

УДК 621.923

Ф.В. НОВИКОВ (д-р техн. наук, проф.)**И.А. РЯБЕНКОВ****А.Н. КОВАЛЬЧУК****Е.И. ИВАНОВ**

ХНЭУ, г. Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ И ДУГОВЫХ ПАЗОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Экспериментально доказана перспективность применения технологии высокоскоростном фрезеровании глухих отверстий и дуговых пазов шириной 2,5...5,0 мм в деталях из закаленных сталей вместо традиционных технологий, включающих растачивание и последующее алмазное хонингование отверстий. Данная технология обеспечивает отклонение от цилиндричности отверстия в пределах 0,01 мм и шероховатость поверхности на уровне $R_a=0,63$, на обработанных поверхностях отсутствуют температурные дефекты. Обеспечивается увеличение в 2,5 раза производительности обработки и в 4 раза стойкости твердосплавных концевых фрез. На этой основе разработаны эффективные операции высокоскоростного фрезерования твердосплавными концевыми фрезами глухих отверстий и дуговых пазов шириной 2,5...5 мм в деталях из закаленных сталей на современных высокооборотных станках с ЧПУ типа "Pisomax 60".

высокоскоростное фрезерование, отверстие, обработка, дуговой паз

Введение

В современных машинах и системах широко используется гидроаппаратура, составляющая основу командоаппаратов и исполнительных механизмов. Создание высоких давлений и обеспечение заданной гидроплотности требуют высококачественного изготовления деталей гидроаппаратуры, особенно деталей пар трения, которые работают в условиях интенсивного трения и износа [1]. Однако, как показывает производственный опыт, обеспечить высокие требования по качеству и точности обработки указанных деталей весьма сложно, т.к. они изготовлены из материалов с повышенными физико-механическими характеристиками, и их обработка сопряжена с образованием значительных погрешностей и температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях. Это относится к трудоемким операциям обработки высокоточных глухих и сквозных отверстий, а также дуговых пазов в деталях, изготовленных из закаленных сталей 7ХГ2ВМФ и 20Х3МВФ. Поэтому актуальной задачей по-прежнему является поиск новых технологических решений по повышению качества, точности и производительности обработки, основанных на научно-обоснованном выборе рациональной структуры и параметров операций. В работах [2, 3] приведены примеры эффективного применения технологий абразивной и лезвийной обработок деталей гидроаппаратуры на финишных операциях, в частности, показана перспективность использования высокоскоростного фрезерования. Однако, для широкого внедрения в производство данных методов обра-

ботки необходимо знание их технологических возможностей в плане обеспечения параметров качества, точности и производительности обработки отверстий. В связи с этим целью работы является обоснование технологических закономерностей формирования параметров точности и качества обработки отверстий и дуговых пазов и определение наиболее эффективных методов их обработки.

Основное содержание работы

К наиболее массовым и трудоемким операциям изготовления деталей гидроаппаратуры следует отнести операции обработки точных глухих отверстий (диаметром 10,6 мм и длиной 26 мм) под цилиндры гидронасосов, выполненные из закаленной стали 7ХГ2ВМФ твердостью HRC 51...56. Особенностью глухих отверстий является то, что у доньшка они имеют кольцевую канавку (карман) шириной 2,5 мм. При этом требуется обеспечить отклонение от цилиндричности отверстия – 0,01 мм, точность размера – $\varnothing 10,6^{+0,07}$ мм, шероховатость поверхности – $R_a = 0,63$ мкм.

Согласно действующей технологии, предварительно глухие отверстия растачиваются. Затем производится их алмазное хонингование со съемом припуска 0,04...0,05 мм. В результате достигается погрешность размера отверстия – 0,02 мм, конусность – 0,03 мм. У доньшка глухого отверстия на длине 5...7 мм заметно уменьшается съем металла при хонинговании. Это связано с тем, что в нижней части отверстия время контакта алмазных брусков с обрабатываемым металлом меньше, чем в средней части. Чем больше снимаемый припуск, тем больше конусность отверстия. Попытки уменьшения конусности за счет введения режима короткого хонингования у доньшка отверстия не привели к положительным результатам. Конусность уменьшилась всего с 0,03 до 0,02 мм, чего, очевидно, не достаточно. При этом наблюдался интенсивный износ алмазных брусков. В связи с этим возникает трудноразрешимая задача обеспечения заданного отклонения от цилиндричности отверстия, что требует применения новых более эффективных технологий финишной механической обработки отверстий.

С целью определения возможностей замены малоэффективной технологии обработки глухих отверстий, включающей растачивание и последующее алмазное хонингование, были проведены экспериментальные исследования высокоскоростного фрезерования глухих отверстий твердосплавными концевыми фрезами на современном высокооборотном станке с ЧПУ модели "Pisomax 60". Станок обеспечивает движение фрезы по контуру, описывающему окружность с заданным радиусом, т.е. обеспечивает "расфрезеровывание" отверстия с круговой подачей S . При этом одновременно осуществляется вертикальная подача. Данная схема обработки фактически соответствует схеме круглого внутреннего продольного шлифования.

В результате экспериментальных исследований установлено, что с увеличением частоты вращения фрезы n количество обработанных отверстий N одной фрезой из твердого сплава ВК8 увеличивается (рис. 1). Отклонение от цилиндричности отверстия δ уменьшается, принимая при $n = 8000$ об/мин значения меньше 0,01 мм, а параметр шероховатости обработки R_a изменяется в пределах 0,63 мкм. Это полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к финишной обработке рассматриваемых отверстий, т.е. после сверления для получения требуемых геометрических параметров отвер-

стия достаточно применить лишь его высокоскоростное фрезерование, что позволяет значительно увеличить производительность механической обработки отверстий.

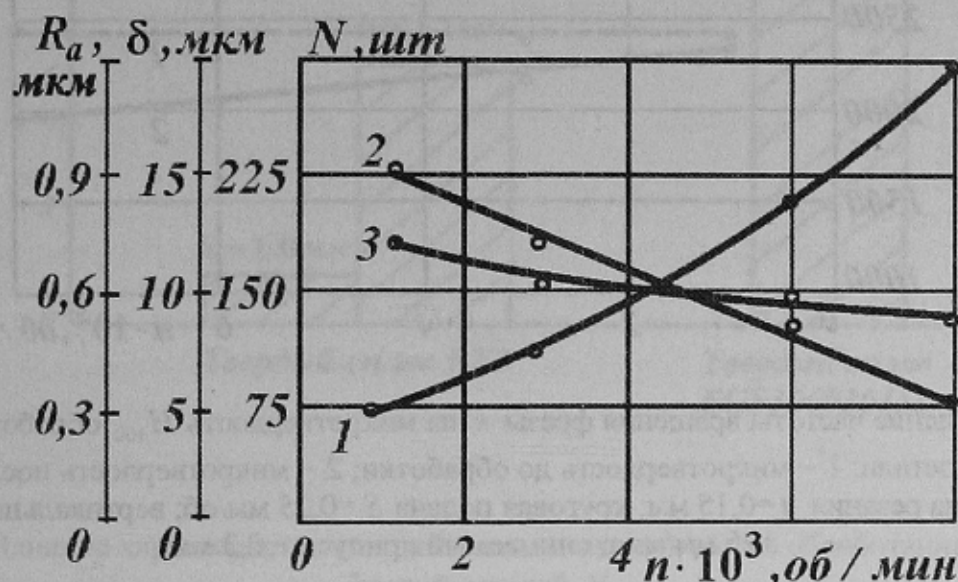


Рис. 1. Влияние частоты вращения фрезы n на количество обработанных одной фрезой отверстий N (1), отклонение от цилиндричности отверстия δ (2), параметр шероховатости обработки R_a (3): глубина резания $t=0,15$ мм; круговая подача $S=0,25$ мм/об; вертикальная подача – 125 мм/мин; снимаемый припуск – 0,3 мм.

Увеличение скорости вращения фрезы, как следует из рис. 1, ведет к повышению стойкости фрезы. С физической точки зрения это означает, что в механизме износа фрезы преобладает механический фактор, обусловленный уменьшением толщины среза. В противном случае, т.е. при преобладании температурного фактора, стойкость фрезы уменьшалась бы с увеличением скорости резания [3, 4].

Експериментально встановлено, що на оброблених поверхностях відсутні прижоги і інші температурні дефекти, які традиційно утворюються при шліфуванні. Мікротвердість оброблених отворів з увеличением частоты вращения фрезы n незначительно отличается от исходной микротвердости (до обработки). Так, с увеличением частоты вращения фрезы в пределах 1000...8000 об/мин микротвердость H_{100} обработанного отверстия уменьшается от 2300 до 1900 МПа, рис. 2. Это незначительно отличается от исходной микротвердости 2450 МПа, что свидетельствует о преобладании в механизме формирования параметров качества обработки силового фактора и незначительной роли теплового фактора. Глубина нарушенного поверхностного слоя составляет всего 30...40 мкм, что соизмеримо с толщиной среза зубом фрезы.

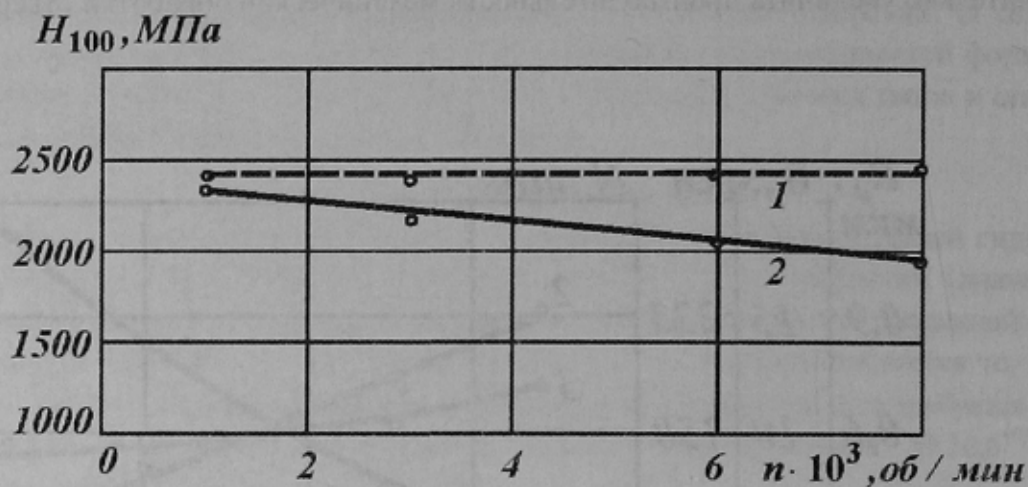


Рис. 2. Влияние частоты вращения фрезы n на микротвердость H_{100} обработанного отверстия в детали: 1 – микротвердость до обработки; 2 – микротвердость после обработки; глубина резания $t=0,15$ мм; круговая подача $S=0,25$ мм/об; вертикальная подача – 125 мм/мин; снимаемый припуск – 0,3 мм.

Следовательно, при фрезеровании с увеличенными скоростями резания можно обеспечить высококачественную обработку без наличия температурных дефектов. Таким образом, в работе обоснована эффективность применения высокоскоростного фрезерования для финишной обработки высокоточных отверстий, что позволяет совместить предварительную и окончательную обработку в одну операцию и исключить из технологического процесса такие операции как растачивание и алмазное хонингование глухих отверстий.

Произведена оценка возможностей использования высокоскоростного фрезерования для финишной обработки дуговых пазов шириной 2,5...5,0 мм в деталях из закаленных сталей твердостью HRC 51...56. Первоначально были проведены исследования обычного фрезерования дуговых пазов с применением концевых двухсторонних фрез $\varnothing 4,6$ мм с напайными пластинками из твердого сплава ВК8 толщиной $h=1,0$ мм и $h=1,4$ мм. Производилась обработка детали с девятью дуговыми пазами с частотой вращения фрезы $n=2800$ об/мин. Установлено, что при обработке фрезами с толщиной твердосплавной пластинки $h=1,0$ мм происходило разрушение их режущей части. В результате двумя испытываемыми фрезами удалось обработать пазы всего в двух деталях ($N=2$). При обработке фрезами с толщиной твердосплавной пластинки $h=1,4$ мм разрушения их режущей части не наблюдалось, имело место затупление лезвий инструмента. При этом пятью испытываемыми фрезами была обработана 31 деталь ($N=31$). Следовательно, увеличение толщины твердосплавной пластинки с 1 до 1,4 мм позволяет увеличить ресурс работы фрезы. Далее, на современном заточном станке с ЧПУ модели "Gemini" была изготовлена монолитная концевая двухсторонняя фреза из твердосплавной заготовки SGS30M060310M (производства Германии) длиной 350 мм и диаметром 6 мм. Фрезерование данной фрезой позволило качественно обработать все пазы девяти деталей (частота вращения фрезы $n=2800$ об/мин), рис. 3.

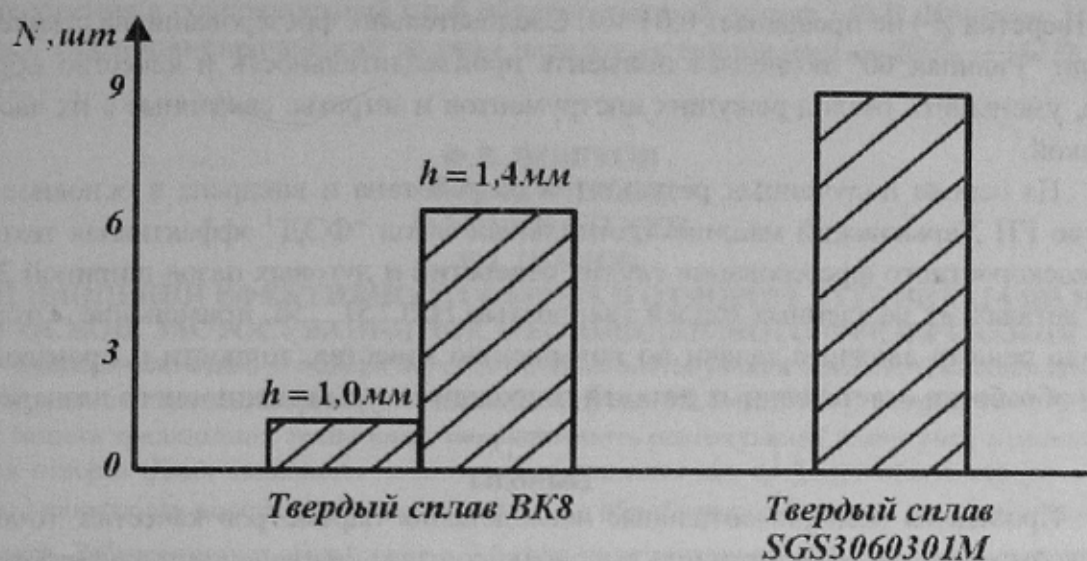


Рис. 3. Влияние характеристик твердого сплава на количество обработанных одной фрезой деталей N .

Были проведены экспериментальные исследования процесса фрезерования на высокооборотном станке с ЧПУ модели "Pisomax 60" при обработке деталей из нержавеющей стали с четырьмя дуговыми пазми шириной 2,5 мм и длиной 18 мм. Обработка производилась концевой фрезой из твердого сплава BK8 и фрезой SSE2025-QPC220F производства фирмы "KORLOY". Частота вращения фрезы варьировалась в пределах $n=2800...8000$ об/мин. Подача устанавливалась равной $S=30$ мм/мин, а снимаемый припуск составлял 0,3 мм. Установлено, что с увеличением частоты вращения фрезы ее стойкость, выраженная в количестве обработанных деталей N , увеличивается более интенсивно при обработке фрезой фирмы "KORLOY".

Необходимо отметить, что традиционно обработку дуговых пазов осуществляли на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели КФПЭ-250Н2. Предварительная обработка выполнялась фрезой $\varnothing 2,4$ мм, изготовленной из твердого сплава BK8, а окончательная обработка – фрезой $\varnothing 2,6$ мм с режимами резания $n=1400$ об/мин, $S=20$ мм/мин, снимаемый припуск – 0,2 мм. При ширине паза 5 мм машинное время предварительной и окончательной обработки одной детали составляет 2,5 часа. При этом имеет место достаточно интенсивное затупление фрез, что приводит к их частым переточкам. На основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что переход от обычного к высокоскоростному фрезерованию позволяет существенно повысить стойкость фрез. Например, при фрезеровании с $n=8000$ об/мин стойкость фрез, оснащенных твердым сплавом BK8, возросла в 2,5 раза, а фрез из твердосплавных заготовок SGS30M060310M – в 3,4 раза. Установлено также, что время предварительной и окончательной обработки одной детали составляет 0,8 часа, т.е. по сравнению с обычным фрезерованием оно сократилось приблизительно в 3 раза. Значительно уменьши-

лось количество поломок фрез. Погрешность обработки (отклонение от цилиндричности отверстия δ) не превышает 0,01 мм. Следовательно, фрезерование на станке с ЧПУ модели "Pisomax 60" позволяет повысить производительность и качество обработки пазов, уменьшить расход режущих инструментов и затраты, связанные с их частой переточкой.

На основе полученных результатов разработана и внедрена в основное производство ПП Харьковский машиностроительный завод "ФЭД" эффективная технология высокоскоростного фрезерования глухих отверстий и дуговых пазов шириной 2,5...5,0 мм в деталях из закаленных сталей твердостью HRC 51...56, применение которой позволило решить сложные задачи по повышению качества, точности и производительности обработки ответственных деталей гидроаппаратуры авиационного назначения.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования параметров качества, точности и производительности обработки при высокоскоростном фрезеровании глухих отверстий и дуговых пазов шириной 2,5...5,0 мм в деталях из закаленных сталей твердостью HRC 51...56, позволившие выявить потенциальные возможности этого прогрессивного метода обработки. Установлено, что при высокоскоростном фрезеровании в отличие от процессов шлифования на обработанных поверхностях отсутствуют температурные дефекты, а микротвердость обработанной детали фактически соответствует исходной микротвердости. Это связано с небольшим трением в зоне резания. При этом обеспечивается высокая точность обработки отверстий – отклонение от цилиндричности изменяется в пределах 0,01 мм, чего не достигалось ранее по действующей технологии, включающей растачивание и последующее алмазное хонингование отверстий. Имеет место также увеличение в 2,5 раза производительности обработки и в 4 раза стойкости концевых фрез. На этой основе разработаны эффективные операции высокоскоростного фрезерования твердосплавными концевыми фрезами глухих отверстий и дуговых пазов шириной 2,5...5 мм в деталях из закаленных сталей на современных высокооборотных станках с ЧПУ типа "Pisomax 60".

Список литературы

1. Технология машиностроения: учебник / А.В. Якимов, В.Н. Царюк, А.А. Якимов и др. – Одесса: Астропринт, 2001. – 602 с.
2. Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 / С.М. Яценко; Одесский нац. политехн. ун-т. – Одесса, 2006. – 21 с.
3. Мануйленко В.М. Условия эффективного применения высокоскоростной обработки / В.М. Мануйленко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2007. – Вип. 61. – С. 279-283.
4. Новиков Ф.В. Физические условия осуществления процессов высокоскоростного резания и глубинного шлифования / Ф.В. Новиков, И.А. Рябенков // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы V международной научно-технической конференции: Курск, гос. техн. ун-т. – Курск, 2007. – С. 179 – 185.

5. Новиков Ф.В., Рябенков И.А. Расчет температуры шлифования и глубины ее проникновения в поверхностный слой обрабатываемой детали / Ф.В. Новиков, И.А. Рябенков // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №1/2 (31). – С. 9–12.

**Ф.В. НОВИКОВ
І.О. РЯБЕНКОВ
О.М. КОВАЛЬЧУК
Є.І. ІВАНОВ**

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ І ДУГОВИХ ПАЗІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Експериментально доведена переперспективність застосування технології високошвидкісного фрезерування глухих отворів і дугових пазів шириною 2,5...5,0 мм у деталях із загартованих сталей замість традиційних технологій, що включають розточування й наступне алмазне хонінгування отворів. Дана технологія забезпечує відхилення від циліндричності отвору в межах 0,01 мм і шорсткість поверхні на рівні $R_a=0,63$, на оброблених поверхнях відсутні температурні дефекти. Забезпечується збільшення в 2,5 рази продуктивності обробки та в 4 рази стійкості твердосплавних кінцевих фрез. На цій основі розроблені ефективні операції високошвидкісного фрезерування твердосплавними кінцевими фрезами глухих отворів і дугових пазів шириною 2,5...5,0 мм у деталях із загартованих сталей на сучасних високооборотних верстатах зі ЧПУ типу "Picomax 60".

високошвидкісне фрезерування, отвір, обробка, дуговий паз

**F.W. NOVIKOV
I.A. RIABENKOV
A.N. KOVALCHUK
E.I. IVANOV**

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PROCESSING OPENINGS AND ARC GROOVES BASED ON HIGH-VELOCITY MILLING

Experimentally proved the promise of the technology of high-speed milling deaf holes and arc grooves of width 2,5 ... 5,0 mm in parts of hardened steel instead of traditional technology, including boring and subsequent diamond honing holes. This technology provide a deviation from cylindricity openings within 0,01 mm and roughness on the surface at the level = 0,63, on the treated surface temperatures there are no defects in items. There is an increase of 2,5 times the processing performance, and 4 times the resistance of hard-end cutters. On this basis, developed effective operation of high-speed milling carbide end deaf holes and arc grooves of width 2,5 ... 5 mm in parts of hardened steels speed on modern CNC machines type "Picomax 60".

high-velocity milling, openings, processing, arc grooves

Рецензент: д.т.н., проф. Нечепасев В.Г.

Надійшла до редколегії 19.03.2010