



Использование комбинированных инструментов при обработке глубоких отверстий

¹**БЕРИКБАЕВА Меруерт Амирхановна**, магистр, старший преподаватель, meruert_tptk@mail.ru,

^{2*}**МУХАМАДЕЕВА Рауля Минибулатовна**, к.т.н., доцент, raulia@list.ru,

²**КАСЫМЖАНОВА Куралай Советовна**, к.т.н., доцент, kasymzhanovak@mail.ru,

¹НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Казахстан, Петропавловск, ул. Пушкина, 86,

²Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, Казахстан, Кокшетау, ул. Ауэзова, 189а,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье сделан обзор вариантов комбинации процесса резания и пластического деформирования, были рассмотрены варианты комбинированных инструментов для обработки отверстий. Актуальность создания нового инструмента объясняется сложными условиями при образовании внутренних поверхностей. При сверлении или рассверливании глубоких отверстий из-за сложности подачи смазывающе-охлаждающих жидкостей не отводится тепло из зоны резания и стружка проходит стадию термической обработки и становится вредным фактором для уже обработанной внутренней поверхности. Подробно изложено описание сборной конструкции комбинированной развертки и предложен новый вариант, сочетающий на режущей части многогранные неперетачиваемые пластины твердого сплава и на выглаживающей части деформирующие шарики. Особенностью предложенной конструкции нового инструмента для обработки отверстий является винтовое расположение режущих и деформирующих элементов развертки. Практическая значимость разработанного инструмента подтверждается полученным патентом на полезную модель и апробацией, результаты которой изложены на международных научно-практических конференциях.

Ключевые слова: обработка глубоких отверстий, металлорежущий инструмент, развертывание отверстий, комбинированная обработка, комбинированная развертка, чистовая обработка отверстий, обработка отверстий в тонкостенных деталях, пластическое деформирование, выглаживание, дорнование отверстий.

Введение

В общем машиностроении выделяют механическую обработку материалов и обработку пластическим деформированием. Механическая обработка отверстий – это всегда снятие определенного слоя металла. Толщина снимаемого слоя зависит от назначения обработки: черновая, получистовая, чистовая (см. рисунок 1) и тонкая (шлифование, хонингование). В случае, когда предъявляются высокие требования к чистоте обработки, а также к точности формы и прямолинейности отверстия, то требуется несколько операций механической обработки. Черновое рассверливание дает не выше 9-10 квалитета точности и шероховатость $Rz\ 20-40$. После рекомендуется зенкерование и лишь потом чистовое развертывание отверстия [1].

Если для улучшения качества поверхности при изготовлении валов рекомендуется абразивная обработка, то в глубоких отверстиях хонингование (шлифование внутренних отверстий специальным инструментом – хонем) не может гарантировать исправление погрешностей формы и расположения, а дает только уменьшение шероховатости до $Ra\ 3.2 - 1.25$. Таким образом, для получения качественного и точного отверстия необходимо как минимум три операции, несколько инструментов и даже разное оборудование.

Как показала практика, для чистовой обработки отверстий более приемлемо и эффективно поверхностное пластическое деформирование – выглаживание и дорнование. Основные преимущества поверхностного пластического деформирования заключаются в уплотнении поверхностного слоя металла. Под воздействием внешних сил происходит деформирование зерен их уплотнение, и поверхностный слой приобретает такие свойства, как износостойкость и коррозионная стойкость. Полученный эффект аналогичен проведению операции термообработки, когда в результате дополнительной операции возможным становится возможным получение поверхности с остаточными напряжениями в пределах

220-320 МПа и повышением микротвердости не менее 15%. Недостатком пластического деформирования для внутренних цилиндрических поверхностей гидроцилиндров, является невозможность создания гарантированного натяга, что приводит к разной степени уплотнения вдоль оси обрабатываемого отверстия [2]. Кроме того, если обработка происходит на разных станках, то добавляется еще погрешность закрепления.

Связь высоты неровностей поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей гидроаппаратуры свидетельствует о том, что оптимальная (с точки зрения повышения износостойкости деталей) поверхность должна быть достаточно твердой, должна иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности [2].

Совмещение механической обработки резанием и холодным пластическим деформированием с использованием особенностей и достоинств той и другой – одно из направлений совершенствования металлообработки как в отношении сокращения цикла изготовления и повышения производительности труда, так и повышения качества обрабатываемых деталей [2].

Литературный обзор

Комбинированные инструменты, сочетающие мехобработку различных диаметров отверстий известны достаточно давно, наиболее подробно и достаточно обоснованно такие инструменты описаны Сахаровым Г.Н., Матюшин В.М., Семенченко И.И. а также в классических учебниках по проектированию металлорежущих инструментов Аршинова В.А. и Алексеева Г.А., также можно сослаться на подробное описание в книгах Палей М.А. Но, в основном, это были комбинации сверл для обработки ступенчатых отверстий (см. рисунок 2), когда возможно было совмещать обработку нескольких цилиндрических отверстий с различными диаметрами.

Недостатками ступенчатых комбинированных

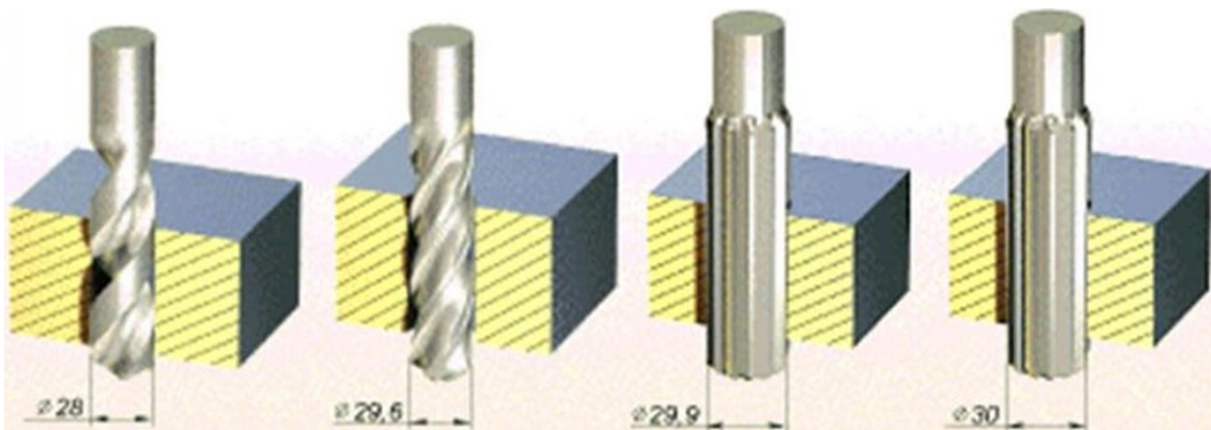


Рисунок 1 – Традиционная схема обработки отверстий

сверл является сложность заточки и переточки инструмента. Для данной ситуации идеальным является сборная конструкция режущего инструмента, как показано на рисунке 2 слева, но для таких инструментов есть ограничения по допустимым минимальным размерам обрабатываемых отверстий. Ограничивают размеры различные крепежные системы, необходимые в любом сборном инструменте.

Более интересны варианты комбинирования разнородных операций, таких как сверление-зенкерование, сверление-развертывание и даже сверление и нарезание резьбы (см. рисунок 3) [3].

Основным недостатком комбинированных сверл-метчиков также является невозможность переточки в обычных цеховых условиях. Обработка отверстия в сплошном материале имеет проблему отвода стружки. Идущий следом метчик нарезает резьбу в сложных условиях высокой температуры в зоне резания, и его режущая часть может быть повреждена отходящей стружкой. Для точной обработки необходимы специальные приспособления переточки комбинированного инструмента.

Известен способ инструмента для комбинированной обработки отверстий – развертывание и хонингование (Барсов А.И., 1947), когда развертки стали ремонтным инструментом и по конструкции были разжимными. Развертка устанавливается во втулке револьверной головки и соверша-

ет поступательное движение вместе с головкой и суппортом, а заготовке сообщается вращательное движение вместе с патроном и шпинделем токарно-револьверного станка.

Известны развертки-аналоги [4], предназначенные для повышения точности размера и формы цилиндрических отверстий, полученных после сверления, зенкерования для предварительной и для окончательной обработки отверстий с допуском по 6-му или выше квалитетам и параметром шероховатости внутренней поверхности $Ra\ 1,25...2,5\ \mu m$, имеющие режущую и калибрующую части, шейку, хвостовик, и шесть геометрических параметров: передний (γ) и (α) задний углы, вспомогательный задний угол (α_1) на вспомогательной режущей кромке, угол наклона главной режущей кромки (ϕ), угол в плане (ψ) и вспомогательный угол в плане (ψ_1) в пределах обратной конусности (прототип), а также режуще-выглаживающая развертка, представленная на рисунке 4 [2].

Недостатком данного комбинированного инструмента является цельная конструкция развертки, которая имеет низкую размерную стойкость и делает трудоемкой операции переточки инструмента.

Уже существует инструмент для комбинированной чистовой обработки абразивом и пластическим поверхностным деформированием внутренних поверхностей отверстий. Это состав-

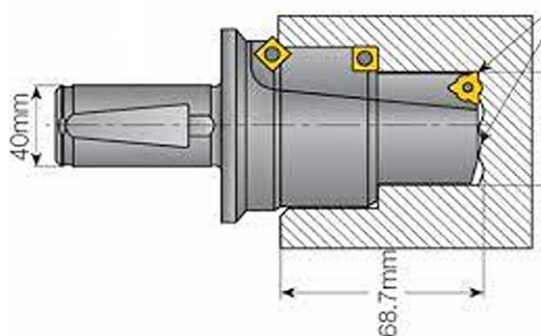


Рисунок 2 – Комбинированное ступенчатое сверло



Рисунок 3 – Конструкции комбинированных сверло-метчиков

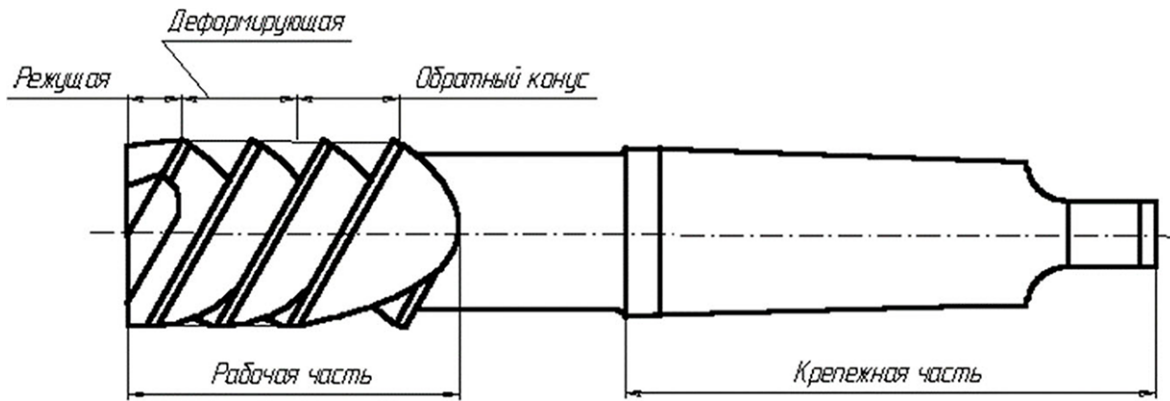


Рисунок 4 – Комбинированная развертка с винтовыми зубьями

ной инструмент, состоящий из двух различных частей, в котором прерывистый шлифовальный крут из абразивных брусков закреплен на оправке и соосно с ним установлен цилиндрический корпус, имеющий деформирующие элементы (Патент РФ 2239545, МПК В24Д 17/00, В24 В39/00, опубл. 2004.11.10).

Недостатком такого комбинированного инструмента является сложность подбора режимов обработки. При высоких скоростях образуются прижоги на обрабатываемой поверхности. Отсутствие возможности настройки на размер и невозможность регулировки усилия на обрабатываемую поверхность приводит к быстрому износу деформирующих элементов, а следовательно, не позволяет корректировать прямолинейность и круглость обрабатываемого отверстия.

Методы исследований

Использование комбинированной развертки происходило в условиях реального машиностроительного предприятия на Севере Казахстана. Для исследовательской работы были привлечены сотрудники контрольно-измерительной лаборатории. Определение качества поверхностного слоя происходило по методу «Косого шлифа». При микроструктурном анализе поверхностного слоя покрытия часто используется метод косого шлифа. Эта методика позволяет, с одной стороны, непосредственно и детально рассмотреть структуру поверхностного слоя покрытия, а с другой – облегчить измерение его толщины и микротвердости.

Разрезанное изделие шлифовалось под углом в 20 градусов и по мере приближения к ости отверстия, перпендикулярно срезу производилось измерение твердости. Таким образом определялась толщина упрочненного слоя.

Для разработки сборной конструкции комбинированного инструмента использовалась поисковая работа во всемирной сети Интернет, анализ статистических данных и обзор специальной литературы.

Именно патентный поиск позволил проанализировать недостатки имеющихся методов об-

работки глубоких отверстий. Также при рассмотрении конструкций инструментов для чистовой механической обработки отверстий был выполнен расчет на жесткость при обработке отверстий с соотношением диаметра к длине отверстия, как 1 к 4. Все это и позволило найти оптимальную комбинацию развертки для резания и пластического деформирования.

В процессе исследования и на этапе проектирования использовалось трехмерное твердотельное моделирование в системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3D. Также использовался САПР SolidWorks для подбора необходимого радиуса под заданную величину натяга. Цифровизация полученных результатов на металлографическом микроскопе позволила сделать вывод по выбору высоты микронеровностей и остановиться на выглаживающих элементах в форме шариков, а также отказаться от роликовых уплотнителей.

Результат

В результате исследований был предложен вариант комбинированной сборной развертки. Недостатком традиционной конструкции разверток является большое отклонение от круглости в поперечном сечении и невозможность корректировки и снижения отклонений по прямолинейности глубоких отверстий в продольном сечении.

Задача комбинированного инструмента – за одну установку подготовить поверхность отверстия под калибровку и повысить плотность поверхностного слоя, т.е. упрочнить внутреннюю полость, сделать ее износостойкой. Необходимо было создать комбинированный инструмент, сокращающий время обработки и позволяющий повысить качество внутренней поверхности цилиндрического отверстия без дополнительных операций шлифования и упрочнения.

Комбинированная развертка для обработки внутренней поверхности гидроцилиндров, включающая режущую и калибрующую части, отличается тем, что главные режущие кромки расположены по касательной к винтовой направ-

ляющей, в качестве деформирующих элементов использованы шарики высокой твердости и износостойкости, расположенные по касательной к винтовой поверхности и выполненные с разницей по высоте вылета обеспечивает не только повышение точности и качества обработанной внутренней поверхности, но еще и упрочняет эту поверхность.

Предложенная модель развертки состоит из режущей части 1 и выглаживающей 2. В качестве режущих зубьев используются пластины 3, которые удерживаются в корпусе на подложках 4. Деформирующие шарики 5 расположены по винтовой благодаря установке подложек 6 (см. рисунок 5) [5].

На данную развертку был получен патент №7082 от 06.05.2022 на полезную модель «Комбинированная развертка для обработки внутренней поверхности гидроцилиндров», зарегистрированный в Институте Интеллектуальной собственности Республики Казахстан.

Обсуждение

Если рассматривать обработку отверстий в гидроаппаратуре, то можно опираться на работы Ассоциации сверления и трепанирования (Boring and Trepanning Association). Деятельность Ассоциации, в основном, направлена на сокращение себестоимости бурения скважин. Если же ориентироваться на общее машиностроение, то проблемы глубокого сверления – это повышение эффективности работы станков с ЧПУ. Для выполненных исследований был проведен анализ существующих методов повышения качества обработки отверстий гидроцилиндров насосной аппаратуры.

Как считают авторы, основная проблема при обработке глубоких отверстий – это выполнение требований по прямолинейности и минимальные отклонения по форме отверстия. Оптималь-

ным решением было сочетание предварительной обработки и чистовой (калибрующей) за одну установку или одним инструментом на одной технологической операции. Предлагаемая авторами комбинированная развертка решает поставленную задачу [6].

В настоящий момент необходимо определить соотношение угла наклона режущих и выглаживающих элементов от необходимой степени наклепа (упрочнения) поверхностного слоя. Пока нет исследований по распределению ширины снимаемого слоя режущими зубьями развертки. Величина вылета должна быть регламентирована свойствами обрабатываемого материала и требованиями к прочности и износостойкости внутреннего поверхностного слоя глубокого отверстия.

Основные конструктивные и геометрические параметры комбинированной развертки для глубоких отверстий должны напрямую зависеть от заданных параметров обрабатываемого отверстия [7].

Требуется дополнительное исследование возможности осуществления процесса комбинированной обработки отверстий с помощью сборной развертки, сочетающей резание и пластическое деформирование, а также изучение особенностей процесса и его влияния на качество и надежность получаемых деталей.

Выводы

Выполненные работы и анализ полученных экспериментальных данных говорят о том, что комбинированная обработка отверстий, сочетающая механическую обработку резанием и пластическое деформирование, возможна. И именно комбинированная развертка устраняет недостатки последовательной технологии при обработке глубоких отверстий.

Также можно сделать вывод о возможности получения заданных характеристик и свойств

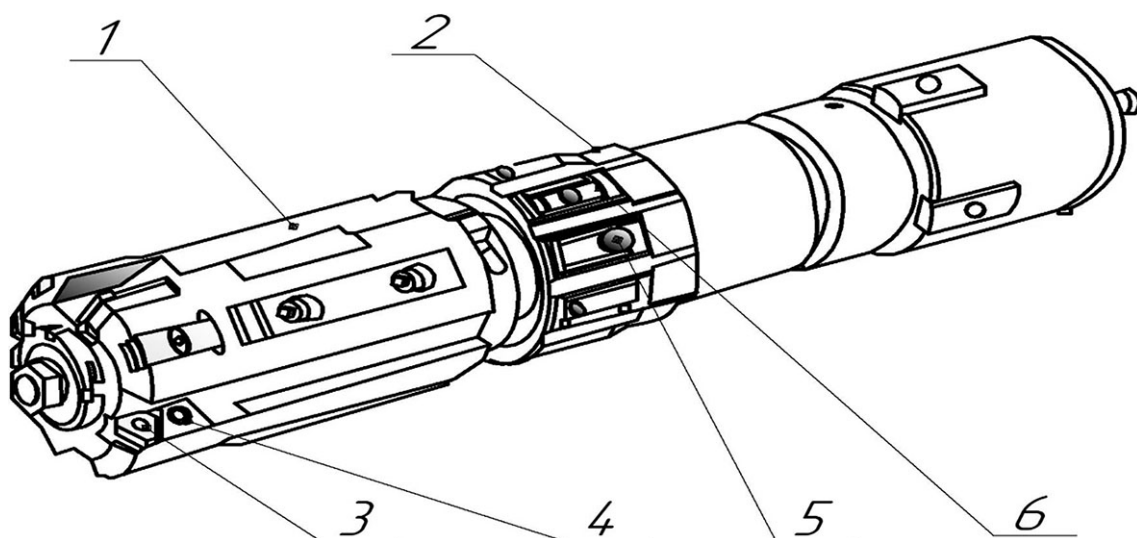


Рисунок 5 – Комбинированная развертка для обработки внутренней поверхности гидроцилиндров

внутренней поверхности гидроцилиндров при комбинированной обработке.

Экспериментальные исследования по методу косого шлифа позволяют говорить, что:

- материал поверхностного слоя обрабатываемого отверстия приобретает большую износостойкость за счет повышения твердости до 30 HRC;

- глубина поверхностного упрочнения при обработке деталей из конструкционной стали может достигать 1...1,2 мм;

- структура поверхностного слоя приобретает волокнистый характер, что благоприятно влияет на эксплуатационные характеристики деталей.

Новая конструкция комбинированного инструмента позволяет получать детали с высокими эксплуатационными характеристиками. Но работа развертки не позволяет говорить о ее стабильных показателях по точности обработки.

Результаты исследований открывают дополнительный ряд вопросов по созданию математической модели зависимости точности обработки глубоких отверстий от толщины стенок изделия и от свойств обрабатываемого материала.

Кроме того, нет надежной зависимости размерной стойкости инструмента от угла наклона винтовой, касательно которой происходит размещение режущих элементов развертки.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Семенченко И.И., Сахаров Г.Н., Матюшин В.М. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиниздат, 1962. – 685 с.
2. Мухамадеева Р.М. Повышение качества обработки отверстий комбинированными режуще-деформирующими развертками. Спец. 05.02.08. – Технология машиностроения: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Омск, 2004. <http://tekhnosfera.com>
3. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машиностроение, 2016. – 367 с.
4. Сахаров Г.Н., Арбузов О.Б., Боровой Ю.Л., Гречишников В.А. Металлорежущие инструменты. – М.: Машиностроение, 1989. – 503 с.
5. Атаманов С.А., Берикбаева М.А., Мухамадеева Р.М. Комбинированная развертка для глубоких отверстий. Матрица научного познания. – 2022. – № 3-1. – С. 25-31. <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2022-03-1.pdf> <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2022-03-1.pdf>
6. Берикбаева М.А., Хайруллин Б.Т., Мухамадеева Р.М. Комбинированная обработка отверстий гидроцилиндров. Сборник: LXVI International correspondence scientific and practical conference. Boston, 22-23 января 2020 года С. 7-10. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42371111>
7. Berikbaeva M.A., Khairullin B.T., Mukhamadeyeva R.M. The Study of Methods for Combined Processing of Deep Holes of Hydraulic Cylinders. International journal of mechanics, Vol. 14, 2020, pp. 177-184. DOI 10.46300/9104.2020.14.24. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85095426952&origin=resultslist&sort=plf-f>

Терең тесіктерді өңдеуде кіректі құралдарды пайдалану

¹**БЕРИКБАЕВА Меруерт Әмірханқызы**, магистр, аға оқытушы, meruert_tptk@mail.ru,

²***МУХАМАДЕЕВА Рауля Минибулатовна**, т.ғ.к., доцент, raulia@list.ru,

²**КАСЫМЖАНОВА Куралай Советовна**, т.ғ.к., доцент, kasymzhanovak@mail.ru,

¹«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Қазақстан, Петропавл, Пушкин көшесі, 86,

²Абай Мырзахметов атындағы Көкшетау университеті, Қазақстан, Көкшетау, Әуезов көшесі, 189а,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада кесу процесі мен пластикалық деформацияны біріктіру нұсқаларына шолу жасалды, саңылауларды ашуға арналған құрама құралдардың нұсқалары қарастырылды. Жаңа құралды құрудың өзектілігі ішкі беттерді қалыптастырудағы қиын жағдайлармен түсіндіріледі. Терең саңылауларды бұрғылау немесе өңдеу кезінде кесу сұйықтарын беру қиындығына байланысты кесу аймағынан жылу алынбайды және жоңқалар термиялық өңдеу сатысынан өтіп, қазірдің өзінде өңделген ішкі бет үшін зиянды факторға айналады. Құрама рейктің құрастырмалы құрылымының сипаттамасы егжей-тегжейлі сипатталған және кесу бөлігіндегі көп қырлы қатты қорытпалы пластиналарды және тегістеу бөлігінде деформациялаушы шарларды біріктіретін жаңа нұсқасы ұсынылған. Саңылауларды өңдеуге арналған жаңа құралдың ұсынылып отырған конструкциясының ерекшелігі рейктің кесу және деформациялаушы элементтерінің бұрандалы орналасуы болып табылады. Әзірленген құралдың практикалық маңыздылығы пайдалы модельге патентпен және апробациямен расталады, оның нәтижелері халықаралық ғылыми-практикалық конференцияларда баяндалады.

Кілт сөздер: терең саңылауларды өңдеу, металл кескіш құрал-саймандар, саңылауларды жоңғалау, құрама өңдеу, саңылауларды өңдеу, жұқа қабырғалы бөлшектердегі саңылауларды өңдеу, пластикалық деформациялау, саңылауларды тегістеу, жандыру.

Using Combined Tools in Deep Hole Machining

¹**BERIKBAEVA Meruert**, Master, Senior Lecturer, meruert_tptk@mail.ru,

²***MUKHAMADEYEVA Railya**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, raulia@list.ru,

²**KASSYMZHANOVA Kuralay**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, kasymzhanovak@mail.ru,

¹NPLC «Manash Kozybayev North Kazakhstan University», Kazakhstan, Petropavl, Pushkin Street, 86,

²Abay Myrzakhmetov Kokshetau University, Kazakhstan, Kokshetau, Auezov Street, 189a,

*corresponding author.

Abstract. The article made an overview of the options for combining the cutting process and plastic deformation, the options for combined tools for holemaking were considered. The relevance of creating a new tool is explained by the difficult conditions in the formation of internal surfaces. When drilling or reaming deep holes, due to the difficulty of supplying cutting fluids, heat is not removed from the cutting zone and the chips go through the heat treatment stage and become a harmful factor for the already machined inner surface. The description of the prefabricated design of the combined reamer is described in detail and a new version is proposed, which combines multifaceted hard alloy plates on the cutting part and deforming balls on the smoothing part. A feature of the proposed design of a new tool for machining holes is the helical arrangement of the cutting and deforming elements of the reamer. The practical significance of the developed tool is confirmed by a patent for a utility model and approbation, the results of which are presented at international scientific and practical conferences.

Keywords: processing of deep holes, metal-cutting tools, reaming of holes, combined processing, combined reaming, finishing of holes, processing of holes in thin-walled parts, plastic deformation, smoothing, burnishing of holes.

REFERENCES

1. Semenchenko I.I., Sakharov G.N., Matyushin V.M. Design of metal cutting tools. – Moscow: Mashizdat, 1962. – 685 p.
2. Mukhamadeeva R.M. Improving the quality of hole processing by combined cutting-deforming reamers. Specialist. 05.02.08. – Engineering technology. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of sciences. Omsk. – 2004. <http://tekhnosfera.com>
3. Zorev N.N. Questions of the mechanics of the process of cutting metals. – Moscow: Mashinostroenie, 2016. – 367 p.
4. Sakharov G.N., Arbuzov O.B., Borovoy Yu.L., Grechishnikov V.A. Metal-cutting tools. – Moscow: Mashinostroenie, 1989. – 503 p.
5. Atamanov S.A., Berikbaeva M.A., Mukhamadeeva R.M. Combined reamer for deep holes. Matrix of Scientific Knowledge. – 2022. – No. 3-1. – Pp. 25-31. <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2022-03-1.pdf> <https://os-russia.com/SBORNIKI/MNP-2022-03-1.pdf>
6. Berikbaeva M.A., Khairullin B.T., Mukhamadeeva R.M. Combined machining of hydraulic cylinder bores. Collection: LXVI International correspondence scientific and practical conference. Boston, January 22-23, 2020, pp. 7-10. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42371111>
7. Berikbaeva M.A., Khairullin B.T., Mukhamadeyeva R.M. The Study of Methods for Combined Processing of Deep Holes of Hydraulic Cylinders. International journal of mechanics, Vol. 14, 2020, pp. 177-184. DOI 10.46300/9104.2020.14.24. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85095426952&origin=resultslist&sort=plf-f>