

В.П. МАРШУБА, канд. техн. наук, (г. Харьков)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Представлений основной напрям розвитку методики досліджень виникнення і протікання фізичних явищ в зоні різання і зоні обробки при свердленні глибоких отворів в різних матеріалах, а також їх взаємозв'язок між собою. Запропонована загальна математична модель, яка описує взаємодію цих фізичних явищ. На основі математичної моделі можливо створення прикладної комп'ютерної програми. Використовування комп'ютерної програми дозволить прискорити дослідження процесів різання, а значить збільшити продуктивність праці на виробництві, понизити витрати на наукові дослідження по даній темі.

The base direction of development of the research technique for occurrence and the passing of physical phenomena in cutting area and also in tool zone at drilling of deep holes in different materials, and also their interaction among themselves, is offered. It is represented the general mathematical model, which describes the interaction of these physical phenomena. On the basis of the mathematical model the creation of application software, is possible. Usage of the application software will allow speeding up the investigation of cutting processes, so to increase labor productivity in production, and to cut down expenses of scientific investigations on the given subject.

Введение. Основой развития современного машиностроения является создание новых машин или механизмов, либо объединенная с этим процессом модернизация уже существующих. Современная модернизация, либо создание новых машин и механизмов, связана в первую очередь, с улучшением их эксплуатационных характеристик, изменением выполняемых функций, снижения веса и т.д. В частности при создании новых конструкций первостепенное значение приобретает снижение веса машин и механизмов, что существенно влияет на снижение их себестоимости.

В свете наметившейся тенденции по снижению веса уже существующих моделей машин и механизмов и производства новых конструкций, происходит замена различных наружных трубопроводов в системах гидропривода или топливопроводов каналами глибоких отверстий, которые располагают в стенках корпусных деталей. С возникновением этой тенденции возникла технологическая проблема, связанная с выполнением каналов глибоких отверстий в корпусных деталях, из-за проблемы пакетирования стружки в стружкоотводящих каналах режущего инструмента, недостаточной жесткости сверл, особенно малых диаметров, и проблем с подводом СОТС в зону резания. Поэтому решение задачи по удалению стружки из канала отверстия является первоочередным вопросом для решения данной технологической проблемы.

Из проведенного анализа исследовательских работ различных авторов, посвященных проблеме обработки материалов резанием, в частности, по проблеме образования пакетов стружки в стружечных каналах режущего ин-

струмента, в том числе и работах автора, зафиксировано появление физического явления «пакетирования стружки», которое является производным от закономерностей взаимодействия различных явлений между собой.

Основные проблемы обработки глибоких отверстий связаны с процессом превращения поверхностного слоя заготовки в стружку, который сопровождается интенсивным тепловыделением под действием ряда физических явлений и взаимодействием между ними. К этим явлениям, в частности, необходимо отнести следующие: пластическая деформация поверхностной части материала под действием удельного давления с последующим сдвигом этой части, относительно основной массы; сопротивление материала заготовки сдвигу под воздействием удельного давления; действие силы трения по передней и задней поверхности режущего инструмента и другие основные факторы, характеризующие процесс резания. Проявление этих факторов выражается в протекании сложных тепловых явлений, т.е. возникновении источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты в системе деталь-инструмент-стружка. Это сложное тепловое взаимодействие принято называть температурой резания, т.е. это понятие отображает в какой то мере взаимодействие между физическими явлениями, и используется при описании характеристик процесса резания, как в целом, так и частности. Для преодоления негативных явлений при обработке различных материалов, вызванных взаимодействием физических явлений, в частности при сверлении глибоких отверстий, на данном этапе наметилась тенденция изменения существующих технологий, путем применения новых конструкций режущих инструментов, принципиально отличных от уже существующих. Разработка новых режущих инструментов ведется с учетом последних достижений науки и техники, на базе установленных закономерностей протекания физических явлений в процессе резания материалов, и носит название высокие технологии.

Основной тенденцией развития высоких технологий в машиностроении можно назвать повышенное внимание в последние десятилетия к созданию оптимизированных режущих инструментов, режимов резания и инструментальных материалов, приспособленных к обработке различных материалов, и в частности обработке глибоких отверстий в них.

Однако исследование закономерностей взаимодействия физических явлений между собой, влияющих на эффективность механической обработки отверстий в различных материалах, затруднено из-за многофакторности данного процесса, сложных математических расчетов связанных с этим, и не постоянством взаимодействия данных явлений между собой. Кроме этого, выше перечисленные трудности связаны с необходимостью обработки огромных объемов информации, что до появления компьютеров было физически невозможно. Поэтому до недавнего времени исследования велись лишь по отдельным физическим явлениям, либо по их взаимодействиям небольшими группами.

До настоящего времени исследованиями данной сложной научной про-

блемы с учетом закономерностей взаимодействия от всех физических явлений в полном объеме не занимались из-за сложности математического описания данной проблемы, однако по отдельным частям этой задачи проведено большое количество исследовательских работ, которые в совокупности охватывают всю проблему в целом. Кроме этого многие исследовательские работы перекликаются между собой, дополняют либо опровергают друг друга. Следовательно, если учитывать совокупность большого объема исследовательских работ, посвященных данной научной проблеме, то можно с полной уверенностью утверждать, что данный вопрос исследован практически в полном объеме различными исследователями. Однако общая картина закономерностей взаимодействия всех физических явлений в процессе резания отсутствует. Поэтому для получения полной и всесторонней картины процесса резания необходимо объединить все разрозненные результаты исследований в единое целое, что до настоящего времени было невозможно по ряду объективных и субъективных причин, связанных с многофакторностью процесса резания материалов.

Появление в последние десятилетия компьютеров позволило приступить к решению этой задачи, то есть приступить к созданию различных прикладных программ, нацеленных на решение данной проблемы, однако появление таких программ сдерживается отсутствием соответствующих математических моделей.

Анализ последних исследований и публикаций. При рассмотрении проблем обработки материалов резанием необходимо выделить главные направления существующих исследований: процесс образования стружки, теплообразования и теплопередачи, пакетирования стружки и др.

В последних изданиях по данному вопросу, в частности в работе Грановского Г.И., Грановского В.Г. [1] приведены данные о физической природе процесса образования элементов стружки, обосновано влияние основных физических факторов, влияющих на данный процесс. Однако в этой работе процесс образования стружки не увязывался в полной мере в совокупности с влиянием физических явлений, сопровождающих процесс трения и теплообразования, хотя и предполагалась такая взаимосвязь. Кроме этого данные по исследованию процесса среза стружки проводились только для свободного резания (точение либо строгание), тогда как процесс обработки глубоких отверстий предусматривает несвободное резание и условия, отличные от исследованных, по данным работы автора [2].

В изданиях, вышедших в последнее время, посвященных теплофизике процесса обработки металлов резанием, произошло разделение вопроса исследования. В частности в работе Резникова А.Н., Резникова Л.А [3], посвященной общей теплофизике процессов резания, тогда как работа Юдковского П.А. и др. [4] посвящена в первую очередь процессу теплообразования при неглубоком сверлении. В этих работах приведены данные по распределению потоков и стоков теплоты в детали, инструменте и стружке, как при точении,

так и при неглубоком сверлении. Однако в этих работах процесс возникновения источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты описан не полностью, так как не учитывает в полной мере взаимодействие всех физических явлений, присущих глубокому сверлению, и не учитываемых при неглубоком сверлении. В частности не рассматривается вопрос вторичного перераспределения потоков теплоты, которые описаны в работе автора [5].

Следующая проблема, которую рассматривают исследователи процесса резания при глубоком сверлении, это явление пакетирования стружки. По данной проблеме имеется довольно большое количество исследовательских работ, в которых решение данной проблемы представлено по-разному. В одних работах эта проблема решается путем искусственного прерывания процесса резания (вибрационное сверление, управление путевым контролем и др. [6]), в других, за счет изменения величины крутящего момента или подачи (по предельному моменту, управление величиной подачи и др. [7]), в третьих, за счет оптимизации геометрических параметров и конструктивных элементов (т.е. динамическое разрушение непрерывных потоков стружки на отдельные фрагменты с последующим их удалением [5]).

Процесс исследования закономерностей влияния физических явлений друг на друга является очень кропотливым и сложным, как по времени, так и по объему необходимых расчетов. Кроме этого, из-за большого количества факторов, которые влияют на данный процесс, возникает необходимость в проведении больших серий опытов и связанных с этим математических вычислений. При необходимости получения более достоверных данных необходимо повторять каждую серию экспериментов многократно. Поэтому, создание единой математической модели данного процесса до настоящего времени было затруднено по объективным причинам, и отсутствует в настоящее время. Следовательно, для успешного решения этой задачи возникает необходимость автоматизации процесса исследований, так как в настоящее время существует большое количество исследований различных авторов, посвященных данной теме, но они разрознены и не учитывают весь объем существующей информации в целом.

Исходя из рассмотренных выше вопросов делаем вывод, что необходимо создать принципиально новый метод научных исследований, который с одной стороны учтет основные проблемы, вытекающие при несвободном резании, с другой – всю сложность и динамику теплообразования и теплопередачи в режущем инструменте, в детали и стружке, в-третьих, позволит организовать устойчивое дробление непрерывного потока стружки и отвод отдельных её фрагментов из зоны резания и зоны обработки, что позволит решить данную задачу в целом.

Цель исследований. Определить основные направления создания комплексного метода по определению закономерностей взаимодействия физических явлений между собой в зоне резания и в зоне обработки при глубоком сверлении различных материалов. В основу метода заложить зависимо-

сти повышения производительности механической обработки различных материалов от конструктивных элементов и геометрических параметров режущей части сверл, режимов резания, физических свойств инструментального и обрабатываемого материалов и др. Взяв за основу разработанный комплексный метод и существующие закономерности взаимодействия физических явлений, появляется возможность создания прикладной компьютерной программы, направленной на повышение эффективности обработки глубоких отверстий без проведения многочисленных экспериментов.

Изложение основного материала. Как известно процесс резания, особенно при глубоком сверлении, является многопараметричным, т.е. на данный процесс оказывает влияние большое количество, как переменных, так и постоянных факторов. К этим факторам необходимо отнести следующие: физические и химические свойства инструментального и обрабатываемого материалов (твердость, вязкость, теплопроводность, скорость протекания химических реакций, адгезионная активность и т.д.), режимы резания, условия термодинамики и многие другие. В свете существующих представлений о процессе срезания стружки и базирования на уже известных закономерностях взаимного влияния физических явлений, возможно на данном этапе создание математической модели данного процесса.

Математическая модель базируется на общих представлениях о представленном процессе с учетом последних научных достижений по данному вопросу.

На основании выше изложенного рассмотрим последовательность прохождения всех этапов при образовании элемента стружки. Разбивка на отдельные этапы связана с тем, что в разные отрезки времени в данном процессе взаимодействуют различные физические явления, действия которых в корне отличны между собой.

Исходное состояние системы резец – деталь до начала процесса резания, это отсутствие какого либо контакта между ними. На первом этапе происходит начало процесса резания, т.е. образование зоны первичной деформации без сдвига элемента стружки. На втором этапе - образование зоны вторичной деформации и появления трещины без сдвига элемента стружки при смещении резца на одну треть пути, необходимого для образования элемента стружки. Следующий этап, это образование зоны максимальной деформации без сдвига элемента стружки при смещении резца на две трети пути, необходимого для образования элемента стружки. На четвертом этапе - образование элемента стружки со смещением резца на длину пути, необходимую для образования элемента стружки.

В результате описанной выше последовательности образования элемента стружки, удельное давление на резец непрерывно меняется, колеблясь от некоторого минимума, соответствующего моменту конца скалывания и начала образования нового элемента, до некоторого максимума, соответствующего моменту максимальной деформации элемента и началу его скалывания.

Кроме рассмотренных выше закономерностей, происходит взаимодействие других физических явлений между собой, так например: трение инструмента об обрабатываемую поверхность и стружку; образование теплоты и её стоки в системе резец - деталь – стружка – окружающая среда, и др. Явлением износа режущего инструмента в условиях обработки глубоких отверстий также нельзя пренебрегать. Это связано с тем, что по мере увеличения износа инструмента увеличиваются размеры контактных площадок между резцом и деталью, а это в свою очередь вызывает прирост силы трения и количества теплоты.

Как известно, для того чтобы узнать распределение тепловых полей на поверхности и в теле режущего инструмента, необходимо определить участки с повышенной и пониженной температурой. На основе этого возможно определить направление потоков и стоков теплоты, исходя из условий тепловой конвенции. Поэтому, для расчета температуры в любой точке тела, необходимо решить дифференциальное уравнение теплопроводности в конкретных условиях, называемых краевыми. Задача решается с помощью метода точечных мгновенных источников тепла (далее по тексту ТМИ). В основе этого метода, по данным работ П.А. Юдковского и др. [4], лежат два следующих положения: 1) температурное поле в неограниченном теле, возникающее под действием источника теплоты любой формы, можно получить как результат комбинации температурных полей, возникающих под действием системы точечного мгновенного источника; 2) под точечным мгновенным источником (ТМИ) понимается горячая точка, вспыхнувшая и погасшая одновременно, которая при этом выделила q калорий теплоты.

Мощность этого элементарного источника зависит в первую очередь от интенсивности тепловыделения. Представляя точечный мгновенный источник, как бесконечно большое количество ТМИ, можно рассчитать температуру в бесконечном теле от нагретой линии (т.е. от линейного ТМИ), или как в нашем случае, от главной режущей кромки. Идя дальше, возможно системой мгновенных линейных источников имитировать действие плоского или объемного источника, т.е. рассчитать температуру в любой точке неограниченного тела от действия источника теплоты, возникающего на каком-либо ограниченном участке контактной поверхности инструмента с изделием.

Обработка глубоких отверстий в различных материалах имеет свою специфику, в частности при механической обработке возникают существенные трудности с удалением стружки из зоны резания и зоны обработки из-за её пакетирования в стружечных канавках, по данным работ [2, 4, 5-7]. Особенно, это проявляется при обработке вязких материалов в силу их повышенного адгезионного и механического взаимодействия, склонности к образованию плотноупакованных пакетов стружки, что неизбежно ведет к внезапному отказу (поломке) режущего инструмента.

Возникновение этих проблем в процессе обработки отверстий является следствием взаимодействия физических явлений, которые проявляются в этих зонах и их взаимосвязи между собой в процессе среза стружки. К дан-

ным физическим явлениям необходимо отнести следующие их виды: пластическая деформация материала под действием высоких удельных давлений; образование теплоты в зоне резания и явления первичной и вторичной тепловой конвенции; адгезионное и механическое взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов; явление пакетирования стружки в стружечных канавках и др.

Как следует из выше сказанного, особенности обработки глубоких отверстий в разнообразных материалах связаны: в первую очередь с закономерностями взаимодействия различных физических явлений в зоне резания и в зоне обработки при их взаимном влиянии друг на друга; во вторую, с проблемой недостаточной осевой жесткости существующих конструкций сверл, особенно малых диаметров (менее 15 мм). Так как в настоящее время еще не созданы принципиально новые конструкции режущего инструмента, достаточно жесткого в осевом направлении, особенно при обработке отверстий глубоких (свыше 3d) и сверхглубоких (свыше 50d) [5-7].

В этих разработках наметилась общая тенденция по выявлению определенных закономерностей влияния физических явлений друг на друга при обработке различных материалов, стойкостные зависимости режущего инструмента от свойств инструментальных материалов, конструкций сверл и многого другого. Следовательно, на основе установленных закономерностей возможно создание математической модели (см. рис.), которая предназначена для описания наибольшего количества факторов, участвующих в данном процессе.

В настоящее время, как считает автор, с учетом последних достижений в данных областях науки и практики, наступила возможность приступить к реализации этой идеи на основе уже существующих прикладных программ и развития науки в области резания материалов. Решение данной проблемы связано с созданием математической модели и ее реализации в прикладной компьютерной программе, которая позволит определять на базе проведенных исследований следующие параметры: 1) оптимальные конструктивные элементы и геометрические параметры режущего инструмента применительно как к специфике обрабатывания различных групп материалов, так и к различным конструкциям сверл; 2) оптимальные режимы резания с учетом физических свойств обрабатываемых и инструментальных материалов; 3) наиболее полно использовать физические свойства инструментальных материалов при обработке различных материалов; 4) определять закономерности взаимодействия физических явлений между собой, в процессе среза и транспортирования стружки; 5) визуализировать процесс среза обрабатываемого материала, разрушение непрерывного потока стружки на отдельные фрагменты и транспортирования фрагментов стружки в 3-D формате, для наглядности представления о технологическом процессе обработки глубоких отверстий.

Решение этой задачи позволит приступить не только к определению оптимальных конструктивных элементов и геометрических параметров режущего инструмента, режимов резания на основе существующих закономерностей,

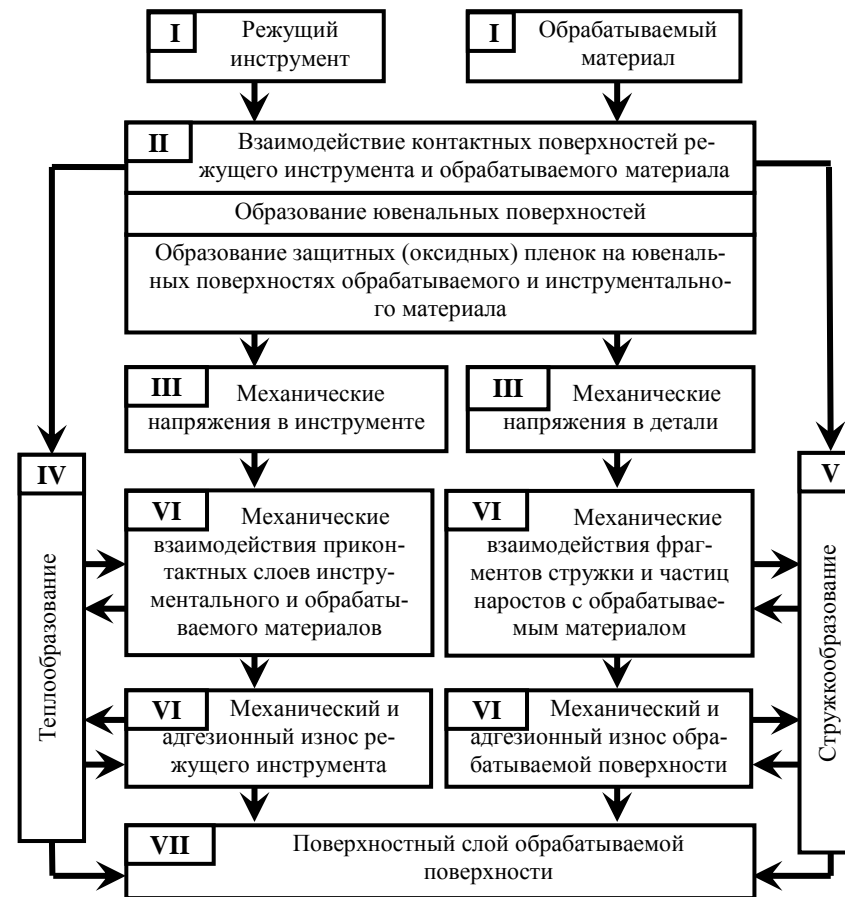


Рис. - Математическая модель взаимодействия физических явлений в процессе резания при обработке глубоких отверстий.

стей, но и позволит прогнозировать влияние того или иного физического явления на механический процесс обработки различных материалов в целом, либо этих явлений друг на друга. Такой подход к решению данной задачи позволит: с одной стороны производителям решать насущные проблемы при решении своих технологических проблем, которые связаны с обработкой глубоких отверстий; с другой стороны позволит молодым исследователям решать различные задачи по определению физики процессов резания и существующих закономерностей; в-третьих, студентам, которые изучают обработку различных материалов, более полно представлять процесс меха-

нической обработки глубоких отверстий, в контексте решения данной задачи.

Из анализа отечественной и зарубежной технической литературы установлено следующее: данная тема в настоящее время является актуальной, так как посвящена проблемам повышения эффективности и производительности при обработке глубоких отверстий в различных материалах осевым инструментом. Исследования посвящены взаимосвязи физических явлений, которые возникают, протекают и взаимодействуют между собой. На основе этих взаимодействий возможно создание математической модели, которая будет описывать эти закономерности.

Как установлено, в ходе проведения литературного обзора в настоящее время отсутствуют прикладные компьютерные программы, которые позволяют на основе уже исследованных закономерностей взаимодействия всех физических явлений рассчитывать оптимальные конструктивные элементы и геометрические параметры режущего инструмента для обработки различных материалов. В настоящее время существуют такие программы только для определения отдельных параметров при обработке некоторых видов материалов, либо групп режущих инструментов.

Создание до недавнего времени такой прикладной компьютерной программы, учитывающей весь объём взаимодействий физических взаимодействий между собой при резании материалов, сдерживался следующими факторами: отсутствием единого подхода к решению поставленной задачи; большим объёмом математических вычислений из-за многофакторности процесса и большого различия граничных условий, характеризующих этот процесс; отсутствием единого подхода к исследованию закономерностей взаимодействий физических явлений в процессе резания материалов, их влияния друг на друга; сложностью создания единой математической модели физики процесса резания материалов на существующей научно-обоснованной базе; сложностью определения единого подхода к выбору критериев оптимизации при обработке различных материалов по физическим свойствам и др.

Кроме этого необходимо отдать должное, что на данный период уже существуют прикладные программы, которые позволяют конструкторам инструментов рассчитывать по отдельным закономерностям геометрические параметры инструментов, определять для них режимы резания, составлять технологическую документацию и т.д. Однако эти программы либо не учитывают весь комплекс взаимодействий между явлениями, либо предназначены только для решения сугубо простых технологических задач, т.е. по сути, являются программами, которые предназначены для выполнения простейших вычислений на базе определенных опытным путем существующих закономерностей при обработке отдельных материалов либо определенных групп материалов на основе близких физических свойств.

Следовательно, с одной стороны, создание общей математической модели процесса обработки материалов на основе существующих взаимодействий физических явлений между собой, позволит упростить решение сложных технологических задач, связанных с обработкой глубоких отверстий. С дру-

гой стороны, создание прикладной компьютерной программы на базе предложенной математической модели позволит отказаться от практики проведения больших серий опытов по определению существующих закономерностей, снизить объём различных вычислений, и выполнять только ограниченное количество экспериментов для подтверждения либо опровержения отдельных воздействий физических явлений друг на друга.

Выводы. 1. Создание предложенной математической модели не противоречит существующим в настоящее время представлениям о процессе резания материалов, так как обладает собирательными свойствами по отношению к предыдущим исследованиям различных авторов.

2. Математическая модель на основе существующих в настоящее время научных изысканий в области процесса резания может быть реализована в прикладной компьютерной программе, которая послужит для оптимизации, как существующих технологических процессов, так и при разработке новых, посвященных обработке глубоких отверстий в различных материалах.

3. Использование прикладной компьютерной программы направлено на оптимизацию и ускорение решения поставленных задач по исследованию взаимодействий физических явлений друг на друга, так как данный процесс является очень кропотливым и сложным, как по времени, так и по объёму необходимых расчетов. Сложность расчетов связана с многофакторностью процесса резания, при котором возникает необходимость для проведения больших серий опытов и связанных с этим математических вычислений, кроме этого при необходимости получения более достоверных данных необходимо повторять каждую серию экспериментов многократно.

Список литературы: 1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. - М.: Высш. школа, 1985. - 304 с. 2. Маришуба В.П. Причины внезапного отказа (поломок) спиральных сверл при обработке глубоких отверстий в алюминиевых сплавах и методы их устранения. // «Резание и инструмент в технологичных системах»: Междунар. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ, 1998. Вып. №52. - С. 154-157. 3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с. 4. Юдовский П.А., Крючков И.К., Шевель А.П. Повышение качества спиральных сверл. - Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1970. 110 с. 5. Маришуба В.П., Дрожжин В.И. Повышение эффективности глубокого сверления отверстий в алюминиях на агрегатных станках и автоматических линиях спиральными сверлами малого диаметра за счет совершенствования условий отвода стружки. // Междунар. науч.-техн. сборник. "Резание и инструмент в технологических системах". №52. - Харьков: ХГПУ. - 1997. - С. 81-87. 6. Кожевников Д.В. Сверление глубоких отверстий спиральными сверлами малых диаметров. // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. - Томск: Изд-во ТПУ, - 1997. - С. 158. 7. Лакирев С.Г. Обработка отверстий. - М.: Машиностроение, 1984. - 206 с.

Поступила в редколлегию 15.11.05