

## **Финишная технология обработки прокатных валков восстановленных наплавкой**

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля  
Национальной Академии Наук Украины*

Рассмотрена технология финишной обработки прокатных валков восстановленных наплавкой лезвийным инструментом, оснащенный поликристаллическими сверхтвердыми материалами. Предложена усовершенствованная конструкция сборного проходного резца со сменным блоком, имеющего установочную рифленую поверхность для надежного крепления к державке при обработке наплавки высокой твердости. Приведены результаты экспериментальных исследований формирования поверхностного слоя обработанных валков с наплавкой при применении на финишных операциях лезвийного инструмента. Особое внимание уделено рассмотрению финишной обработки валков с наплавкой Нп-30ХГСА.

**Ключевые слова:** финишная обработка, наплавка, резец, шероховатость поверхности, остаточные напряжения.

### **Введение**

Интенсификация прокатного производства ведет к ускорению износа основного рабочего инструмента – валков прокатных станов. Особенностью прокатных валков является высокая металлоемкость, трудоемкость и энергоемкость при их изготовлении, а также значительное превышение ресурса прочности над ресурсом износостойкости. Замена вышедших из строя новыми, требует значительных затрат и приводит к повышению себестоимости выпускаемой продукции. Непрерывно растущий спрос на прокатные валки, все более повышающиеся требования к их качеству и работоспособности, равно как и стремление к снижению их стоимости, всё это определяет необходимость совершенствования технологии изготовления и восстановления прокатных валков. В связи с этим придается большое значение увеличению объема наплавки, оснащению прокатных цехов наплавочными участками, разработке и совершенствованию эффективных технологических процессов наплавки и наплавочных материалов, а также финишной механической обработки, комплексно обеспечивающих повышение качественных характеристик и долговечности валков прокатных станов [1–3].

Наплавка стальных прокатных валков для их стойкости в настоящее время применяется, практически на всех металлургических предприятиях. Современные методы механизированной наплавки позволяют получить валок с достаточно вязкой и прочной сердцевиной, хорошо сопротивляющейся поломкам и износостойкой поверхностью. Наплавка позволяет существенно увеличить долговечность валков, резко сократить их расход, повысить производительность прокатных станов, в результате сокращения простоев и увеличения среднего их диаметра, а, следовательно, и скорости прокатки, уменьшить расход металла, вследствие улучшения точности формирования профиля, снизить расходы по переделу и его себестоимость.

В большинстве случаев, для износостойкой электродуговой наплавки применяют проволоку марок: Нп-30ХГСА, ПП-3Х2В8 и ПП-25Х5ФМС и в небольших количествах используют также ленту марки Нл-65Г [4–5]. Электродная

проволока Нп-30ХГСА применяется для восстановления изношенных стальных валков, проволока ПП-3Х2В8 значительно повышает износостойкость рабочего слоя и стойкость их в целом. Наплавленный металл высокой стойкости получают с помощью порошковой проволоки ПП-25Х5ФМС. Наплавка электродной лентой под флюсом приобретает все большее распространение, так как при ее использовании обеспечивается высокая производительность процесса, малая глубина проплавления основного металла и надежность сваривания [6]. Твердость наплавленного слоя валков используемыми марками проволоки и ленты составляет 40–50 HRC.

Для наплавки валков различных станов созданы вальценаплавочные станки серии «КЖ», которые обеспечивают качественную наплавку валков с различной формой рабочей поверхности, сводя к минимуму припуск на механическую обработку. Значительные трудности механической обработки наплавки, связанные с их высокой твердостью, пористостью, хрупкостью. Интенсивным абразивным воздействием на рабочие поверхности инструмента, могут быть настолько велики, что вызывают необходимость оценить принципиальную возможность применения метода резания для обеспечения требуемых показателей качества прокатных валков. Некоторые наплавки, на отдельных операциях практически не поддаются обработке резанием лезвийными инструментами из твердых сплавов. В этих случаях следует искать решение проблемы обрабатываемости в использовании качественно новых инструментальных материалов. Одновременное обеспечение производительности технологического процесса финишной обработки и требуемых параметров состояния поверхностного слоя прокатных валков во многом связано с применением режущих инструментов, имеющих оптимальную для каждого конкретного случая конструкцию.

В зависимости от твердости наплавленного металла (> HRC 35–50) и величины припуска обработку поверхности прокатных валков восстановленных наплавкой выполняют точением или шлифованием. Сначала при пониженных режимах резания проводят черновую обработку, а затем финишную. Учитывая пониженную теплопроводность наплавки и возможность перегрева покрытия, вызывающего изменение его свойств, обработка валков шлифованием затруднена, и может привести к снижению микротвердости покрытия и возникновению шлифовочных трещин не только в покрытии, но и в основном металле, что приводит к скалыванию наплавленного слоя. Шлифовочные трещины особенно опасны, так как они являются концентраторами напряжений и снижают усталостную прочность восстановленных валков. Поэтому, для таких материалов применяют технологию точения лезвийными инструментами из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ).

В настоящее время накоплен богатый производственный опыт использования лезвийных инструментов из ПСТМ для финишной обработки деталей с покрытиями [7–8]. Наиболее широкое применение в промышленности нашли композиты на основе кубического нитрида бора [9].

**Цель работы** – повышение эффективности финишной технологии точения прокатных валков восстановленных наплавкой за счет усовершенствования конструкций резцов с механическим креплением режущих блоков с пластинами ПСТМ и обеспечение качества обработанной поверхности.

Учитывая, специфические структуру и свойства наплавки, а также особенности макрогеометрии прокатных валков, особое место при проектировании лезвийного инструмента приобретают его конструктивные

мероприятия по креплению режущих пластин из ПСТМ. Если конструкция инструмента с механическим креплением пластин технически неосуществима, то применяют паяный инструмент, оснащенный сменными вставками или блоками. Наличие подложки позволяет повысить прочность режущих элементов, уменьшить толщину слоя ПСТМ, осуществлять пайку пластины непосредственно к вставке или блоку.

Максимально возможное использование материала режущей пластины, постоянство положения вершины резца на линии центров токарного станка и высокая надежность крепления режущей пластины в инструменте при финишном точении прокатных валков восстановленных наплавкой, достигается с применением технологичной сборной конструкции резца с рифлеными поверхностями вставки [10]. У резца контактные поверхности вставки с продольным глухим пазом под винт имеют соответствующие рифленые сопряжения в продольном направлении с державкой и поперечном направлении с прихватом Г-образной формы, причем державка выполнена с поперечным открытым пазом под сопряжения с опорой прихвата.

На рис. 1 изображен резец с рифлеными поверхностями вставки, который состоит из державки 1, вставки 2 с напаянной режущей пластиной 3 из ПСТМ, прихвата 4 и винта 5 для крепления вставки. Державка имеет поперечный паз для упора, прихват и резьбовое отверстие под винт. Для взаимодействия со вставкой в начале державки выполнены продольные рифли. Вставка с продольными рифлями на опорной поверхности со стороны державки и поперечными рифлями со стороны прихвата имеет паз для прохода винта. Прихват Г-образной формы имеет соответствующее отверстие под винт.

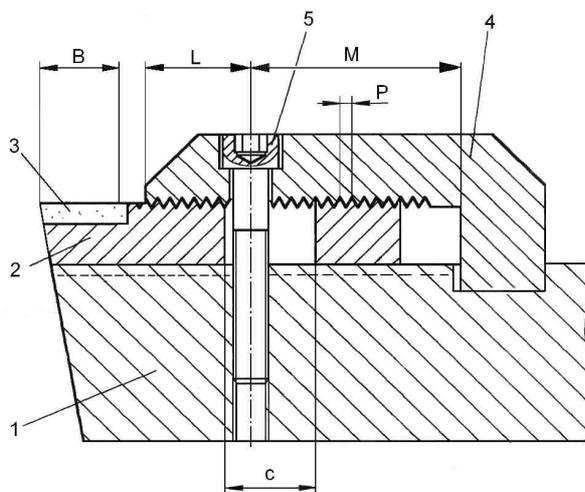


Рис. 1. Резец с рифлеными поверхностями вставки:  
1 – державка; 2 – вставка; 3 – режущая пластина; 4 – прихват; 5 – винт

Длина  $C$  паза должна превышать рабочую длину  $B$  стачивания режущей пластины. Для увеличения усилия прижима вставки, плечи относительно расположения крепежного отверстия прихвата выполняются с отношением  $L:M = 1:2$ . Для обеспечения достаточной прочности продольных и поперечных рифленых сопряжений шаг рифлей  $P$  должен приниматься больше  $0,5$  мм; рифленые поверхности державки и прихвата должны пройти поверхностную гартовку. Для надежности крепления вставки винт должен иметь как можно больший диаметр (не менее  $M5$ ) и высокую прочность (объемная закалка прочной

стали). При регулировании выдвижения вставки сначала раскручивается винт и снимается прихват. В свободном положении вставка после переточки располагается симметрично, на рифленные поверхности державки с выдвижением через поперечные рифли до нужного вылета над державкой. Затем вставка закрепляется прихватом с соблюдением совпадения сопряженных поперечных рифлей и окончательно крепится винтом.

Благодаря рифленным сопряжениям вставки с державкой и прихватом, резец обладает возможностью регулируемого выдвижения вставки после многократной переточки режущей пластины. Надежность ее крепления способствует повышению ресурса инструмента из ПСТМ и качества поверхностного слоя обработанной поверхности прокатного валка восстановленного наплавкой.

Контактное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов в процессе резания сопровождается комплексом силовых, тепловых, химических и других явлений. При этом на поверхности изделия формируется определенная совокупность макро- и микронеровностей, а в поверхностных слоях обрабатываемого материала происходят процессы упрочнения-разупрочнения, структурно-фазовые превращения и другие явления, приобретающие особое значение при обеспечении долговечности и работоспособности валков, работающих в условиях контактного нагружения.

Высота микронеровностей покрытий прокатных валков восстановленных наплавкой, сформированная в результате финишной обработки лезвийным инструментом из ПСТМ, определяется с учетом отклонения фактической высоты неровностей от расчетной (случайная составляющая), отражающее изменение высоты неровностей в результате упругого восстановления поверхности среза, пластической деформации в зоне стружкообразования, среза вершин неровностей сходящей стружкой, трения на задней поверхности инструмента, износа режущей кромки инструмента, вибраций в технологической системе, наличия дефектов, в частности, пористости в обрабатываемом материале и др.

Пористость материала покрытий обуславливает сложность определения микрогеометрических параметров обработанной поверхности. Поры завышают реальное значение интегральных параметров шероховатости поверхности, определенные с помощью профилографов-профилометров. В интегральные значения величины геометрических характеристик поверхности включаются параметры хаотически расположенных пустот, их распределения на обработанной поверхности детали.

При разработке математического аппарата для оценки параметров шероховатости поверхности во многих случаях принимается нормальный закон распределения ординат профиля неровностей. Однако анализ профилограмм с пористых поверхностей показывает, что в зависимости от уровня сечения совокупность ординат профиля может быть условно разделена на два участка – в шероховатом слое и поверхностных порах.

Для оценки параметров шероховатости обработанных пористых поверхностей, в частности наплавленных покрытий, использовались разработанные в работе [8], предпосылки для создания расчетно-экспериментальной методики, учитывающей данные по параметрам неровностей для случая отсутствия пор (максимальная величина неровностей профиля поверхности на участке без пор  $R'_{max}$ ) и характеристики пор (пористость  $K$ , максимальная глубина пор  $R''_{max}$ ). При этом под порой понимается часть профиля поверхности ниже шероховатого слоя.

Представим все поры на поверхности исследуемого образца в качестве единой совокупной поры в виде кругового конуса либо пирамиды, обращенной вершиной вглубь обработанного материала, высота которой соответствует глубине максимальной поры, а площадь основания – сумме площадей всех пор в материале. Сечение совокупной поры будет иметь вид треугольника, основание которого соответствует сумме всех отрезков в пределах исследуемого сечения поверхности, отвечающих порам, а высота, которой соответствует глубине максимальной поры.

На рис. 2 представлены зависимости среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности ( $Ra$ ) покрытия от наибольшей высоты профиля на участке без пор и параметров пористости поверхностного слоя.

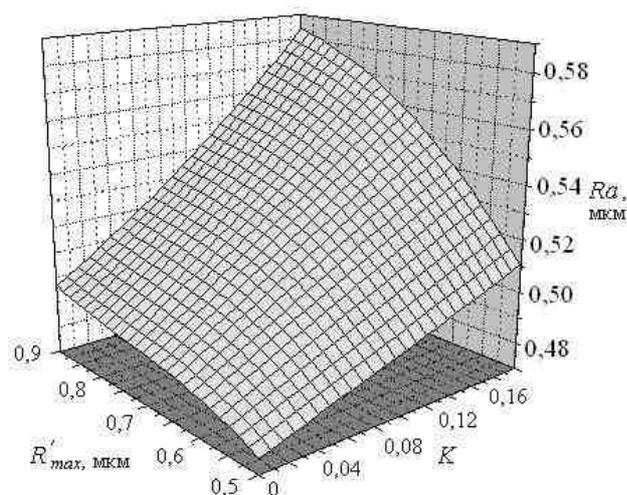


Рис. 2. Влияние открытой пористости покрытия и максимальной высоты неровностей на участке без пор на величину среднего арифметического отклонения профиля пористой поверхности при  $b = 1,0$ ,  $v = 1,8$ ;  $R''_{max} = 1$  мкм

Анализ полученных результатов показывает, что шероховатость поверхности  $Ra$  в значительной мере определяется геометрическими параметрами пор в обрабатываемом материале.

Применительно к процессу точения наплавленного покрытия повышение параметра шероховатости поверхности  $Ra$  в результате учета пористости при  $K = 4$  %;  $Ra''_{max} = 1$ –10 мкм;  $R'_{max} = 0,5$  мкм составляет 105–160 % и при  $R'_{max} = 0,9$  мкм – 110–130 %.; при  $K = 8$  % – соответственно 110–210 % и 115–165 %. При изменении  $K$  до 20 % происходит увеличение  $Ra$  соответственно на 120–365 % и 145–260 %.

При точении наплавленных материалов резцами из ПСТМ зона активного наростообразования отсутствует, а высота неровностей профиля при увеличении скорости резания монотонно уменьшается.

На рис. 3 показаны зависимости шероховатости поверхности от скорости резания и подачи при точении резцами из ПСТМ наплавленных покрытий.

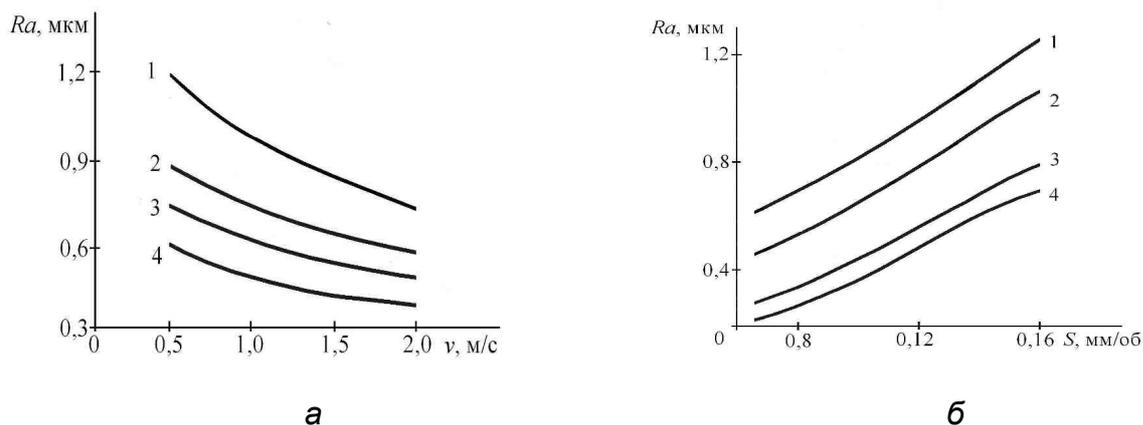


Рис. 3. Влияние скорости резания (а) и подачи (б) на шероховатость поверхности при точении резцами из ПСТМ покрытий, наплавленных проволоками Нп-30ХГСА (1), ПП-Нп-25Х5ФМС (2), ПП-Нп-3Х2В8 (3) и лентой Нл-65Г (4)  
( $S = 0,1$  мм/об;  $t = 0,2$  мм;  $v = 2,0$  м/с)

Предложенный инструмент работоспособен при точении высокотвердых покрытий с большими скоростями резания и позволяет обрабатывать их с получением низкой высоты неровностей профиля.

Величина подачи оказывает наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности. При малой подаче существенно сказывается трение на задней поверхности инструмента, что несколько повышает высоту неровностей. Значение критической подачи зависит от величины радиуса при вершине резца – с ростом последнего она увеличивается. При точении более твердого материала наблюдается меньший уровень критических подач.

Для увеличения производительности процесса обработки и достижения при этом требуемой шероховатости обработанной поверхности, необходимо при изменении подачи, изменять и форму вершины инструмента, участвующую в формировании неровностей профиля (рис. 4). При точении резцами с радиусом при вершине, это достигается соблюдением требуемого соотношения между радиусом при вершине и подачей. С увеличением радиуса закругления вершины резца в плане  $r$  и с уменьшением подачи  $S$ , то есть при увеличении соотношения  $r/S$ , высота неровностей на обработанной поверхности монотонно снижается.

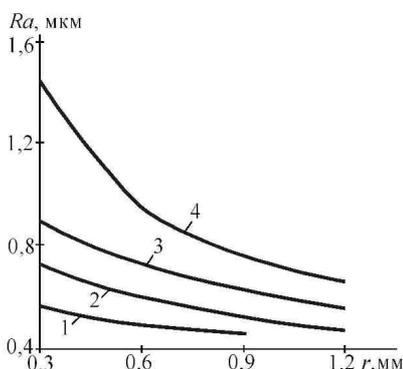


Рис. 4. Влияние величины радиуса при вершине резца на шероховатость поверхности покрытия, наплавленного проволокой Нп-30ХГСА обработанного резцами из ПСТМ при подаче: 1 – 0,08; 2 – 0,12; 3 – 0,16; 4 – 0,2 мм/об  
( $v = 2,0$  м/с;  $t = 0,2$  мм)

Для подач  $S = 0,08-0,20$  мм/об и обработке без смазочно-охлаждающей технологической среды длина зачистного лезвия выбирается в диапазоне  $l_f = (0,8-1,2)\sqrt{S}$ , а радиус закругления при вершине резца –  $r = (5-7)\sqrt{S}$ .

Глубина резания оказывает более слабое влияние на шероховатость поверхности наплавленных покрытий, что связано с малым влиянием в этом случае глубины резания на процесс пластической деформации при резании.

В процессе резания в поверхностном слое обрабатываемого материала происходят структурно-фазовые превращения, приводящие к изменению их упрочненного состояния по сравнению с внутренними слоями материала. Исследования, проведенные при точении наплавленных покрытий, показали, что при обработке со скоростью резания до 1,5 м/с, происходит некоторое уширение интегральных рентгеновских линий (110) и (211)  $\alpha$ -фазы. Этим же скоростям резания соответствует снижение количества остаточного аустенита на обработанной поверхности. Дальнейшее увеличение скорости резания приводит к увеличению температуры в зоне обработки, что способствует появлению элементов разупрочнения поверхностного слоя, проявляющиеся в росте количества остаточного аустенита. Наблюдается тенденция к снятию микроискажений решетки, являющиеся следствием пластического деформирования при резании.

Наряду с изменением структуры поверхностного слоя при точении происходят химические превращения на поверхности покрытия. Химический состав образующихся соединений определяется составом контактирующих материалов и окружающей среды. В оже-спектрах с обработанной поверхности покрытия после контактирования с ПСТМ на основе кубического нитрида бора присутствуют линии, соответствующие матричным элементам поликристалла, а спектры вторичных ионов [8] имеют пики, соответствующие ионам соединений типа  $\text{BN}^+$ ,  $\text{MeO}^+$ ,  $\text{MeC}^+$ ,  $\text{MeB}^+$ ,  $\text{MeN}^+$ . После обработки покрытий, содержащих титан, в спектре масс отрицательных вторичных ионов присутствуют пики, соответствующие  $\text{TiB}^-$ ,  $\text{TiN}^-$ ,  $\text{TiB}_2^-$ ,  $\text{TiN}_2^-$ . Различные соединения, образовавшиеся на обработанной поверхности, распределены по ней неравномерно, что связано с неоднородностью обрабатываемого материала по химическому составу.

Известно, что химические соединения металлов с азотом и бором обладают повышенной твердостью, прочностью, износостойкостью, коррозионной стойкостью и т.д. Таким образом, обработка деталей резцами из ПСТМ способствует повышению их эксплуатационных свойств за счет образования на поверхности новых химических соединений.

Образование остаточных напряжений после обработки точением является сложным процессом. Результирующая величина остаточных напряжений определяется влиянием всех стадий технологического процесса изготовления детали, в том числе формирования покрытия и точения.

В общем виде эпюра распределения тангенциальных остаточных напряжений в поверхностном слое имеет три участка. Сжимающие напряжения на первом участке эпюры определяются условиями трения поверхностного слоя детали о заднюю поверхность инструмента, а растягивающие напряжения на втором участке определяются условиями течения пластически деформированного металла в поверхностный слой изделия. Напряжения на третьем участке эпюры являются реакцией на напряжения на втором участке.

Увеличение скорости резания обуславливает повышение температуры в зоне обработки. Средняя температура в режущем клине инструмента достигает 1000 °С, а локальные температуры на площадках контакта значительно выше. Это облегчает процесс обтекания материалом поверхностного слоя режущих кромок инструмента, и в результате формируются большие по величине растягивающие напряжения, захватывающие более узкую зону вдоль обработанной поверхности. Величина и глубина залегания сжимающих напряжений в первой зоне эюры также уменьшаются, что связано со снижением сил трения на контактных поверхностях инструмента.

### **Выводы**

В результате проведенных исследований финишной технологии обработки прокатных валков восстановленных наплавкой разработана сборная конструкция токарных резцов со сменным блоком из ПСТМ, обеспечивающих высокое качество обрабатываемой поверхности. Использование надежного крепления инструментов с рифлеными поверхностями вставки при обработке таких деталей позволяет устранить недостатки поверхности, связанные с вредным влиянием наследуемых технологических факторов покрытия. Развитие механической технологии обработки инструментом из ПСТМ прокатных валков гарантирует резкое увеличение производительности и снижение себестоимости их восстановления наплавкой.

### **Список литературы**

1. Голякевич А.А. Опыт применения электродуговой наплавки порошковой проволокой на предприятиях Украины / А.А. Голякевич, Л.Н. Орлов, Л.С. Малинов, В.И. Титаренко // Автоматическая сварка.– 2016.– № 9.– С. 37–41.
2. Технология восстановления прокатных валков наплавкой / Промышленность в фокусе.– 2017.– № 8.– С. 55–58.
3. Орлов Л.Н. Восстановительная наплавка порошковой проволокой деталей металлургического и горнодобывающего оборудования / Л.Н. Орлов, А.А. Голякевич, В.И. Титаренко, В.Н. Пелешко // Автоматическая сварка.– 2005.– № 12.– С. 45–50.
4. Кассов В.Д. Восстановительная наплавка комплекснолегированной порошковой проволокой деталей металлургического оборудования / В.Д. Кассов, А.П. Литвинов // Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ПДТУ, 2006.– Вип. 9.– С. 158–162.
5. Рябцев И.А. Наплавка. Технологии, материалы, оборудование / И.А. Рябцев, И.А. Кондратьев, Е.Ф. Переплетчиков, Ю.М. Кусков.– Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, 2015.– 402 с.
6. Матвиенко В.Н. Электродуговая наплавка валков прокатных станов / В.Н. Матвиенко, К.К. Степнов // Вісник ДДМА.– 2010.– № 2.– С. 182–185.
7. Харламов Ю.О. Обробка деталей при відновленні і зміцненні / Ю.О. Харламов, С.А. Клименко, М.Я. Будаг'янц, Л.Г. Полонський: Навч. посібник.– Луганськ: СНУ ім. Даля, 2007.– 500 с.
8. Обработка резанием деталей с покрытиями / Под общей ред. С.А. Клименко.– К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАНУ, 2011.– 353 с.

9. Сверхтвердые материалы. Получение и применение в 6 т. / Под общей ред. Н.В. Новикова.– Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко.– К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006.– 316 с.

10. Патент № 95948. Прохідний збірний різець / Ю.Г. Кравченко, Ю.О. Мельничук, В.В. Бурикін; Заявка № u201408634 від 30.07.2014; Оуб.12.01.2015 // Промислова власність. – 2015.– Бюл. № 1.

Поступила в редакцию 20.05.2018.

## **Фінішна технологія обробки прокатних валків відновлених наплавленням**

Розглянуто технологію фінішної обробки прокатних валків відновлених наплавленням лезовим інструментом, оснащеним полікристалічними надтвердими матеріалами. Запропоновано вдосконалена конструкція збірного прохідного різця зі змінним блоком, що має установчу рифлену поверхню для надійного кріплення до державки при обробці наплавлення високої твердості. Наведено результати експериментальних досліджень формування поверхневого шару оброблених валків з наплавленням при застосуванні на фінішних операціях лезових інструментів. Особливу увагу приділено розгляду фінішної обробки валків з наплавленням Hп-30ХГСА.

**Ключові слова:** фінішна обробка, наплавленням, різець, шорсткість поверхні, залишкові напруги.

## **Finishing Technology for Processing rolls Recovered by Surfacing**

The technology of finishing treatment of rolling rolls recovered by surfacing with a blade tool equipped with polycrystalline superhard materials is considered. An improved design of a collecting throughcutter with a replaceable block is proposed, which has a mounting grooved surface for reliable attachment to the holder when machining a high hardness surfacing. The results of experimental studies of the formation of a surface layer of treated rolls with a surfacing are presented when using blade tools for finishing operations. Particular attention is paid to the consideration of finishing processing of rolls with deposition of Hп-30ХГСА.

**Key words:** finishing, surfacing, cutting tool, surface roughness, residual stresses.

### **Сведения об авторе**

**Бурыкин Виталий Витальевич** – кандидат технических наук, научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.