

УДК 676:621.9.042

ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАБИВНЫХ БУМАЖНЫХ ВАЛОВ СУПЕРКАЛАНДРА ПРИ РЕЗАНИИ

А. А. ЖОЛОБОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

В. А. ЛОГВИН

*Могилевское вагонное депо
ТРУП «Могилевское отделение Белорусской железной дороги»*

Н. А. ТРЕТЬЯКОВ, В. В. ГОРЬКОВ

*ООО «ИлимСеверРМП», г. Корьяжма,
Архангельская область*

Обработка резанием как в настоящее время, так и на многие годы останется основным технологическим приемом изготовления деталей машин и механизмов, отвечающих высоким требованиям по точности и качеству рабочих и сопрягаемых поверхностей. Необходимо также отметить универсальность и гибкость обработки резанием, обеспечивающие ее высокое преимущество перед другими методами формообразования поверхностей, особенно в условиях единичного и мелкосерийного производства. В связи с этим основной задачей технологии машиностроения является интенсификация этого процесса.

В бумажной промышленности для обеспечения высокой гладкости и лоска бумаге, отвечающей высоким печатным свойствам, а также для отдельных видов картона, вводится отделочная операция каландрирования на суперкаландре [1]. В этой связи к набивным бумажным валам суперкаландра (НБВС) предъявляют повышенные требования по точности и состоянию рабочей поверхности (низкая шероховатость, наличие остаточной ворсистости и упругие характеристики поверхностного слоя).

Ввиду высокой абразивной способности обрабатываемого материала и большой протяженности поверхности обработки, а также, учитывая требования, предъявляемые к готовым валам, инструмент, используемый для их обработки, должен обладать высокой размерной стойкостью. Поэтому на целлюлозно-бумажных комбинатах используют либо алмазное точение, либо точение твердосплавными резцами с последующим шлифованием абразивными кругами [1].

Алмазная обработка НБВС обеспечивает необходимую точность и стабильность размеров благодаря высокой стойкости режущего элемента, превышающей стойкость твердосплавных резцов в 70...100 раз. При этом обеспечивается шероховатость обработанной поверхности по параметру $Ra = 1,6$ мкм при подаче не более 0,1 мм/об [1].

Шлифование НБВС, набранных из хлопкошерстяной, асбестолатексной бумаги и из натурального хлопка следует производить только сухим способом. При увлажне-

нии набивки вала из хлопкошерстяной или асбестолатексной бумаги межволоконные связи ослабевают, в результате чего абразивные зерна шлифовального круга не подрезают, а выдергивают волокна бумаги, и поверхность НБВС приобретает значительную ворсистость. В результате шлифования, которое занимает по времени не менее 32 часов непрерывной работы оборудования, шероховатость обработанной поверхности по параметру Ra обеспечивается не ниже 2,1...2,5 мкм [1].

На финских бумажных заводах, в частности «Темпелла», «Валмет», «Вяртсиля» применяют технологию обработки НБВС, состоящую из трех переходов. На черновой операции обработка производится резцами с твердосплавной пластинкой. На чистовой операции обработка производится резцом, оснащенным синтетическим алмазом с радиусом при вершине 2...5 мм. Финишная операция заключается в шлифовании вала при помощи радиусного деревянного башмака, обернутого сукном и шлифовальной бумагой № 2 или 3. Назначение шлифования – удаление волокон, уменьшение остаточной ворсистости и выравнивание следа, оставленного резцом после алмазного точения [2].

Но ни алмазное точение, ни шлифование не обеспечивают необходимого состояния рабочей поверхности НБВС. Благодаря этому все недоработки и упущения механической обработки выправляются прикаткой НБВС непосредственно на суперкаландре без бумаги. Вновь изготовленные валы подвергаются прикатке в течение 72...100 часов непрерывной работы, валы бывшие в эксплуатации на суперкаландре после повторной механической обработки в зависимости от срока использования на суперкаландре прикатываются в течение 6...12 и более часов.

На Знаменской бумажной фабрике ПО «Калининградбумпром» внедрена механическая обработка НБВС ротационным резцом, который разработан сотрудником кафедры «Технология машиностроения» Калининградского технического института рыбной промышленности (ныне Государственный технический университет) Л. А. Гиком и академиком АН БССР Е. Г. Коноваловым [1]. При значительных преимуществах данного инструмента, позволяющего использовать твердосплавные режущие элементы вместо алмазных резцов, он обладает рядом существенных недостатков. Ввиду того что режущий элемент находится в процессе обработки в непрерывном вращении и каждая точка режущей кромки резца многократно вступает во взаимодействие с обрабатываемой заготовкой, состояние ее в начале и конце рабочего хода изменяется в зависимости от износа рабочих поверхностей, тем самым нарушается размер статической настройки технологической системы.

Маури Аромаки исследовалось распределение температурного поля в ротационном резце при обработке бумажных валов с условием его внешнего охлаждения, влияние этого охлаждения на подшипниковый узел и состояние обработанной поверхности вала [3]. При этом обработка производилась, как и на Знаменской бумажной фабрике, по второй геометрической обратной схеме ротационного резания, а охлаждение осуществлялось сжатым воздухом. В результате исследований установлено, что внешнее охлаждение приводит к снижению температуры режущей чашки и самого бумажного вала на 50 %, при этом температура у основания режущей чашки ниже на 50 %, чем у режущей кромки.

Нами предложено использование принудительного привода для постоянного обновления режущей кромки, что дает возможность применения более жестких подшипников скольжения в качестве опор для шпиндельного узла резца. Отсутствие постоянного вращения режущего элемента с большой частотой позволяет управлять качеством обработанной поверхности посредством изменения скорости обновления режущей кромки в процессе резания. Применение одноповоротной прямой второй геометрической схемы ротационного резания для обработки НБВС позволяет значи-

тельно упростить процесс настройки и установки резца относительно обрабатываемой заготовки.

На рис. 1 представлена закономерность изменения шероховатости обработанной поверхности в зависимости от φ_y – угла установки (разворота оси резца в главной плоскости).

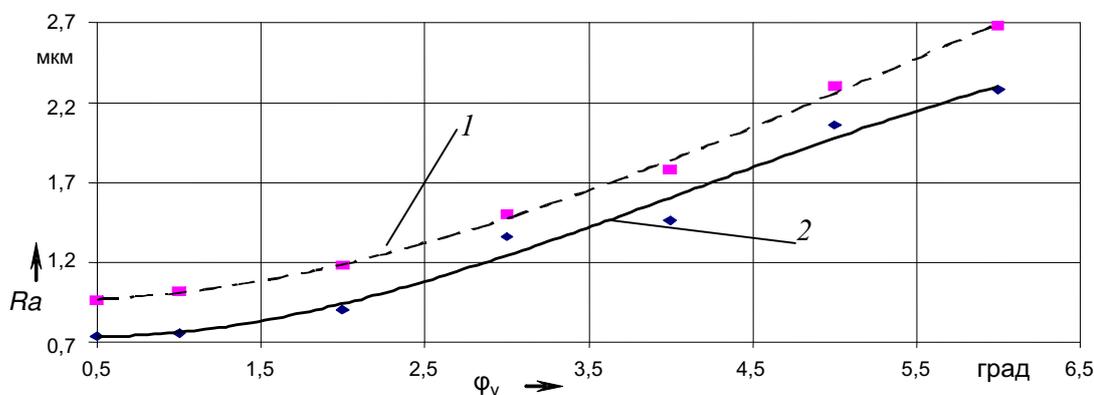


Рис. 1. Влияние угла установки φ_y на шероховатость обработанной поверхности:
 1 – свободновращающийся резец; 2 – заторможенный резец;
 $V = 5,5$ м/с; $S = 1,025$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $H = 30$ мм; $\alpha_3 = 2^\circ$; $\gamma_3 = -7^\circ$; $d_ч = 60$ мм

Ввиду того что величина угла установки φ_y и высота установки H оси резца относительно оси заготовки между собой взаимосвязаны и оказывают влияние на величину и расположение дуги контакта режущего элемента с обрабатываемой заготовкой, то в результате увеличения угла φ_y будет уменьшаться величина дуги контакта, а месторасположение ее смещаться вниз ближе к оси резца. Это наглядно подтверждается на графике (рис. 1) ростом шероховатости при увеличении угла установки φ_y .

На рис. 2 представлено изменение шероховатости обработанной поверхности от высоты установки H (h – высота расположения наивысшей точки режущей кромки над осью заготовки) оси резца относительно оси обрабатываемой заготовки.

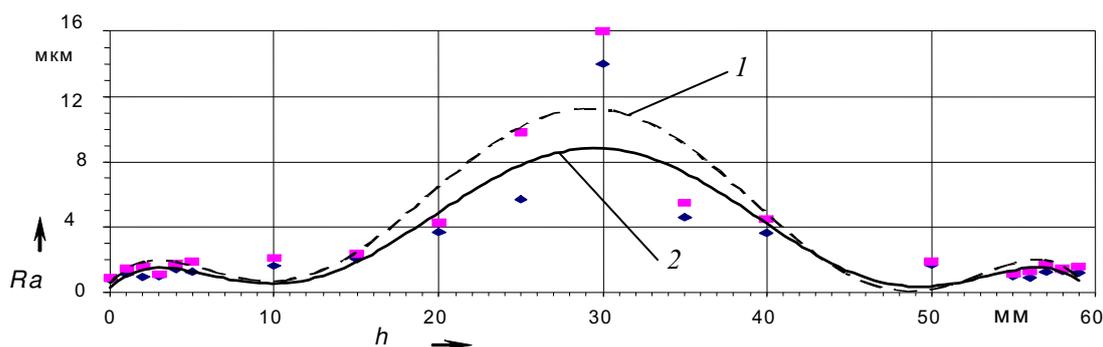


Рис. 2. Влияние высоты установки h на шероховатость обработанной поверхности:
 1 – свободновращающийся резец; 2 – заторможенный резец;
 $V = 5,5$ м/с; $S = 1,025$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $\varphi_y = 0,5^\circ$; $\alpha_3 = 2^\circ$; $\gamma_3 = -7^\circ$; $d_ч = 60$ мм

Так, при увеличении высоты установки H происходит уменьшение шероховатости поверхности вследствие увеличения угла контакта с обрабатываемой заготовкой. При этом месторасположение участка режущей кромки, участвующего в процессе резания, перемещается вверх. Указанные обстоятельства оказывают существенное влияние на процесс формирования шероховатости обработанной поверхности вслед-

ствии роста составляющих силы резания, учитывая исследования динамики процесса резания НБВС чашечными инструментами. Так, при обработке НБВС, отличающихся относительно низкой жесткостью, необходимо находить разумное соотношение между величиной угла φ_y и высотой H так, как чрезмерное увеличение угла контакта приводит к значительному снижению устойчивости процесса обработки и возможности появления вибраций.

Тем не менее, как видно из рис. 2, характер изменения графических зависимостей сохраняется в зеркальном отображении относительно высоты установки $h = 30$ мм ($H = 0$). Обработка в диапазоне $H = 0 \dots -30$ мм ($h = 30 \dots 60$ мм) возможна с изменением направления вращения заготовки на противоположное (обратное). При этом при обработке длиномерных валов, особенно имеющих минимальную величину диаметра рабочей поверхности, иногда возникает необходимость во избежание появления вибраций в процессе резания изменить направление вращения заготовки на обратное с целью коррекции результирующего вектора силы резания.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований, влияния изменения скорости главного движения на величину шероховатости рабочей поверхности НБВС при обработке заторможенным и свободновращающимся чашечными инструментами.

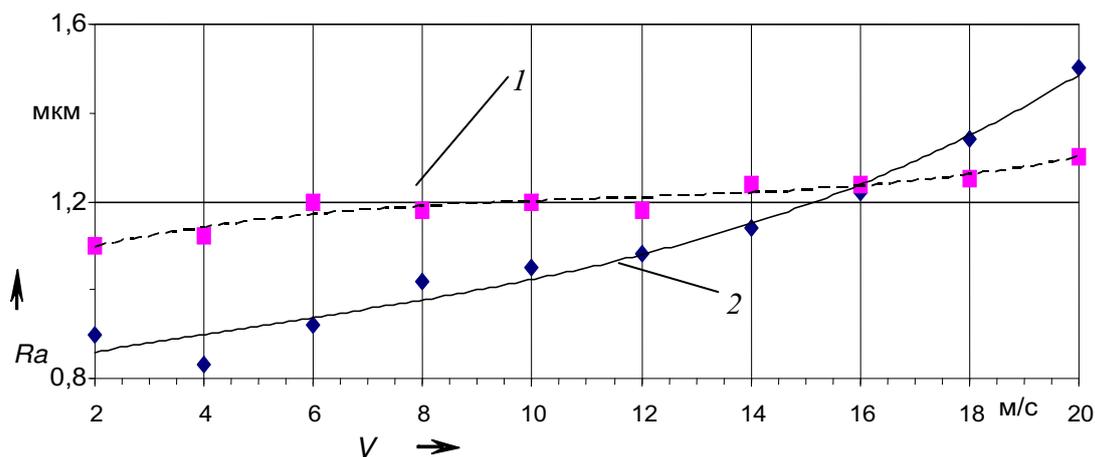


Рис. 3. Влияние скорости резания на шероховатость обработанной поверхности:

1 – свободновращающийся резец; 2 – заторможенный резец;

$S = 1,025$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $H = 30$ мм; $\varphi_y = 0,5^\circ$; $\alpha_3 = 1,0^\circ$; $\gamma_3 = -5^\circ$; $d_4 = 60$ мм

В результате исследований было установлено, что происходит обугливание и выпадение из поверхностного слоя компонентов набивочного материала. Поэтому увеличение скорости резания сверхдопустимых пределов приводит к значительному росту температуры в зоне резания и как следствие этого увеличение шероховатости обработанной поверхности (линия 2, рис. 3). Также следует отметить, что образующиеся в процессе резания при удалении припуска дисперсные частицы в виде пыли, оседая на рабочих поверхностях режущего элемента, образуют нагар (нарос), который, взаимодействуя с обработанной поверхностью, деформирует ее и вырывает отдельные волокна и частицы, вступившие во взаимодействие с ним, что приводит к ухудшению качественных параметров поверхностного слоя и шероховатости обработанной поверхности, вследствие возрастания сил трения в зоне резания. Однако отметим, что в интервале скоростей резания от 2 до 16 м/с шероховатость ниже при обработке заторможенным резцом, чем свободновращающимся (линия 2 по отношению к линии 1). Эффект самовращения в данном диапазоне приводит к ухудшению качества обработанной поверхности. При дальнейшем повышении скорости главно-

го движения до 20 м/с эффект самовращения вследствие возможного ввода в зону резания несколько охлажденной части режущего клина позволяет расширить диапазон скоростей, при котором значительное повышение скорости резания приводит к незначительному увеличению шероховатости обработанной поверхности.

При исследовании степени влияния подачи на формирование качественных параметров рабочих поверхностей при обработке НБВС чашечными инструментами установлено, что подача имеет превалирующее значение среди технологических факторов. Анализируя представленные графические зависимости (рис. 4) и условия обработки, можно сделать вывод, что при обработке с подачами менее 1 мм/об уменьшение шероховатости обработанной поверхности при росте подачи происходит в основном благодаря снижению температуры в зоне резания вследствие увеличения размера срезаемого слоя и соответственно большему теплоотводу через стружку.

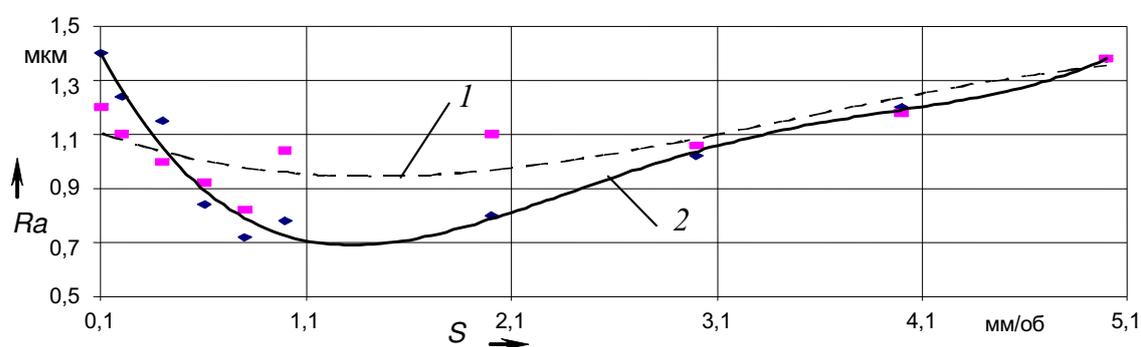


Рис. 4. Влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности:
 1 – свободновращающийся резец; 2 – заторможенный резец;
 $V = 4$ м/с; $t = 0,5$ мм; $H = 30$ мм; $\varphi_y = 0,5^\circ$; $\alpha_3 = 1^\circ$; $\gamma_3 = -6^\circ$; $d_ч = 60$ мм

При этом на графике, характеризующем обработку самовращающимся резцом, снижение шероховатости поверхности имеет более пологий характер и меньший разброс величины по параметру Ra (кривая 1 против кривой 2). При этом цвет обработанной поверхности изменяется с темно-коричневого (обугленного) до темно-синего (темно-серого), т. е. цвет набивки сохраняет естественную окраску.

При дальнейшем росте подачи происходит монотонный рост шероховатости обработанной поверхности как в условиях обработки свободновращающимся, так и заторможенным инструментами. Однако обработка заторможенным резцом позволяет получать шероховатость поверхности на 5...10 % меньше, чем свободновращающимся, а в диапазоне подач 0,5...2,5 мм/об обработка с заторможенным режущим элементом позволяет получать снижение шероховатости до 30 %.

Экспериментальные исследования влияния скорости обновления режущей кромки на шероховатость обработанной поверхности показали, что с уменьшением скорости увеличивается время прохождения каждой точки режущей кромки дуги контакта режущего элемента с обрабатываемой заготовкой, что способствует большему затуплению режущего клина (изменению его геометрии) и как следствие увеличению шероховатости (рис. 5). При увеличении же скорости обновления режущего элемента шероховатость поверхности монотонно уменьшается. Однако при назначении величины скорости обновления режущей кромки необходимо принимать во внимание то обстоятельство, что время полного оборота режущего элемента должно быть больше, чем время рабочего хода резца вдоль заготовки. Все это необходимо для того, чтобы производить обработку НБВС на всем протяжении рабочей поверхности вала с постоянной геометрией режущего клина чашечного инструмента, что в

свою очередь позволит получить шероховатость обработанной поверхности на протяжении всей длины обработки с наименьшими отклонениями.

В условиях ООО «ИлимСеверРМП» проводили сравнительные исследования по обработке НБВС алмазными резцами и чашечными инструментами, оснащенными круглым режущим элементом с принудительным обновлением режущей кромки. Обработка вала производилась в собственных подшипниках, на токарно-винторезном станке типа TCG-125/12Mx15000 польской фирмы POREBA, НБВС с диаметром 570 мм и рабочей длиной 4409 мм, измерение шероховатости осуществлялось профилометром (модель 296).

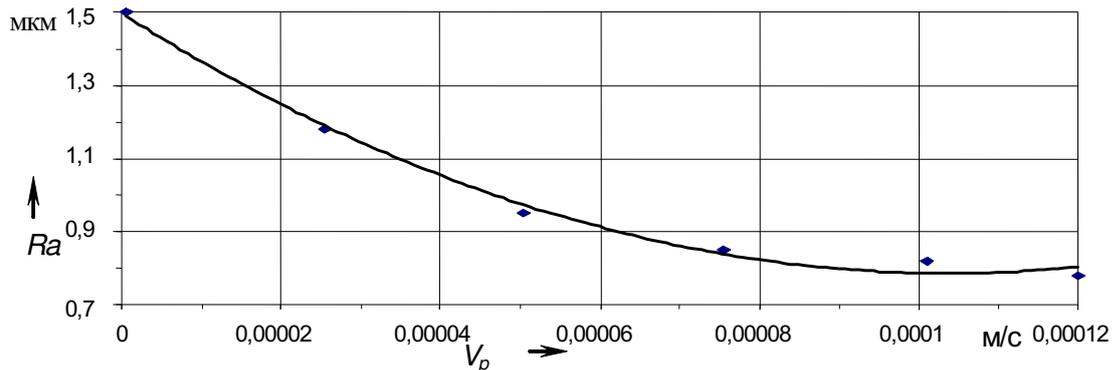


Рис. 5. Влияние скорости обновления режущей кромки на шероховатость обработанной поверхности: $V = 4,77$ м/с; $S = 0,75$ мм/об; $t = 0,2$ мм; $H = 10$ мм; $\varphi_y = 45^\circ$; $\alpha_3 = 15^\circ$; $\gamma_3 = 15^\circ$; $d_4 = 60$ мм

Результаты исследований представлены на рис. 6. Исследования показали, что основополагающего влияния на характер изменения шероховатости обработанной поверхности ни глубина, ни скорость резания не оказывают. Основываясь на этом, больше внимания уделили исследованиям влияния изменения величины подачи на шероховатость поверхности применительно к финишной обработке алмазным и чашечным инструментами. Графические зависимости наглядно демонстрируют подавляющее превосходство токарной обработки чашечными инструментами с принудительным обновлением режущей кромки по сравнению с алмазным точением. При этом шероховатость рабочей поверхности бумажного вала на всем протяжении рабочего хода не превысила 0,9 мкм по параметру Ra .

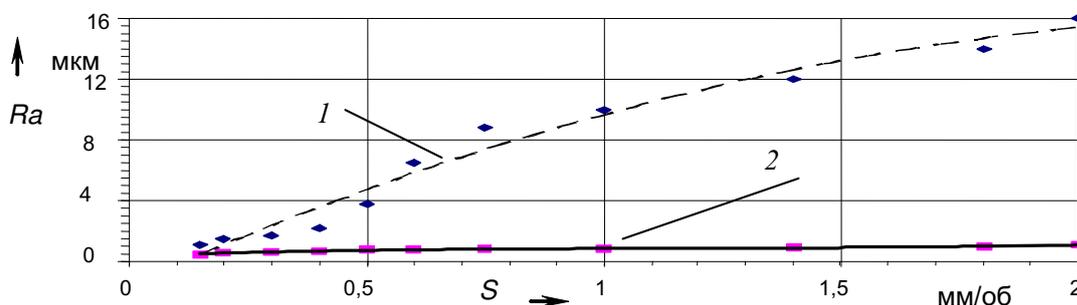


Рис. 6. Влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности: 1 – алмазное точение; 2 – обработка чашечным инструментом; $V = 4,77$ м/с; $t = 0,2$ мм

Анализируя практический опыт обработки заготовок, имеющих в своей структуре волокна различных материалов с заполнением межволоконного пространства скрепляющими наполнителями, необходимо особо отметить так называемую про-

блему «остаточной» ворсистой [4], [5], [6]. Эта проблема заключается в том, что в результате механической обработки на рабочих поверхностях деталей вышеназванной группы, к которой относятся и бумажные валы, концы волокон, выступающие из основного материала на высоту, как правило, в пределах шероховатости поверхности, в результате воздействия давления и температуры расщепляются на более мелкие волокна. Вследствие чего поверхностный слой обработанной заготовки приобретает структуру «ковровой дорожки», имеющей различную гладкость по движению и против движения режущего клина. Этот недостаток в условиях обработки НБВС устраняется благодаря обкатке бумажных валов на холостом ходу непосредственно на суперкаландре без бумаги. Обкатка НБВС на холостом ходу на суперкаландре позволяет снизить шероховатость рабочей поверхности до 0,4...0,6 мкм по параметру Ra .

Сравнивая результаты обработки по этой проблеме свободновращающимися и заторможенными инструментами, установлено, что эффект самовращения придает обработанной поверхности благодаря вращению режущего элемента дополнительно к раздавливанию волокон закручивание, что приводит к более глубинному разрыхлению волокон и соответственно к увеличению периода обкатки НБВС на суперкаландре.

Из параметров режима резания наибольшее влияние на формирование шероховатости рабочей поверхности НБВС оказывает подача, значение которой на чистовых рабочих ходах следует выбирать из диапазона 0,85...2 мм/об, а на получистовых – 2...5 мм/об.

Применение для обработки бумажных валов чашечных инструментов с принудительным обновлением режущей кромки позволяет повысить производительность рабочего хода в 10...15 раз по сравнению с алмазным способом. К тому же наличие отдельного привода для обновления режущей кромки позволяет управлять скоростью притупления и формой геометрии режущего клина непосредственно в процессе обработки, что предоставляет возможность соответственно управлять процессом формирования шероховатости обработанной поверхности в зависимости от жесткости технологической системы или осуществлять подбор режимов резания и скорости обновления режущей кромки исходя из конкретного состояния оборудования, опор качения и жесткости самого вала.

Литература

1. Зайцев, И. М. Эксплуатация и ремонт суперкаландров / И. М. Зайцев. – Москва : Лесная пром-сть, 1981. – 114 с.
2. Milukov, O. Le cylindrage à l'abrasif devient superflu / O. Milukov // LICENSINTORG actualités. – 1988. – № 24. – С. 9–10.
3. Mauri Aromäki Sorvaaminen timanttipäällysteisellä terällä / M. Aromäki. – Suomi, 1986. – 78 с.
4. Коновалов, Е. Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь. – Минск, 1972. – 327 с.
5. Ротационное резание материалов / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 229 с.
6. Ерохин, А. А. Обработка резанием стеклопластиков / А. А. Ерохин // Высокопроизводительное резание в машиностроении : сб. науч. ст. – Москва, 1966.

Получено 04.10.2006 г.