

В. Коломиец, Р. Ридный, А. Никифоров, Харьков, Украина  
С. Клименко, Киев, Украина

## **УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОЧЕНИИ РЕЗЦАМИ С ПКНБ «КИБОРИТ»**

**Аннотация.** *Приведены результаты экспериментального исследования упрочнения поверхностного слоя наплавленных деталей при механической обработке резцами, оснащенными поликристаллическим сверхтвердым материалом на основе кубического нитрида бора «киборит». Использовались резцы с большой величиной переднего угла. Изучено влияние режимов обработки на величину поверхностной микротвердости и толщину упрочненного поверхностного слоя деталей. Показана возможность увеличения микротвердости поверхностного слоя наплавленных деталей в 1,8–2,1 раза.*

**Ключевые слова:** *наплавленный металл; точение; инструмент с ПСТМ; микротвердость; толщина упрочненного слоя.*

**Введение.** Известно, что эксплуатационные свойства обработанных деталей зависят от вида и режимов механической обработки [1] – они определяются физико-механическим состоянием их поверхностного слоя [2].

Одним из важнейших показателей состояния деталей после обработки является упрочнение, связанное с изменением твердости поверхностного слоя детали. Оно характеризуется глубиной наклепа – толщиной верхнего слоя детали, в котором имеет место изменение твердости по отношению к твердости основного материала детали (мм), и степенью наклепа – отношению твердости поверхности детали после обработки к ее исходной твердости (%).

Наклеп является следствием структурно-фазовых превращений в материале детали и его пластической деформации в результате термобарического нарушения в зоне обработки и естественным образом сопровождает процесс обработки. В тоже время, исходя из представлений о требуемом по условиям эксплуатации состоянии поверхностного слоя обработанных деталей, параметрами упрочнения можно управлять в достаточно широких пределах как в процессах лезвийной и абразивной обработки, та и процессах обработки поверхностной пластической деформацией [3].

В [4] рассмотрено формирование упрочненного поверхностного слоя на деталях из закаленной стали ШХ15 при обработке однокромочным косоугольным резцом из поликристаллического сверхтвердого материала (ПСТМ) «борсинит».

Показано, что глубина и степень наклепа обусловлены высокой температурой при обработке инструментом из ПСТМ закаленной стали и величиной радиуса округления режущей кромки инструмента. Последнее, применительно к чистовой обработке косоугольным инструментом, аналогично обработке резцом с большим отрицательным передним углом.

Авторы [5, 6] изучили «естественное» образование упрочненного поверхностного слоя при обработке наплавленных деталей резцами, оснащенными твердым сплавом Т15К6 и ПКНБ «гексанит-Р», «киборит». Изучено влияние скорости резания, переднего угла и величины износа режущего инструмента и показано, что изменение условий и режимов обработки нужно рассматривать комплексно. В частности, увеличение скорости резания, за счет влияния на температуру в зоне обработки может снижать параметры упрочнения, а за счет влияния на величину износа инструмента – увеличивать.

Представляет интерес исследование возможности «принудительного» упрочнения поверхностного слоя деталей в процессе лезвийной обработки.

В [7] исследована возможность лезвийно-упрочняющей токарной обработки деталей из высокопрочного чугуна инструментами из твердого сплава Т15К6 и ПКНБ «гексанит-Р», при которой в процессе обработки в поверхностном слое изделий целенаправленно образуется особая структура – «белый слой» с высокой твердостью, что обеспечивает обработанным изделиям повышение эксплуатационных свойств (износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность, коррозионная стойкость и др.). Обработка характеризуется большими температурами (до 1120–1300 К), обусловленными высокими скоростями резания и давлением в контактной зоне (до 15–18 ГПа), что имеет место за счет использования инструмента с большими отрицательными передними углами – до  $\gamma = -(30-50)^\circ$ .

В настоящее время на инструментальном рынке имеется широкая гамма ПКНБ [8]. Выбор наиболее работоспособного из них расширяет технологические возможности лезвийно-упрочняющей обработки, поскольку ужесточение режимов резания такими инструментами позволяет значительно повысить механические свойства поверхностного слоя изделий.

Инструменты с ПКНБ позволяют распространить лезвийно-упрочняющую технологию на обработку деталей из различных конструкционных материалов, в частности, на случай обработки наплавленных деталей.

Целью настоящей работы было экспериментальное исследование параметров упрочнения поверхностного слоя наплавленных деталей при их лезвийно-упрочняющей обработке резцами с ПКНБ «киборит».

**Методика исследований.** Исследования проводились на деталях, наплавленных методом электродуговой наплавки наплавочной проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса АН-348А.

Обработка проводилась резцами, оснащенными сменными неперетачиваемыми пластинами RNMN 070300 из поликристаллического сверхтвердого материала на основе кубического нитрида бора (ПКНБ) торговой марки «киборит». Режимы резания изменялись в диапазоне: скорость резания  $v = 0,9-2,3$  м/с; подача  $S = 0,14-0,28$  мм/об; глубина резания  $t = 0,25-0,45$  мм. Величина переднего угла инструмента –  $\gamma = (10 - 60)^\circ$ .

В качестве выходных параметров процесса обработки приняты величины поверхностной микротвердости и толщины упрочненного поверхностного слоя.

Для исследования микротвердости поверхностного слоя деталей, обработанных с режимами резания, изменяющимися по рототабельному плану второго порядка, выполнялись косые шлифы. Измерение проводили с использованием микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 50 грамм. Величина микротвердости в глубине наплавленного образца –  $H_{50} = 3100-3220$  МПа.

**Результаты и обсуждение.** На рис. 1 приведены результаты исследования влияния режимов резания на величину поверхностной микротвердости – уровни постоянной микротвердости в зависимости от сочетания скорости и глубины резания, скорости резания и подачи, глубины резания и подачи. Характер линий равной микротвердости на рис. 1 *а,б* свидетельствует о менее значительном влиянии скорости резания в сравнении с глубиной резания и подачей. Результаты, приведенные на рис. 1 *в*, говорят о близкой степени влияния изменения глубины резания и подачи на величину поверхностной микротвердости наплавленной детали.

Влияние режимов обработки на толщину упрочненного наплавленного поверхностного слоя представлено на рис. 1 *з – е*.

Анализ поверхностей отклика показывает меньшее влияние на толщину упрочненного слоя скорости обработки в сравнении с глубиной резания и величиной подачи, хотя последняя влияет менее интенсивно.

Результаты исследований влияния переднего угла инструмента  $\gamma$  на упрочнение наплавленного поверхностного слоя деталей показывают, что

наибольшее упрочнение наплавленных деталей достигается при точении резцом с передними углами –  $(40 - 50)^\circ$  (табл. 1.).

Таблица 1 – Влияние величины переднего угла инструмента на параметры упрочнения наплавленной детали

| Величина переднего угла, $\gamma^\circ$ | Поверхностная микротвердость $H_{50}$ , МПа | Толщина упрочненного поверхностного слоя $h$ , мкм |
|---|---|--|
| -10                                     | 3120–3350                                   | –  |
| -20                                     | 3970–4260                                   | 15–22  |
| -30                                     | 4780–4930                                   | 32–38  |
| -40                                     | 5700–5920                                   | 47–54  |
| -50                                     | 5340–5480                                   | 35–41  |
| -60                                     | 4900–5190                                   | 20–25  |

Обработка резцами из ПКНБ «киборит» с большими отрицательными значениями переднего угла  $\gamma$  сопровождается структурными изменениями в поверхностном слое деталей, приводящими к появлению слаботравящегося «белого слоя» значительной толщины. Этот слой представляет собой бесструктурный мартенсит, что обуславливает его высокую твердость – если в исходном состоянии наплавленный металл имел структуру троостита и микротвердость  $H_{50} = 3100\text{--}3220$  МПа, то микроструктура упрочненного поверхностного слоя представляла собой бесструктурный мартенсит с микротвердостью  $H_{50} = 5700\text{--}5920$  МПа.

Применительно к выбранному наплавленному материалу толщина упрочненного слоя при лезвийно-упрочняющей обработке составляет 60–80 мкм (рис. 2), что объясняется невысоким содержанием углерода в материале. При этом, в процессе термобарического нагружения в зоне обработки имеет место и восходящая диффузия углерода [9], связанная с градиентом напряжений из-за объёмных изменений при нагреве и охлаждении поверхностного слоя наплавленного материала и фазовых превращений в нем. Этому способствует также интенсивная пластическая деформация в контактной зоне.

Полученные результаты позволяют обоснованно предположить, что выбирая условия проведения лезвийно-упрочняющей обработки, можно

ефективно управлять експлуатаційними властивостями наплавлених деталей, в частині, їх зносостійкістю.

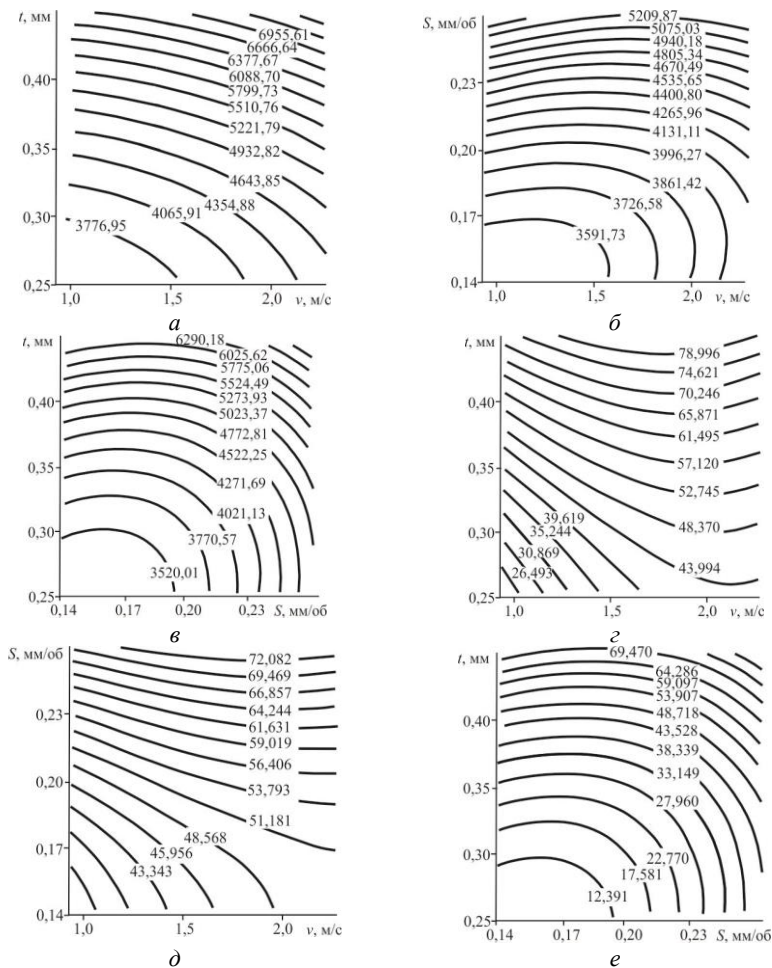


Рисунок 1 – Влияние скорости и глубины резания ( $S = 0,20$  мм/об) (*a*, *г*), скорости и подачи ( $t = 0,25$  мм) (*б*, *д*), подачи и глубины резания ( $v = 1,6$  м/с) (*в*, *е*) на поверхностную микротвердость (МПа) (*a*–*в*) и толщину упрочненного поверхностного слоя (мкм) наплавленных деталей (*г*–*е*)

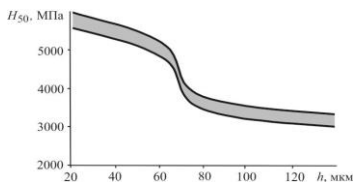


Рисунок 2 – Изменение микротвердости металла по толщине наплавленного слоя

**Выводы.** Показано, что точение наплавленных деталей резцами из сверхтвердого композита с большими отрицательными значениями переднего угла, создаёт в зоне обработки такой уровень термобарического нагружения, который приводит к формированию в поверхностном слое изделий слаботравящейся закалочной структуры – деформационного бесструктурного мартенсита, так называемого «белого слоя», с микротвердостью в 1,8–2,1 раза выше, чем микротвердость основного наплавленного материала.

**References:** 1. *Karpenko V. G. et all.* Uprochneniye stali mekhanicheskoy obrabotkoy. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1966, 204 p.; 2. *Sulima A. M., Shulov V. A., Yagodkin Yu. D.* Poverkhnostnyy sloy i ekspluatatsionnyye svoystva detaley mashin. Moskow, Mashinostroyeniye Publ., 1988, 239 p.; 3. *Chizhik S. A. et all.* Obespecheniye kachestva izdeliy v tekhnologicheskikh kompleksakh. Minsk, Belarуска navuka Publ, 2019, 248 p.; 4. *Klimenko S. A. et all.* Vysokoproizvoditel'naya chistovaya lezviynaya obrabotka detaley iz staley vysokoy tverdsti. – Kyiv, ISM im. V. N. Bakulya NAN Ukrainy Publ., 2018, 304 p.; 5. *Ryzhov E. V., Klimenko S. A., Gutsalenko O. G.* Tekhnologicheskoye obespecheniye kachestva detaley s pokrytuyami. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1994, 176 p.; 6. *Novikov N. V. (ed.).* Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie: v 6-i t. T. 5. *Klimenko S. A. et all.* Obrabotka rezaniyem detaley s pokrytuyami. – Kyiv, ISM im. V. N. Bakulya NAN Ukrainy Publ., 353 p.; 7. *Putyatina L. I.* Lezovo-zmitsnyuval'na mekhanichna obrobka detaley z visokomitsnogo chavunu instrumentom z tverdogo splavu ta NTM: Avtoref. diss. kand. techn. nauk. Kyiv, 2004, 19 p.; 8. *Klimenko S. A. et all.* Obrabotka materialov lezviynym instrumentom. – Kyiv, ISM im. V. N. Bakulya, IPTS «ALKON» NANU Publ, 2006, 316 p.; 9. *Kolomyets V. V. et all.* Vliyaniye mekhanicheskoy obrabotki na svoystva poverkhnostnogo sloya naplavlennykh detaley. Tr. 8-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Fizicheskoye i komp'yuternyye tekhnologii». Khar'kov, 2003, pp. 61–63.

Володимир Коломієць, Руслан Рідний, Антон Нікіфоров, Харків, Україна,  
Сергій Клименко, Київ, Україна

## **ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НАПЛАВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОЧІННІ РІЗЦЯМИ З ПНТМ «КИБОРІТ»**

**Анотація.** Наведено результати експериментального дослідження зміцнення поверхневого шару деталей, наплавлених електродуговим наплавленням дротом Hn-30ХГСА під шаром флюсу АН-

348А, при механічній обробці різцями, оснащеними змінними переперегострюваними пластинами RNMN 070300 з полікристалічного надтвердого матеріалу (ПКНБ) на основі кубічного нітриду бору «кйборит». Вивчено вплив режимів обробки на величину поверхневої мікротвердості і товщину зміцненого поверхневого шару деталей. Характер ліній рівної мікротвердості свідчить про менш значний вплив швидкості різання в порівнянні з глибиною різання і подачею та близький ступінь впливу зміни останніх. Швидкість обробки чинить менший вплив на товщину зміцненого шару в порівнянні з глибиною різання і величиною подачі, хоча остання впливає менш інтенсивно. Найбільше зміцнення наплавлених деталей досягнуто при точінні різцем з передніми кутами – (40-50)°. Обробка різцями з ПКНБ «кйборит» з великими негативними значеннями переднього кута  $\gamma$  супроводжується створенням в зоні обробки такого рівня термобаричного навантаження, який призводить до структурних змін в матеріалі поверхневого шару деталей, а саме, до появи шару слаботрозичної загартовочної структури – бесструктурного мартенситу з мікротвердістю  $H_{50} = 5700\text{--}5920$  МПа, яка в 1,8–2,1 рази вище, ніж мікротвердість основного наплавленого матеріалу. Товщина зміцненого наплавленого шару при лезово-зміцнюючій обробці інструментом з ПКНБ «кйборит» становить 60–80 мкм, що пояснюється невисоким вмістом вуглецю в матеріалі, наявністю висхідної дифузії вуглецю та інтенсивною пластичною деформацією в контактній зоні. Отримані результати показують, що лезово-зміцнююча обробка інструментами з ПКНБ є ефективним методом керування експлуатаційними властивостями деталей машин, наприклад, їх зносостійкістю.

**Ключові слова:** наплавлений метал; режими точіння; інструмент з ПКНБ «кйборит»; зміцнений поверхневий шар; мікротвердість.

Vladimir Kolomiets, Ruslan Ridny, Anton Nikiforov, Kharkiv, Ukraine  
Sergiy Klimenko, Kyiv, Ukraine

## **STRENGTHENING OF THE SURFACE LAYER OF THE WELD PARTS WHEN TURNING BY CUTTERS WITH PSTM “KIBORIT”**

**Abstract.** *The results of an experimental study of hardening of the surface layer of parts deposited by electric arc welding with Np-30KhGSA wire under a flux layer of AN-348A are presented, when machined with cutters equipped with replaceable non-milling plates RNMN 070300 made of polycrystalline superhard material (PCBN) based on cubic boron nitride «ciborite». The influence of mining regimes on the surface microhardness and the thickness of the hardened surface layer of parts is studied. The nature of the lines of equal microhardness indicates a less significant effect of the cutting speed compared to the depth of cut and feed and a close degree of influence of changes in the latter. Processing speeds have less effect on the thickness of the hardened layer compared to the depth of cut and the amount of feed, although the latter has a less intense effect. The greatest hardening of the deposited parts was achieved by turning with a cutter with rake angles of (40–50)°. Treatment with chisels with PCBN «ciborite» with large negative values of the front angle  $\gamma$  is accompanied by the creation in the processing area of such a level of thermobaric load, which leads to structural changes in the surface layer of parts, namely, a layer of weakly etchable hardening structure – unstructured martensite  $H_{50} = 5700\text{--}5920$  MPa, which is 1.8–2.1 times higher than the microhardness of the main weld material. The thickness of the reinforced deposited layer during blade-hardening processing with a tool with PCBN «ciborite» is 60–80  $\mu\text{m}$ , due to the low carbon content in the material, the presence of ascending diffusion of carbon and intense plastic deformation in the contact zone. The results show that blade-hardening machining with tools with PCBN is an effective method of controlling the performance of machine parts, such as their wear resistance.*

**Keywords:** *welded metal, turning modes, tool with PCBN «ciborite», hardened surface layer, microhardness.*