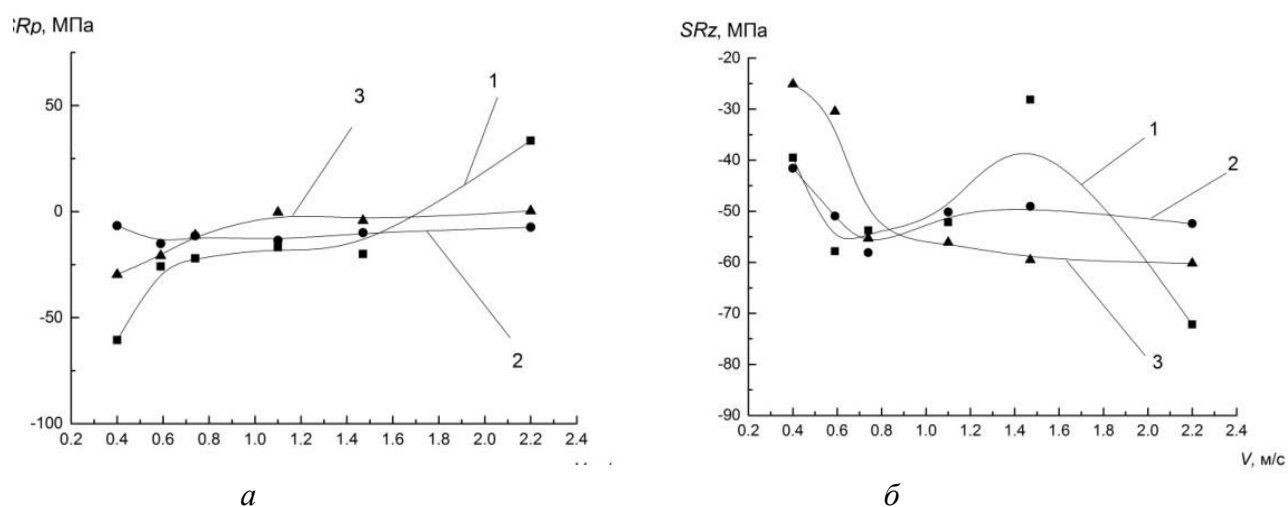


Рис. 6. Графики зависимости напряжения на поверхностях резов передней (а) и задней (б) от скорости резания и условий обработки: 1 – резец с вершиной радиуса $r_v = 0.2$ мм без СОТС; 2 – резец с острой режущей кромкой с использованием СОТС; 3 – резец с острой режущей кромкой без СОТС

С учетом того, что на протяжении периода стойкости может разрушиться передняя или задняя грани резца, для определения вероятности разрушения, напряжение на гранях резов сравнивали с пределом прочности при растяжении и сжатии.

Поскольку вероятность разрушения граней резца является независимой случайной величиной, вероятность разрушения резца в целом вычисляли по формуле $P = P_{II} + P_3 - P_{II}P_3$ [11]. Кривые вероятности разрушения показаны на рис. 7.

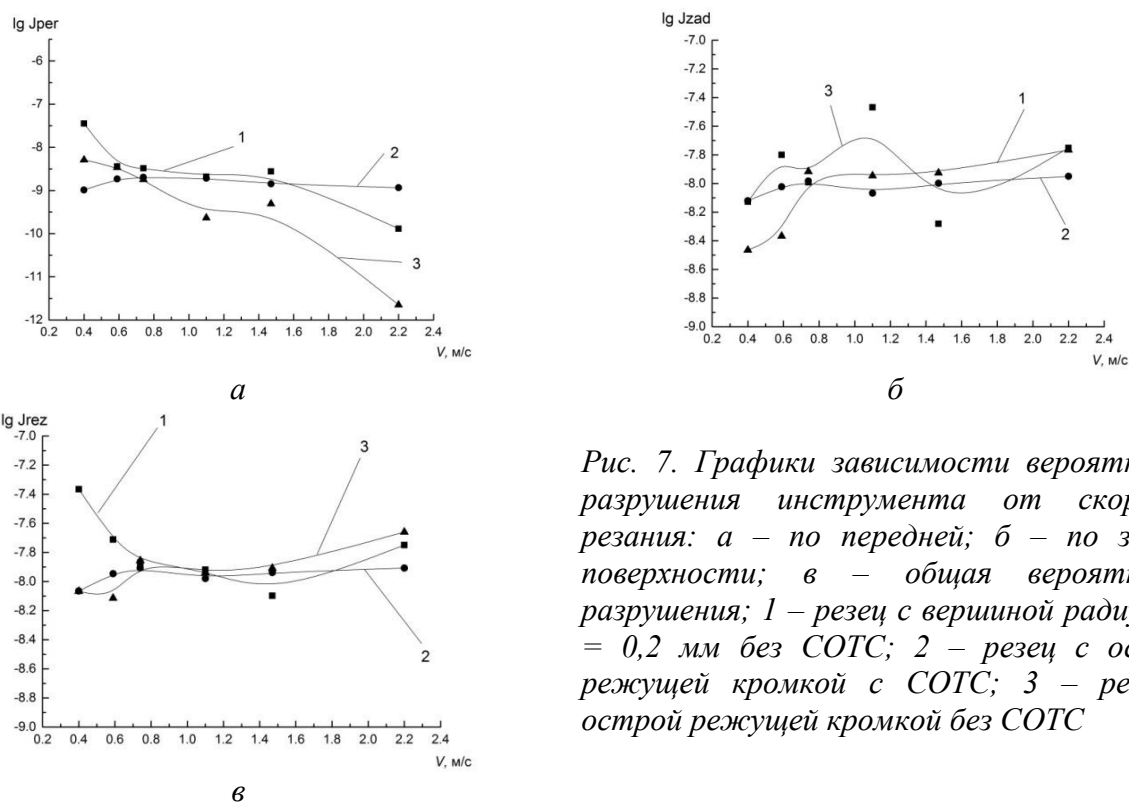


Рис. 7. Графики зависимости вероятности разрушения инструмента от скорости резания: а – по передней; б – по задней поверхности; в – общая вероятность разрушения; 1 – резец с вершиной радиуса $r_v = 0,2$ мм без СОТС; 2 – резец с острой режущей кромкой с СОТС; 3 – резец с острой режущей кромкой без СОТС

Как следует из данных рис. 7, а, вероятность разрушения передней грани резца монотонно снижается при повышении скорости резания. Максимальная вероятность разрушения (рис. 7, а) наблюдалась при скорости резания $V=0,4$ м/с при точении резцом с вершиной радиуса в плане $r_b=0,2$ мм без СОТС. Как видно на рис. 6, а, при обработке со скоростью $V = 2,2$ м/с возникало растягивающее напряжение на передней грани резца. Поскольку оно незначительное, а на задней грани резца отрицательное, вероятность скола резца невелика. В целом проанализировав графики изменения силы резания (рис 5, а–в) и

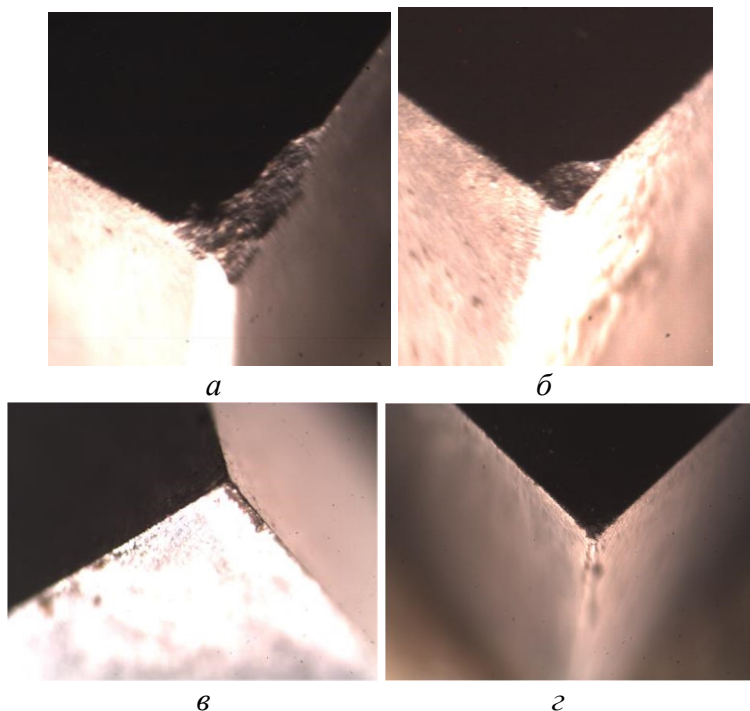


Рис. 8. Изображение износа пластинки из КНБ

напряжения на гранях резца (рис. 6, а–б), пришли к выводу, что с увеличением силы резания усиливается вероятность возникновения опасного растягивающего напряжения на гранях резца, а также общая вероятность разрушения резца (рис. 7).

Характерный скол режущей кромки резца с вершиной радиуса $r_b = 0,2$ мм при точении показан на рис. 8, а. В процессе точения наблюдали следы адгезионного взаимодействия КНБ и ВТ1-0 (рис. 8, б). Режущая кромка с ярко выраженным выкрашиванием задней поверхности после серии экспериментов без СОТС показана на рис. 8, в, закругленная вершина резца после серии

экспериментов СОТС – на рис 8, г.

В процессе экспериментов измеряли вибрации, возникающие при резании, и шероховатость обработанной поверхности. Зависимости шероховатости обработанной поверхности от скорости резания приведены на рис. 9. Как видим, при скорости резания $0,7 - 1,2$ м/с, наблюдалась максимальная шероховатость R_a . При скорости резания $0,4$ м/с минимальная шероховатость наблюдалась при точении без СОТС и составляла $2,47$ мкм (рис. 9, а), с СОТС – $5,56$ мкм.

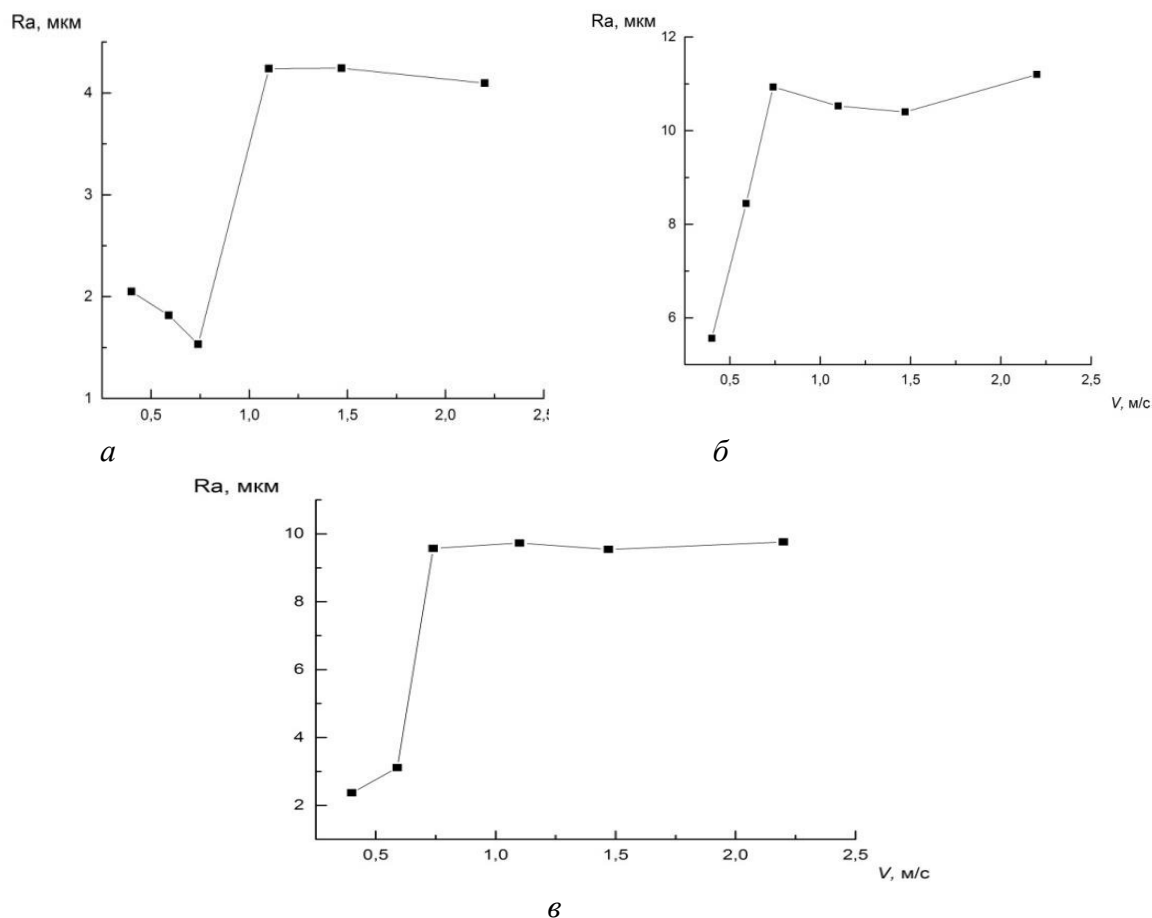


Рис. 9. Графики зависимости шероховатости обработанной поверхности R_a от скорости резания: а – без СОТС острозаточенным резцом (а) резцом с радиусом в плане $r_b = 0,2$ мм; б – без СОТС; в – с СОТС

Выводы

Установлено, что сила резания повышается с повышением скорости обработки при точении резцом с острой режущей кромкой без СОТС. С увеличением силы резания усиливается вероятность возникновения опасного растягивающего напряжения на гранях резца, а также вероятность разрушения резца в целом. При скорости резания 0,7 – 1,2 м/с шероховатость R_a максимальна. Выявленные закономерности позволяют более обоснованно выбирать режимы резания для резца из КНБ «борсинит» при точении титанового сплава ВТ1-0.

Выражаем благодарность сотрудникам лаборатории 18/1 ИСМ НАН Украины Н. Е. Стахниву и В. Н. Ничипоренко за помощь в проведении экспериментов.

Досліджено вплив швидкості різання на складові сили різання та ймовірність руйнування збірних прохідних різців з КНБ «БОРСИНІТ» на підкладці з твердого сплаву за різних умов оброблення. Наведено результати аналізу впливу складових сил різання на ймовірність руйнування за різної швидкості різання, а також впливу швидкості різання на шорсткість заготовки з титану.

Ключові слова: титанові сплави, КНБ, сила різання, ймовірність руйнування.

**STUDY OF PERFORMANCE OF CBN INCISORS «BORSINIT»
WHEN TURNING TITANIUM ALLOY VT1-0**

This paper presents the influence of the cutting speed on the cutting force and the probability of failure of prefabricated feed through cutters CBN with hard alloy substrate under different processing conditions. The results of the analysis of the influence of the cutting forces on the probability of failure for different cutting speeds, as well as the effect of cutting speed on the workpiece surface roughness of titanium

Key words: titanium alloys, CBN, cutting forces, the probability of destruction.

Литература

1. Девин Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. – К: Наук. думка. – 1992. – 131 с.
2. Різальний композит кубічного нітриду бору з низькомодульною добавкою жароміцного нітриду кремнію /А. І. Петруша, О. С. Осіпов, Т. І. Смирнова та ін.// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления : сб. Науч. тр. – 2008. – Вып. 11. – С.206–212.
3. Стахнив Н. Е., Девин Л. Н. Автоматизированная система исследования процесса резания // Резание и инструмент в технологических системах : международ. науч.-техн. сб. – Х. : НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 70. – 546 с.
4. Девин Л.Н., Сулима А.Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностик.– 2008. – № 3. – С. 24–26.
5. Девин Л. Н., Вильгельм М. Прогнозирование вероятности разрушения резцов на основе КНБ // Сверхтвердые матер. – 1992. – № 6. – С. 41–46.
6. Хаэт Г. Л. Прочность режущего инструмента. - М. : Машиностроение, 1975. – 168 с.
7. Прочность материалов при высоких температурах / Г. С. Писаренко, В. Н. Руденко, Г. Н. Третьяченко, В. Г. Трощенко. – К.: Наук. думка, 1966. – 791 с.
8. Базовский И. Надежность. Теория и практика. – М.: Мир, 1965. – 373 с.
9. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
10. Бетанели А. И. Расчет хрупкой прочности режущей части инструмента // Надежность режущего инструмента. – К. : Техника, 1972. – С. 96–105.
11. Гмурман В. Е. Введение в теорию вероятности и математическую статистику. – М.: Высш. шк., 1963. – 238 с.

Поступила 31.05.16