

УДК 621.86.063.2-82

В.Л. Моисеенко, М.П. Кульгейко, Д.В. Мельников*УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, Беларусь***ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ
ДЕТАЛЕЙ ГИДРОПРИВОДА ГРЕЙФЕРНОГО ЗАХВАТА**

Аннотация. В работе представлено обоснование основных подходов реализации технологии получения глубоких отверстий в деталях гидропривода грейферного захвата в условиях индивидуального изготовления изделий. Показана методика принятия технологических решений с учетом дополнительных ограничений, обусловленных конструктивными особенностями деталей.

Ключевые слова: грейферный захват, детали гидропривода, получение глубоких отверстий, обработка с дополнительными ограничениями.

V.L. Moiseenko, M.P. Kulgeyko, D.V. Melnikov*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus***TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE MANUFACTURE OF THE PARTS
FOR CLAMSHELL GRIPPER HYDRAULIC DRIVE
UNDER CONDITIONS OF ADDITIONAL RESTRICTION**

Abstract. The paper presents a rationale for the main approaches to implementing the technology for getting deep holes in the parts of the hydraulic drive of a clamshell gripper in the conditions of individual production of products. The methodology for making technological decisions is shown taking into account additional restrictions caused by the design features of the parts.

Keywords: clamshell gripper, the parts of the hydraulic drive, getting deep holes, processing with additional restrictions.

Введение

Грейфер или грейферный захват является рабочим органом какой-либо рабочей машины – крана, экскаватора или другой спецтехники. Он может выполнять функцию грузозахватного приспособления (захватные грейферы) подъемных кранов, погрузчиков, монорельсовых тележек и других грузоподъемных машин для погрузки сыпучих материалов, скрапа и стружки, крупнокусковых и волокнистых материалов, а также длинномерных лесоматериалов и др. [1]. Ковшеобразные грейферы используются для проведения копательных работ и добычи полезных ископаемых (копающие грейферы).

Широкое распространение во многих отраслях народного хозяйства находят многочелюстные грейферы, например для перегрузки труднозачерпываемых материалов (крупнокусковой руды и др.). Челюсти (от трех до восьми) таких грейферов имеют серповидную форму, расположены друг относительно друга под углом $120^\circ - 45^\circ$ и шарнирно закреплены на цилиндрической нижней траверсе.

В настоящее время повсеместно используются грейферные механизмы с гидравлическим приводом. Гидравлический грейферный захват относится к так называемым моторным и приводным грейферам. Управление челюстями такого вида механизма реализуется посредством отдельного привода, состоящего из гидроцилиндров, расположенных непосредственно в грейфере, и системы подводных шлангов. Насосное обо-

рудование, служащее для нагнетания рабочей жидкости в цилиндры, располагается на самой спецтехнике. Вращение грейфера вокруг своей оси осуществляется за счет роторной установки. Оснащение подъемно-погрузочного механизма ротатором позволяет захватывать грузы из любого положения.

Гидравлические грейферы отличаются лучшими техническими характеристиками по сравнению с другими приводными моторными устройствами. Гидравлический привод обладает большой мощностью, способен обеспечивать наибольшую силу сжатия челюстей и широкий диапазон возможностей. Достоинствами грузозахватного оборудования гидравлического типа также являются относительно небольшой вес и наличие у него роторной установки. Последняя обеспечивает возможность устройства поворачиваться вокруг своей оси на 360° и проводить манипуляции в ограниченном рабочем пространстве. Недостатком приводного гидравлического грейфера является необходимость прогрева рабочей жидкости и гидроаппаратуры при температуре окружающей среды ниже 0°C .

Типоразмерный ряд пятичелюстных грейферов с одновременным равномерным смыканием челюстей разрабатывался с учетом вида спецтехники и весового класса машины-носителя (перегрузателя), а также материала, с которым предстоит работать захвату. Кроме того, принимались во внимание некоторые технические характеристики, такие как грузоподъемность, объем грейфера в закрытом виде (вместимость) и др.

Работоспособность гидравлического грейфера зависит от надежности механизма замыкания челюстей захвата, который работает в тяжелом режиме эксплуатации при значительных динамических нагрузках. Как свидетельствует практика эксплуатации [1], основными причинами преждевременного выхода грейфера из строя, наряду с недостаточной надежностью некоторых узлов, являются технологические упущения и недоработки, что в значительной степени сказывается на уровне их изготовления. Качество изготовления рабочих узлов и, в частности гидравлического механизма замыкания, определяет работоспособность грейфера, его надежность и долговечность.

Производственная технологичность конструкции гидравлического грейфера

Гидравлический грейферный захват состоит из нескольких основных частей. Основа конструкции – корпус грейфера, к которому крепятся челюсти захвата. Важное значение имеют такие детали, как гидравлические цилиндры, именно за счет них происходит сжатие и разжатие челюстей грейфера, и поворотный коллектор, через ось которого и систему шлангов рабочая жидкость подается к гидроцилиндрам.

Требование компактности конструкции и минимального веса грейфера влечет относительную сложность компоновки механизма. Вследствие этого отдельные детали гидравлической системы представляют существенную конструктивную сложность и, как следствие, низкую технологичность по процессу механической обработки. Так, например, гильза цилиндра (рисунок 1) и ось поворотного коллектора (рисунок 2) имеют глубокие отверстия, длина которых превышает 25 диаметров ($l > 25d$). Эскизное изображение деталей на рисунках 1 и 2 представлено с указанием основных элементов и их размеров. Прочие конструктивные элементы, не имеющие отношения к технологии получения отверстий, на данных изображениях не показаны. Глубина отверстия диаметром 8 мм в гильзе цилиндра составляет $28d$, а отверстий диаметром 15 мм в оси поворотного коллектора – более $26d$.

Получение глубоких отверстий как операция в условиях дополнительных ограничений

Современное машиностроение, прежде всего производство высокотехнологической продукции, обуславливает актуальность применения материалов и конструкций,

обеспечивающих оптимальный баланс прочности и веса [2]. Такой подход вызывает необходимость изготовления применяемых конструкций с неблагоприятными для обработки параметрами и свойствами. К таким свойствам при обработке глубоких отверстий можно отнести пониженную жесткость инструмента, трудности в применении смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) и удалении стружки и ряд других. Следовательно, наряду с обычными для резания проблемами выбора инструмента и режимов обработки, как функции свойств обрабатываемого материала, появляются проблемы, вытекающие скорее из конструкции деталей, чем из материала как такового [2].

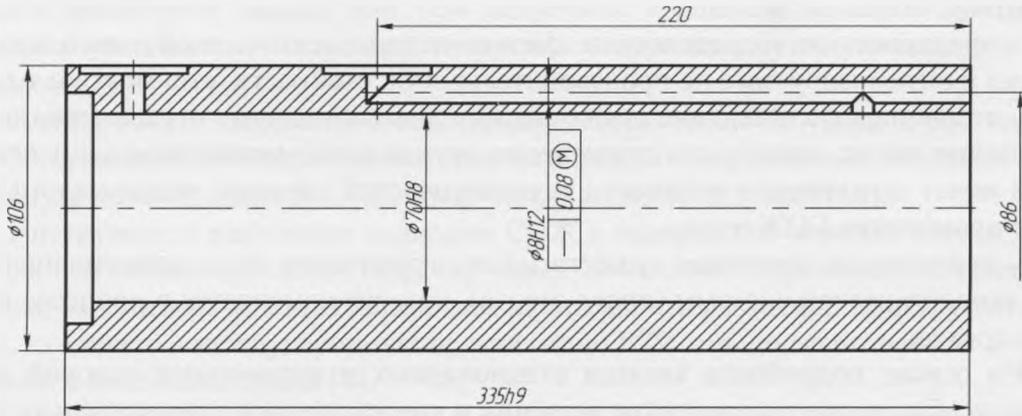


Рисунок 1 – Эскиз детали гильза цилиндра

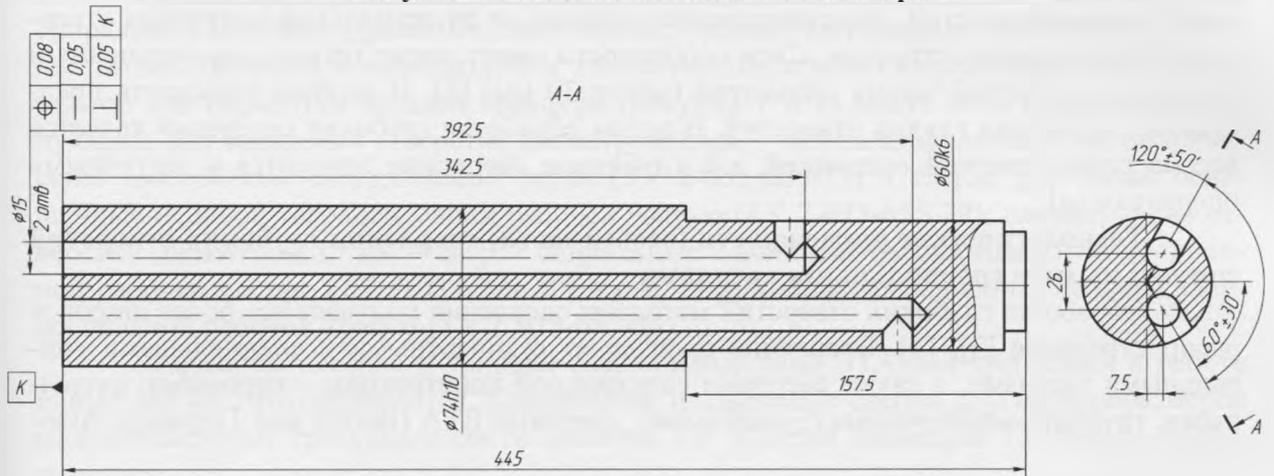


Рисунок 2 – Эскиз детали ось поворотного коллектора

Таким образом, обработка глубоких отверстий представляет собой комплекс задач второй группы – резание в условиях преобладания дополнительных ограничений [2], в отличие от задач первой группы – традиционное резание (оптимизируемое). Вторая группа задач требует учета дополнительных условий, которые становятся определяющими и оказывают большое влияние на протекание процесса резания, наряду с влиянием физико-механических свойств самого обрабатываемого материала. Дополнительные условия обработки глубоких отверстий относятся к первой подгруппе [2], которая включает ограничения, накладываемые конструкцией заготовки. Это ограничения по усилиям в зоне резания, определяемые конструкцией заготовки и жесткостью технологической системы, возможности эффективного применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и др.

По мнению авторов [2], условия резания с существенным влиянием дополнительных ограничений получили в настоящее время достаточно большое распространение, и можно говорить о них как о самостоятельном направлении в силу следующих обстоятельств: востребованность легких, прочных и герметичных конструкций и бурное развитие аддитивных технологий, позволяющих получать конструкции сложной пространственной формы, требующих последующей обработки резанием. В соответствии с конструктивными и технологическими обстоятельствами и классификацией видов ограничений, возникающих при механической обработке изделий, условия резания предложено разделить на следующие группы (сформулированы применительно к сверлению отверстий):

- традиционные, определяемые физико-механическими свойствами материала заготовки и оптимизируемые по производительности, стойкости, стоимости и т.п.;

- стационарные, имеющие существенные дополнительные ограничения по условиям резания, такие, где область применения оптимальных режимов механической обработки имеет ограничения жесткости технологической системы, возможности эффективного применения СОЖ и т.п.;

- переменные, имеющие существенные ограничения из-за непостоянной жесткости технологической системы (инструмента), которая изменяется в процессе резания за один проход.

На основе подробного анализа стационарных и переменных условий резания приняты необходимые практические решения и корректировки применительно к механической обработке глубоких отверстий. Технология обработки глубоких отверстий имеет ряд особенностей, что существенно отличает ее от технологии получения отверстий общего машиностроения. Свои особенности имеет также технология получения и обработки отверстий малых диаметров (менее 30 мм) [3]. И особую сложность представляет обработка глухих отверстий. В целом обработка глубоких отверстий является весьма специфической операцией, т.е. глубинное сверление относится к «штучным» операциям [4].

Технологические возможности (особенности) сверления глубоких отверстий спиральными и специальными сверлами

Обработка глубоких отверстий методами сверления получает все более широкое распространение [3], [4]. Сверление производят стандартными и специальными спиральными сверлами, а также сверлами специальной конструкции – перовыми, пушечными, трубчато-лопаточными (ружейными), сверлами ВТА (Boring and Trepanning Association) и др.

Обработка отверстий глубиной 3...5 диаметров спиральными сверлами является малоэффективной, а иногда вообще невозможной [4]. Это объясняется, главным образом, малой жесткостью инструмента, трудностями подвода СОЖ в зону резания и отвода стружки [4], [5]. Неизбежны заклинивания и поломка сверл с последующими трудностями операции извлечения обломков из отверстия [5]. Для удаления стружки из зоны резания, смазки и охлаждения инструмента необходим его периодический вывод из отверстия, что значительно снижает производительность обработки. Она может быть существенно увеличена при использовании специальных станков с автоматизированным циклом сверления или станков с ЧПУ [6].

Для повышения производительности обработки отверстий диаметром $d = 1...10$ мм глубиной до $10d$ рекомендуется [7] использовать спиральные сверла с крутой спиралью. В результате можно увеличить рабочую подачу и уменьшить число промежуточных выводов инструмента, повышается стойкость сверл.

Для получения отверстий диаметром более 3 мм и глубиной до $50d$ в стальных и особенно в чугунных деталях эффективно применение шнековых сверл. Эти сверла дают возможность по сравнению со стандартными спиральными значительно увеличить глубину сверления без промежуточных выводов сверла из отверстия [8], что способствует увеличению производительности обработки.

Спиральные сверла специальной конструкции повышенной жесткости и прочности диаметром $d > 1,5$ мм обеспечивают сверление на глубину $50d$ с периодическими выводами сверла из отверстия или $15d$ без вывода сверла до окончания обработки. Для уменьшения увода и искривления оси отверстия рекомендуется обработку осуществлять с вращением детали или при встречном вращении детали и инструмента. Уменьшить увод можно также при сверлении с периодическим увеличением вылета инструмента [9].

Для глубокого сверления отверстий диаметром от 0,5 до 40 мм с соотношением l/d до 50 применяются сверла одностороннего резания – трубчато-лопаточные (ружейные) с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки [10].

Инструмент с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки (метод ВТА) для получения глубоких отверстий менее 20 мм имеет ограниченное применение. При этом, за рубежом метод ВТА достиг значительного развития, и инструментальные фирмы, входящие в международную организацию ВТА, продолжают работы в этом направлении в настоящее время [4].

В соответствии со стандартами и техническими условиями для сверления глубоких отверстий предприятиями выпускаются спиральные сверла, в том числе с крутой спиралью, шнековые, ружейные, эжекторные, головки сверлильные типа ВТА и др. Из достаточно большой номенклатуры и типоразмеров серийно изготавливаемых инструментов для обработки деталей грейфера (рисунки 1 и 2) могут быть применены следующие: для сверления отверстия диаметром 8 мм – сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком сверхдлинной серии (ТУ 2-035-600-77) и сверла ружейные, оснащенные цельной твердосплавной рабочей частью (ТУ 2-035-655-79); для сверления отверстий диаметром 15 мм – сверла спиральные с коническим хвостовиком и удлиненной рабочей частью (ТУ 2-035-721-80) и сверла ружейные, оснащенные цельной твердосплавной рабочей частью (ТУ 2-035-655-79).

Эжекторные сверла и головки сверлильные типа ВТА для требуемых в работе диаметров не изготавливаются. Спиральные и шнековые сверла других типоразмеров не соответствуют требуемым соотношениям l/d или для диаметров 15 мм не изготавливаются.

Высокоэффективная обработка глубоких отверстий требует применения не только специальных инструментов, но и специальных, специализированных или модернизированных универсальных станков [4]. Для сверления глубоких отверстий спиральными сверлами созданы вертикально-сверлильные станки модели ОС-401А и ОС-402А, а также четырехшпиндельный агрегатный станок модели 1АМ901 Минского завода автоматических линий.

В связи с тем, что стоимость специальных и специализированных станков для сверления глубоких отверстий достаточно высока, вместо них используют модернизированные универсальные станки [4]. Для этого они подлежат достаточно сложному дополнительному оснащению: мощные насосные станции очистки СОЖ; системы подвода СОЖ к инструменту и отвода стружки из зоны резания; устройства направления инструмента; переделывается привод подач и др.

Исходя из анализа путей решения поставленной задачи и изложенной информации, можно сделать следующие выводы. В настоящее время разработаны технологии, современные конструкции инструментов, технологической оснастки и оборудования для получения глубоких отверстий в различных деталях машин. Вместе с тем, сверление сверлами одностороннего резания возможно только на специальных станках, применение которых может оказаться неэффективным в условиях единичного и мелкосерийного производства, тем более штучного изготовления деталей [6]. А отдельные типы специальных инструментов в единичном производстве практически не применяются из-за значительного роста затрат на их изготовление и технологическое обеспечение процесса обработки. Поэтому решение поставленных задач основано на применении в основном универсальных технологических систем металлообрабатывающего производства.

Определение параметров и режимов сверления глубоких отверстий с учетом ограничений

Обработка отверстий спиральными сверлами представляет значительные сложности из-за малой жесткости инструмента, трудности подвода СОЖ в зону резания и отвода стружки из отверстия. Малая жесткость консольно-закрепленного инструмента приводит к уходу осей обработанных отверстий. Самым эффективным способом, позволяющим свести до минимума уход осей отверстий, является базирование рабочей части инструмента на поверхность обработанного участка отверстия. Это достаточно эффективно реализуется при обработке мерными инструментами с определенностью базирования – сверлами ружейными, ВГА, эжекторными и некоторыми другими. Обеспечивается такое базирование под влиянием радиальной составляющей силы резания за счет асимметричного расположения режущих лезвий инструмента [4], [11].

Метод сверления отверстий малых диаметров с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки с использованием ружейных сверл в настоящее время является наиболее эффективным. Однако такой инструмент не стандартизирован и изготавливается по заказу на отдельных инструментальных заводах. Количество выпускаемого инструмента недостаточно для удовлетворения потребностей промышленности, и отдельные машиностроительные заводы вынуждены его изготавливать своими силами [3].

Другие сверла для обработки глубоких отверстий (перовые, спиральные, шнековые и т.п.) относятся к инструментам без определенности базирования. Спиральные сверла для обработки отверстий глубиной более $26d$ требуемых диаметров (8 и 15 мм) централизованно изготавливаются ограниченной номенклатуры [4].

Учитывая конкретные производственные условия решения поставленной задачи – единичный тип производства, индивидуальный характер изготовления детали, имеющийся парк станочного оборудования и технологическое оснащение предприятия (инструмент, оснастка и т.п.), – для обработки отверстий в деталях грейфера (рисунки 1 и 2) применяются доработанные спиральные сверла стандартной длины. Доработка заключается в удлинении сверла путем приварки хвостовика сваркой трением с последующей правкой. Сварка сверла и хвостовика производится на установке для сварки трением, а при отсутствии таковой – на токарном станке. Метод характеризуется небольшими энергетическими затратами, простой технологической оснасткой, не требует особой подготовки поверхностей соединительного стыка и обеспечивает надежное сварное соединение. А вопросы базирования решаются следующим образом. Предварительно отверстия засверливаются короткими жесткими сверлами при их введении в технологическую систему, обладающую минимальной податливостью. Затем обработка осуществляется спиральными сверлами требуемой длины, базирясь по поверхностям обработанных отверстий как по направляющим. При этом базами инструмента являют-

ся узкие калибрующие ленточки. Такая схема обработки позволяет осуществлять базирование мерных инструментов с обеспечением эффектов самонаправления и самоустанавливаемости [4], [12]. Совместным действием указанных эффектов и приданием инструменту поперечной устойчивости (определенности базирования) достигается качество и производительность обработки.

Сверление глубоких отверстий невозможно без применения СОЖ. На выбор марки СОЖ и способа ее подвода большое влияние оказывает конструкция режущего инструмента и другие параметры и факторы процесса. Для инструментов без определенности базирования, в данных условиях это спиральные сверла, характерны благоприятные условия трения на направляющих элементах – калибрующих ленточках [4]. Поэтому при использовании спиральных сверл применяются традиционные водные СОЖ – эмульсии [13].

Одним из факторов, определяющих эффективность процесса обработки глубоких отверстий, является получение удобной формы стружки для ее удаления [3], [4]. Для получения наиболее благоприятной формы стружки в виде небольших частиц ее необходимо раздробить по ширине и длине [4]. Дробление стружки в зависимости от конструкции инструмента и возможностей технологической системы осуществляется различными методами, например, с помощью стружкоразделительных канавок на задней поверхности лезвия инструмента, стружколомающих порошков на передних поверхностях лезвия, путем периодического вывода сверла из отверстия, в том числе, за счет автоматизированных быстродействующих механизмов, путем наложения вибраций на инструмент и др. [10], [14].

Принимая во внимание технологические возможности производства, а также условия обработки, в том числе обрабатываемый материал, задача удаления стружки решается путем периодического вывода сверла из отверстия. Причем по мере углубления требуется более частый вывод сверла, иногда через каждые 5 – 10 мм, для гарантированного предотвращения повреждения и поломки инструмента, особенно для сверла диаметром 8 мм.

Решение вопросов назначения режимов резания принимается с учетом следующих соображений. Охлаждение спиральных сверл СОЖ эффективно только на глубину обработки до $(2...3)d$ [4], после чего ее проникновение существенно ухудшается из-за заполнения канавок сверла стружкой. Ухудшается стружкоотвод, повышается температура и силы резания и, как следствие, снижается стойкость инструмента, и возможна даже его поломка. В этом случае рекомендуется снижать режимы резания в соответствии с [4] при сверлении отверстия за один цикл. Так при сверлении отверстий в деталях рейфера при $l/d > 26$ применяются следующие поправочные коэффициенты: для скорости резания – $K_V = 0,5$; для подачи – $K_S = 0,8$.

Однако, как правило, сверление спиральными сверлами отверстий глубиной более $3d$ производится с периодическим выводом сверла из отверстия с целью удаления стружки и охлаждения инструмента [4]. Так при сверлении отверстий гильзы цилиндра и оси поворотного коллектора, для которых $l > 25d$, требуется примерно 35 выводов спирального сверла для удаления стружки. Тогда длина одного прохода (ввода сверла) для отверстия $\varnothing 8$ мм составляет примерно около 5 мм, а для отверстия $\varnothing 15$ мм – примерно 8 мм. Так как при сверлении до $7d$ выполняется один вывод инструмента, то засверливание отверстия $\varnothing 8$ мм можно проводить до 50 мм, а отверстия $\varnothing 15$ мм – до 100 мм.

Также нужно иметь в виду, что приведенные коэффициенты снижения режимов и длины ввода инструмента для одного прохода имеют средние значения. На практике

по мере сверления к концу обработки они уменьшаются, т.е. снижается частота вращения n сверла до $0,5n$ и уменьшается подача до $0,25s$, а шаг сверления в конце обработки для отверстия $\varnothing 8$ мм составляет менее 4 мм, а для отверстия $\varnothing 15$ мм – менее 6 мм. Примерно такие режимы рекомендуются в работе [15], и по такой технологии предлагает обработку фирма Iskar (Израиль), т.е. в такой последовательности: 1 – коротким сверлом, диаметр которого на $0,03...0,05$ мм больше диаметра длинного отверстия, сверлят заправочное отверстие глубиной до $2d$; 2 – в заправочное отверстие медленно вводят вращающееся длинное сверло; 3 – сверлят глубокое отверстие длинным сверлом по вышеприведенной методике; 4 – выводят сверло из отверстия на меньшей частоте вращения.

Так как применение специальных и специализированных станков эффективно только при больших объемах выпуска деталей, в данной работе задача решалась с применением универсального оборудования. Предварительное засверливание отверстий выполнялось на сверлильно-фрезерно-расточном станке ИР-500 (обрабатывающем центре) с числовым программным управлением (ЧПУ) и автоматической сменой инструмента (АСИ), обладающем высокой жесткостью и виброустойчивостью. Окончательное сверление выполнялось на радиально-сверлильном станке модели 2К52. При этом определенные сложности возникают в связи с большой длиной деталей, в частности, при установке оси поворотного коллектора на радиально-сверлильном станке. Трудности обработки также связаны с ограниченным ходом шпинделя сверлильной головки, так как наибольшее осевое перемещение пиноли шпинделя составляет 250 мм.

Заключение

Таким образом, дополнительные ограничения, обусловленные конструктивными особенностями изделия, накладывают определенные требования к технологии обработки, особенно в условиях индивидуального производства. Задача получения глубоких отверстий в деталях гидропривода грейферного захвата решается в соответствии с имеющимися производственными возможностями – наличием оборудования, оснастки и инструмента. Учет конкретных производственных условий и особенностей предприятия позволяет эффективно решать нестандартные задачи реального производства.

Список использованных источников

1. Таубер Б.А. Грейферные механизмы. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
2. Шачнев С.Ю., Солодилов С.А. Проблемы резания при изготовлении элементов современных летательных аппаратов // Ритм машиностроения. – 2020. – № 5. – С. 16-21.
3. Кижняев Ю.И., Немцев Б.А., Яковлев П.Д. и др. Обработка глубоких отверстий малых диаметров: учеб. пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2018. – 53 с.
4. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Григорьев С.Н. и др. Обработка глубоких отверстий в машиностроении: справочник; под общ. ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2010. – 344 с.
5. Бойцов А.Г. Современные технологии обработки отверстий малого диаметра // Ритм машиностроения. – 2020. – № 5. – С. 22-29.
6. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра: монография. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с.
7. Лакирев С.Г. Обработка отверстий: справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
8. Дечко Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях. – Минск: Высшая школа, 1979. – 232 с.
9. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 184 с.

10. Звонцов И.Ф., Серебrenицкий П.П., Схиртладзе А.Г. Технологии сверления глубоких отверстий. – СПб.: Лань, 2013. – 496 с.
11. Pflęghar F. Aspekte zur konstruktiven Gestaltung von Tiefbohrwerkzeugen // Werkstattstechnik, 1997. – V. 67, No. 4. – S. 211-218.
12. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г. и др. Инструменты для обработки точных отверстий. – 2 изд. – Под общ. ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2005. – 334 с.
13. Худобин Л.В., Бабичев А.П., Булыжев Е.М. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: СОТС: справочник; под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 543 с.
14. Литвинов Л.П. Вибросверление глубоких отверстий // Вестник машиностроения. – 1990. – № 5. – С. 22-24.
15. Липатов А.Н. Глубокое сверление на станках с ЧПУ // Станки и инструмент. – 1991. – № 5. – С. 29-31.

Информация об авторах

Владимир Леонидович Моисеенко – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Транспортно-технологические машины и оборудование», УО «Белорусский государственный университет транспорта» (ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь), e-mail: bsut@bsut.by.

Михаил Петрович Кульгейко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Графика», УО «Белорусский государственный университет транспорта» (ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь), e-mail: bsut@bsut.by.

Дмитрий Витальевич Мельников – старший преподаватель кафедры «Транспортно-технологические машины и оборудование», УО «Белорусский государственный университет транспорта» (ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь), e-mail: bsut@bsut.by.

Information about the authors

Vladimir Leonidovich Moiseenko – Ph. D. (Engineering), Head of the Department “Transport-technological machines and equipment”, Belarussian State University of Transport (34, Kirova Str., 246653, Gomel, Belarus), e-mail: bsut@bsut.by.

Mikhail Petrovich Kulgeyko – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department “Graphics”, Belarussian State University of Transport (34, Kirova Str., 246653, Gomel, Belarus), e-mail: bsut@bsut.by.

Dmitriy Vitalievich Melnikov – Senior Lecturer of the Department “Transport-technological machines and equipment”, Belarussian State University of Transport (34, Kirova Str., 246653, Gomel, Belarus), e-mail: bsut@bsut.by.

Поступила в редакцию 30.10.2024 г.