

Коломиец В.В.<sup>1</sup>,  
Ридный Р.В.<sup>1</sup>,  
Антощенко Р.В.<sup>1</sup>,  
Свиргун О.А.<sup>1</sup>,  
Любичева К.М.<sup>1</sup>,  
Vijay Kumar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства  
имени П. Василенка,  
г. Харьков, Украина  
<sup>2</sup>PIIT CREATER NOIDA, India

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ  
ДЕТАЛЕЙ МАШИН РЕЗЦАМИ ИЗ  
ЭЛЬБОРА-Р И ГЕКСАНИТА-Р

УДК 621. 923

*В работе приведены результаты оптимизации геометрических параметров резцов из эльбора-Р и гексанита-Р при непрерывном и прерывистом точении закаленных сталей высокой твердости. Приведена оптимизация режимов резания при точении и растачивании отверстий в деталях ряда групп обрабатываемых материалов. Установлены оптимальные значения скорости резания при чистовом точении наплавленных материалов резцами из гексанита-Р.*

**Ключевые слова:** геометрические параметры, закаленные стали, режимы резания, оптимальные скорости резания, наплавленные материалы, эльбор-Р, гексанит-Р, резцы.

**Введение.** После успешного синтеза кубического нитрида бора были определены его уникальные свойства: микротвердость, близкая к твердости алмаза, термостойкость более высокая, чем у алмаза, химическая инертность к железу [1, 2]. Эти свойства нитрида бора позволили разработать ряд инструментальных материалов с высокими режущими характеристиками, позволяющими успешно обрабатывать закаленные стали высокой твердости, наплавленные материалы, неметаллы и другие труднообрабатываемые материалы [3, 4]. Наибольшее применение в металлообработке получили материалы типа эльбор-Р и гексанит-Р, которые успешно выпускаются инструментальными заводами, институтами и фирмами.

Проведенными опытами и практикой установлено, что обработка резанием деталей машин из закаленных сталей и других материалов высокой твердости резцами из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора типа эльбор-Р и гексанита-Р обеспечивает повышение производительности труда в два-три раза. При этом стойкость таких резцов значительно превышает стойкость резцов из твердых сплавов и минералокерамического инструмента и составляет 2 – 3 часа машинного времени при точении непрерывных поверхностей. Обработку прерывистых поверхностей, возможно, проводить только резцами из гексанита-Р, которые допускают ударные нагрузки. Стойкость резцов при этом уменьшается и составляет 1,5-2 часа машинного времени. Эффективность применения резцов из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора увеличивается при большей твердости обрабатываемой детали, что можно объяснить их повышенными свойствами. Однако практикой установлено, что для применения резцов из эльбора-Р и гексанита-Р необходимо определить их оптимальные геометрические параметры и оптимальные скорости резания для каждой технологической операции.

**Объектом исследования** является оптимизация процесса обработки резанием закаленных сталей и неоднородных наплавленных материалов деталей тракторов.

**Цель исследования.** Выявить и обосновать причины низкой стойкости инструмента из твердых сплавов и сверхтвердых материалов на основе нитрида бора при чистовом точении закаленных сталей и неоднородных наплавленных материалов изношенных деталей машин, работающих в аналогичных условиях. Установить оптимальные геометрические параметры режущих элементов резцов из эльбора-Р и гексаниа-Р и оптимальные скорости резания при обработке сталей высокой твердости и наплавленных материалов.

**Методы исследования.** Для проведения исследований были выбраны труднообрабатываемые закаленные стали и наплавочные материалы, отличающихся химическим составом, физико-механическими свойствами, и областью применения. Опыты проводили при точении и растачивании непрерывных и прерывистых поверхностей деталей из закаленных сталей.

В качестве инструментальных материалов были выбраны – 2-х карбидный твердый сплав типа Т15К6, который широко применяется в машиностроении для обработки деталей из выбранных материалов и сверхтвердые материалы на основе нитрида бора типа эльбор-Р (композит - 01) и гексанит – Р (композит – 10). Опыты проводили на токарных станках. Величину и характер износа резцов по задней поверхности оценивали на универсальном инструментальном микроскопе. Критерием износа резцов служил износ по задней поверхности ( $h_3 = 0,6$  мм). В табл. 1 приведены основные свойства инструментальных материалов.

Таблица 1

**Основные свойства инструментальных материалов**

| Марка материала инструмента | Плотность, $\gamma$ , г/см <sup>3</sup> | Микротвердость, НВ, ГПа | Твердость, НРА | Модуль упругости, ГПа | Прочность, ГПа |            | Теплостойкость, °С |
|-----------------------------|---|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------|--------------------|
|                             |   |                         |                |                       | При изгибе     | При сжатии |                    |
| Твердый сплав Т15К6         | 11,1-11,6                               | –                       | 90             | 5,2                   | 1,15           | 3,7        | 850-900            |
| Эльбор-Р (композит-01)      | 3,31-3,39                               | 60-80                   | –              | 6,65-8,85             | 0,4-0,5        | 2,2-2,6    | 1000-1300          |
| Гексанит-Р (композит-10)    | 3,28-3,36                               | 40-60                   | –              | 6,65-8,85             | 0,8-1,2        | 2,6-4,0    | 1000-1300          |

**Результаты исследований и их обсуждение.** Проведенными опытами и практикой применения резцов из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора установлено, что их эффективное применение возможно при точном установлении оптимальных геометрических параметров резцов для каждой технологической операции. Установлено, что при точении непрерывных поверхностей резцы из эльбора-Р, имеющие большую микротвердость, чем резцы из гексаниа-Р, более износостойки. При точении прерывистых поверхностей более эффективны резцы из гексаниа-Р. Прерывистое точение труднообрабатываемых материалов резцами из твердых сплавов типа Т15К6 возможно только на малых скоростях резания, что делает точение малопродуктивным, и, следовательно, не эффективным. Поэтому оптимизировать их геометрические параметры для таких процессов нецелесообразно.

При оптимизации геометрических параметров резцов и эльбора-Р, и гексанита-Р опыты проводили как при однофакторном, так и при многофакторном эксперименте. На основе проведенных опытов установлены пределы изменения геометрических параметров резцов из эльбора-Р и гексанита-Р для обработки ряда труднообрабатываемых закаленных сталей и для сравнения серых чугунов, для которых были оптимизированы и скорости резания также только для сравнения (табл. 2).

Таблица 2

**Рекомендуемые геометрические параметры резцов из эльбора-Р и гексанита-Р**

| Геометрические параметры резцов                 | Группы обрабатываемых материалов                   |                      |  |                      |                      |
|---|--|----------------------|--|----------------------|----------------------|
|   | Р18, Р6М5, У8А, У10А                               | ХВГ, Х12М, ШХ15      | 20Х, 40Х, 12ХН3А                       | 30ХГСА, 38ХМЮА       | СЧ18, СЧ28           |
|   | Марка резца и вид обрабатываемой поверхности       |                      |  |                      |                      |
|   | Эльбор-Р – непрерывные<br>Гексанит-Р – прерывистые |                      | Гексанит-Р – непрерывные и прерывистые |                      |                      |
| Передний угол, $\gamma^\circ$                   | -10...-15<br>/-10                                  | -10...-15<br>/-10    | -10...-15<br>/-10                      | -5...-8<br>/-5       | -10<br>/-10          |
| Задние углы, $\alpha^\circ, \alpha_1^\circ$     | 10-15<br>/18-20                                    | 10-15<br>/18-20      | 10-15<br>/18-20                        | 10-12<br>/16-18      | 10<br>/20            |
| Главный угол в плане, $\varphi^\circ$           | 40-45<br>/45-50                                    | 35-40<br>/40-45      | 35-40<br>/40-45                        | 35-40<br>/40         | 40<br>/40            |
| Вспомогательный угол в плане, $\varphi_1^\circ$ | 15-20<br>/10-15                                    | 15-20<br>/10-15      | 15-20<br>/10-15                        | 15-20<br>/10         | 20<br>/15            |
| Длина зачистного лезвия, $l_f$ , мм             | 0,2-0,3<br>/0,1-0,15                               | 0,2-0,3<br>/0,1-0,15 | 0,2-0,3<br>/0,15-0,2                   | 0,2-0,3<br>/0,15-0,2 | 0,3-0,4<br>/0,15-0,2 |

Примечание: в числителе для наружного точения, в знаменателе /для расточки отверстий при  $\lambda = 0^\circ$ .

Известно, что инструментальные заводы и зарубежные фирмы выпускают режущие пластинки из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора со стандартными геометрическими параметрами. Поэтому, чтобы получить отрицательные передние углы с различными значениями необходимо изготовить конструктивные элементы или в виде прокладок или крепежных державок, обеспечивающих требуемые значения передних углов резцов. Другие геометрические параметры резцов могут быть получены за счет установки в резцедержателе.

Оптимизацию режимов резания проводили в зависимости от их влияния на стойкость резца при постоянных значениях других условий обработки. Функциональная зависимость стойкости резцов от режимов резания при известном характере влияния скорости резания имеет вид:

$$T = \frac{C_T}{V^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}},$$

где:  $C_T$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;  $V, S, t$  – скорость, подача и глубина резания;  $m, y_v, x_v$  – показатели степени, которые определяли опытным путем при многофакторном эксперименте. Так при чистовом точении закаленной стали У10А резцами из эльбора-Р была получена следующая зависимость стойкости от принятых режимов резания:

$$T = \frac{5,4 \cdot 10^3}{V^{1,58} \cdot S^{0,51} \cdot t^{0,46}}$$

На основании проведенных исследований были определены интервалы изменения режимов резания, при которых стойкость резцов из эльбора-Р и гексанита-Р будет

максимальной. Рекомендуемые режимы резания при наружном точении и растачивании отверстий с учетом оптимальных геометрических параметров приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Рекомендуемые режимы резания при точении деталей резцами из эльбора-Р и гексанига-Р**

| Режимы резания                            |                  | Группы обрабатываемых материалов                   |                            |                          |                         |
|---|------------------|--|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
|   |                  | P18, P6M5, Y8A, ШХ15 X12M, ХВГ 5ХНМ, У10 HRC 58-64 | 20Х, 40Х, 12ХН3А HRC 48-55 | 30ХГСА, 38ХМЮА HRC 35-50 | Сч 18, Сч 28 НВ 120-180 |
| Скорость резания, V, м/с                  |                  | 1,3-1,5/<br>1,0-1,3                                | 1,5-2,0/<br>1,3-1,4        | 2,0-2,5/<br>1,4-1,6      | 8,0-10,0/<br>5,0-7,0    |
| Подача, S, мм/об                          | Наружное точение | 0,04-0,08/<br>0,07-0,1                             | 0,04-0,08/<br>0,07-0,1     | 0,04-0,08/<br>0,07-0,1   | 0,07-0,15/<br>0,07-0,1  |
|   | Растачивание     | 0,02-0,05/<br>0,04-0,07                            | 0,02-0,1/<br>0,04-0,1      | 0,02-0,1/<br>0,04-0,1    | 0,05-0,1/<br>0,1-0,15   |
| Глубина резания, t, мм                    | Наружное точение | 0,1-0,3/<br>0,15-0,3                               | 0,1-0,3/<br>0,15-0,3       | 0,1-0,4/<br>0,15-0,4     | 0,2-0,4/<br>0,2-0,4     |
|   | Растачивание     | 0,1-0,15   | 0,1-0,2                    | 0,1-0,2                  | 0,2-0,4                 |
| Ориентировочная стойкость резцов, T, мин. |                  | 120-140/<br>60-80                                  | 150-180/<br>80-120         | 150-200/<br>100-120      | 240-360/<br>150-200     |

Примечание: в числителе для непрерывного точения, в знаменателе /для прерывистого точения.

Детали машин из закаленных сталей и других труднообрабатываемых материалов в процессе эксплуатации изнашиваются и их восстанавливают в большинстве случаев электродуговой автоматической наплавкой. Поэтому важным является определение оптимальных скоростей резания для основных групп наплавленных материалов резцами из гексанига-Р, так как другие инструментальные материалы в данных условиях неэффективны. На основании проведенных исследований в табл. 4 [5] приведены рекомендуемые скорости резания ряда наплавленных материалов резцами из гексанига-Р.

Общая зависимость для определения оптимальной скорости резания при чистовом точении наплавленных материалов имеет вид:

$$V_o = \frac{C_v \cdot \prod_{i=1}^n K_{vi}}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v} \cdot K_n}$$

где:  $C_v$  – постоянный коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого наплавленного материала при оптимальных геометрических параметрах режущей части инструмента;  $K_{vi}$  – коэффициенты, учитывающие условия обработки данным инструментом:  $K_n$  – коэффициент неоднородности обрабатываемого наплавленного материала.

При выбранных оптимальных геометрических параметрах инструмента и принятых условиях процесса резания  $K_{vi}$  - принимается равным единице. Показатели степеней при подаче, глубине резания и стойкости резца определялись при однофакторном эксперименте. Для исследований на первом этапе использовали специально изготовленные образцы, а на втором - производственно отобранные детали тракторов типа изношенных валов, кронштейнов, карданов и барабанов.

**Рекомендуемые скорости резания при чистовом точении наплавленных материалов резцами из гексанига-Р**

| Марка наплавочной проволоки и защитная среда                              | Твердость наплавки, HRC       | Скорость резания, V, м/с | Коэффициент обрабатываемости, K <sub>o</sub> | Коэффициент эффективности процесса, K <sub>э</sub> |
|---|-------------------------------|--------------------------|--|--|
| Нп-30ХГСА<br>водяной пар<br>углекислый газ, CO <sub>2</sub><br>под флюсом | 22-26 3,0-2,6 1,2-1,0 1,5-2,0 |                          |  |  |
|   | 24-30                         | 2,5-2,2                  | 0,95-0,9                                     | 1,8-2,4  |
|   | 32-36                         | 2,2-2,0                  | 0,85-0,8                                     | 2,5-3,0  |
| ПП-Нп-18Х1Г1М<br>под флюсом   | НВ320-380                     | 2,4-2,0                  | 0,95-0,9                                     | 2,0-2,5  |
| Нп-50, под флюсом   | 45-50                         | 2,0-1,8                  | 0,7-0,65                                     | 4,0-5,0  |
| ПП-Нп-10Х17Н9С5-ГТ, под флюсом  | 27-34                         | 2,2-2,0                  | 0,85-0,8                                     | 3,5-5,0  |
| ПП-Нп-25Х5ФМС<br>под флюсом   | 46-52                         | 2,0-1,8                  | 0,7-0,65                                     | 4,0-5,0  |
| ПП-Нп-10Х14Т,<br>самозащитная   | 46-52                         | 1,8-1,5                  | 0,65-0,6                                     | 4,0-5,0  |
| ПП-Нп-30Х5Г2СМ,<br>самозащитная   | 50-56                         | 1,6-1,5                  | 0,62-0,6                                     | 5,0-6,0  |
| ПП-Нп-200Х15С1-ГРТ, самозащитная  | 50-56                         | 1,5-1,3                  | 0,55-0,5                                     | 7,0-8,0  |
| ПП-Нп-250Х10Б8-С2Т, самозащитная  | 50-58                         | 1,4-1,2                  | 0,5-0,45                                     | 10,0-12,0  |
| Нл-65Г, приварка с охлаждением  | 60-65                         | 1,3-1,1                  | 0,45-0,4                                     | 12,0-15,0  |

Примечание: обрабатываемость определена по сравнению с обработкой наплавленного материала проволокой Нп-30ХГСА HRC 26 в среде водяного пара; эффективность определена по сравнению с точением резцами из твердого сплава Т15К6.

Наплавку проводили по оптимальным режимам в лабораторных и производственных условиях ремонтных предприятий. Обработка результатов опытов позволила установить значение коэффициентов и показателей степени для расчета оптимальной скорости резания при обеспечении необходимой стойкости резцов из гексанига – Р - Т = 60 мин. для материалов, наплавленных широко применяемыми в машиностроении проволоками Нп- 30ХГСА и ПП-Нп-30Х5Г2СМ (табл. 5).

Таблица 5

**Значения коэффициентов и технологических показателей оптимальной скорости резания наплавленных материалов резцами из гексанига – Р**

| Марка наплавленного материала | Твердость наплавленного слоя, HRC | Коэффициенты и показатели степени |                |      |      |      |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|------|------|------|
|                               |                                   | Cv                                | K <sub>n</sub> | Уv   | Xv   | m    |
| Нп – 30ХГСА                   | 35                                | 190                               | 3,0            | 1,05 | 1,25 | 1,33 |
| ПП – Нп – 30Х5Г2СМ            | 56                                | 80                                | 5,6            | 1,25 | 1,78 | 0,96 |

Примечание: геометрические параметры резцов:  $\gamma = -10^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$ ;  $\varphi = 40^\circ$ ;  $\varphi_1 = 20^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $l_f = 0,2 \dots 0,4$  мм; или  $r = 0,6 \dots 1,2$  мм; подача  $S = 0,07 \dots 0,1$  мм/об; глубина резания  $t = 0,2 \dots 0,3$  мм.

**Выводы.** Резцы из сверхтвердого инструментального материала на основе нитрида бора типа эльбор-Р особенно эффективны при обработке закаленных сталей высокой твердости при непрерывной обработке, а резцы из гексанита-Р рекомендуются для прерывистой обработки закаленных сталей и наплавленных материалов с высокой неоднородностью и повышенной твердостью металла.

#### Литература:

1. Wentorf R.H. Ir. Synthetic of cubic Boron Nitride. – “Chem. Phys.” 1961, v. 34, N1, p. 809-817.
2. Meyer H.R. Schleifen mit Diamante und Kubisch Kristallinem Bornitrid. – Betriebstechnik, 1977, 18, N39, s. 41-42.
3. Инструменты из сверхтвердых материалов. /Под ред. Н.В. Новикова и А.С. Клименко. - М.: Машиностроение, 2014 – 608 с.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. /Под общей ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.3. «Резание материалов лезвийными инструментами». Одесса: ОНПУ. 2003. – 550 с. /Монография. Авторы: Новиков Ф.В., Якимов А.В., Коломиец В.В., и др./.
5. Обработка резанием деталей с покрытиями: Монография / С.А. Клименко,
6. В.В. Коломиец, М.Л. Хейфец и др. Под общ. ред. С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.

#### Summary

**Kolomiets V.V., Ridnyi R.V., Antoshchenkov R.V., Svirgun O.A., Lubitcheva K.M., Vijay Kumar.** Optimization of cutting modes of machine parts by chisels made of elbor-R and hexanite-R

*In the work results of optimization of geometrical parameters of chisels made of elbor-R and hexanite-P are shown with continuous and intermittent turning of hardened steels of high hardness. The optimization of the cutting modes for turning and boring holes in the details of a number of groups of processed materials is given. Optimum values of the cutting speed are established at a fine cutting of the deposited materials with hexanite-P chisels.*

**Keywords:** *geometric parameters, hardened steels, cutting modes, optimal cutting speeds, welded materials, elbor-R, hexanite-R, chisels.*

#### References

1. Wentorf R.H. Ir. Synthetic of cubic Boron Nitride. – “Chem. Phys.” 1961, v. 34, N1, p. 809-817.
2. Meyer H.R. Schleifen mit Diamante und Kubisch Kristallinem Bornitrid. – Betriebstechnik, 1977, 18, N39, s. 41-42.
3. Tools of superhard materials. Ed. N.V. Novikov and A.S. Klivenko. - M.: Mechanical Engineering, 2014 - 608 p.
4. Physico-mathematical theory of the processing of materials and technology of engineering. / Under the general ed. F.V. Novikov and A.V. Yakimova. In ten volumes. - T.3. "Cutting of materials with blade tools". Odessa: ONPU. 2003. - 550 with. / Monograph. Authors: Novikov FV, Yakimov A.V, Kolomiets V.V, and others.
5. Machining of parts with coatings: Monograph / S.A. Klivenko, V.V. Kolomiets, M.L. Heifets, etc. Under the general. Ed. S.A. Klivenko. - K.: ISM them. V.N. Bakulev National Academy of Sciences of Ukraine, 2011. - 353 p.