

сти отверстий при наибольшей производительности представляется целесообразным большую часть суммарного натяга переносить на первую прошивку. Тогда последующие прошивки будут работать с малыми натягами, что позволит обеспечить высокий уровень контактных давлений и даст возможность получить высокое качество обработанной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. - Киев: Наукова думка, 1990. - 320 с.
2. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Брюханцев Е.С. Точность отверстий малых диаметров, обрабатываемых дорнованием твердосплавными прошивками в заготовках с бесконечной толщиной стенок. - В сб. «Механика и машиностроение». - Томский политехнический университет, Томск, 2000, с.24-27.
3. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением: Справочник. - М.: Металлургия, 1982. - 312 с.

Томский политехнический университет

УДК 621.787.4

В.Ф.СКВОРЦОВ, А.Ю.АРЛЯПОВ, В.В.СКВОРЦОВ

ДОРНОВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В ЗАГОТОВКАХ С БЕСКОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНОК

Описана разработанная авторами технологическая оснастка для дорнования глубоких отверстий малого диаметра, рассмотрены особенности функционирования соответствующих технологических систем, приведены экспериментальные данные по качеству поверхностного слоя и точности отверстий.

К глубоким отверстиям малого диаметра ($d=1...5$ мм, $l/d \leq 100$, где l – глубина отверстия), имеющимся в некоторых деталях машин и приборов, предъявляются высокие требования по параметрам качества поверхностного слоя и точности. Обеспечение этих требований непосредственно при глубоком сверлении, электрохимическом или электроэрозионном прошивании является затруднительным. В связи с этим большой интерес представляет изучение возможностей отделочно-упрочняющей обработки таких отверстий дорнованием.

Приспособление и инструмент для дорнования отверстий

В основу конструкции приспособления (рис.1) положена схема прошивания отверстия однозубой прошивкой, перемещаемой цилиндрическим толкателем, который поддерживается специальными направляющими. По сравнению с ранее созданной конструкцией [1, 2], это приспособление характеризуется гораздо более высокой производительностью и надежностью.

Приспособление состоит из корпуса 1, в верхнюю часть которого запрессована направляющая втулка 2. В этой втулке с натягом размещена однозубая твердосплавная прошивка 3 и с зазором - толкатель 4. В нижнюю часть корпуса 1 запрессована опорная втулка 5, на которую устанавливается обрабатываемая заготовка 6. Поддерживающее устройство для толкателя 4 состоит из двух плит 7, жестко соединенных между собой болтами 8 с гайками 9. Плиты 7 крепятся к корпусу винтами 10. В плоскости разреза этих плит выполнены

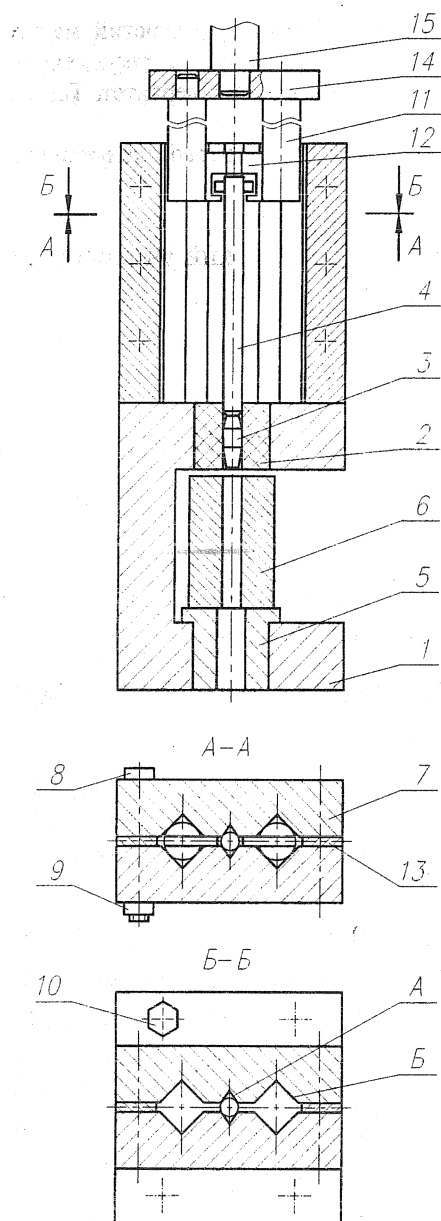


Рис.1. Приспособление для дорнования глубоких отверстий малого диаметра

центральный сквозной призматический паз А для размещения толкателя 4 и симметрично расположенные относительно него призматические пазы Б для размещения двух цилиндрических скалок 11. На нижних концах этих скалок выполнены пазы, в которые запрессована траверса 12, установленная в зазоре между плитами 7 с возможностью взаимодействия с толкателем 4. Причем в траверсе 12 выполнен Т-образный паз, а толкатель снабжен поперечиной, размещенной в этом пазе. Для уменьшения контактных напряжений в стыке толкатель-траверса в средней части последней выполнено утолщение. Для регулировки зазоров между толкателем и пазом А, а также между скалками и пазами Б служат прокладки 13. Верхние концы скалок 11 запрессованы в перекладину 14, связанную со штоком 15 пресса.

Приспособление работает следующим образом. Заготовка 6 устанавливается на втулку 5 соосно с прошивкой 3. При перемещении штока 15 пресса и перекладины 14 вниз вместе с ними по пазам Б перемещаются скалки 11, соединенные траверсой 12, которая перемещает вниз по пазу А толкатель 4. Последний, в свою очередь, проталкивает через отверстие заготовки 6 прошивку 3, которая падает в провальное отверстие во втулке 5. При перемещении штока пресса вверх траверса 12 воздействует на поперечину толкателя и возвращает его в исходное положение. Прошивка 3 устанавливается во втулку 2 и цикл дорнования повторяется.

Таким образом, в приспособлении толкатель поддерживается призматическими направляющими по всей длине, которая при этом становится минимальной. Установка прошивки в направляющей втулке с натягом исключает ее перекосы и изгиб при входе в отверстие заготовки. За счет этого достигается высокая работоспособность и надежность описанной технологической оснастки. Существенно, что она является и весьма простой в изготовлении.

Деформации толкателя, его взаимодействие с направляющими и отверстием заготовки

Для обоснованного выбора некоторых конструктивных параметров разработанной оснастки и проектирования операции дорнования глубоких отверстий малого диаметра необходимо располагать информацией о деформациях толкателя, возникающих в нем напряжениях и его силовом взаимодействии с направляющими и отверстием заготовки.

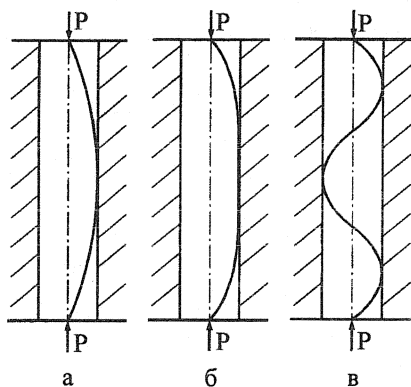


Рис.2. Схемы деформаций размещенного с зазором в отверстии стержня под действием осевой сжимающей силы

Теоретическое решение задачи о поведении круглого стержня (толкателя), вставленного с зазором в круглое отверстие и нагруженного осевой сжимающей силой, приведено в работах [3, 4]. При этом приняты следующие основные допущения: 1) имеет место плоская форма изгиба стержня; 2) он шарнирно оперт по концам; 3) прогибы стержня малы; 4) стенки отверстия являются абсолютно жесткими; 5) трение между стержнем и отверстием отсутствует.

В соответствии с этим решением, если сжимающая сила принимает значение $P = \pi^2 EJ / L^2$ (где E , J , L – соответственно модуль упругости материала стержня, момент инерции сечения стержня и его длина), то происходит потеря устойчивости на всей длине стержня и он касается отверстия в одной точке (рис.2,а). При $P = 4\pi^2 EJ / L^2$ происходит потеря устойчивости на длине $L/2$ и стержень прижимается к отверстию на некотором прямолинейном участке (рис.2,б). Когда сжимающая сила увеличивается

до значения $P = 9\pi^2 EJ / L^2$, теряет устойчивость указанный прямолинейный участок; на стержне формируется три полуволны и он контактирует с отверстием в трех точках (рис.2,в). При $P = 36\pi^2 EJ / L^2$ происходит потеря устойчивости на участках $L/6$ и на каждой полуволне изогнутого стержня возникает прямолинейный участок и т.д.

Нормальная сила, возникающая на контакте стержня с отверстием, определяется по формуле

$$R = \frac{2Pnf}{\frac{nl}{2} - \operatorname{tg} \frac{nl}{2}}, \quad (1)$$

где $n = \sqrt{\frac{P}{EJ}}$; f – наибольший прогиб стержня, равный половине зазора между ним и отверстием; l – длина полуволны на изогнутом стержне.

Напряжение изгиба в стержне находится из соотношения

$$\sigma_u = \frac{fP}{W} \cdot \frac{1}{\sin \frac{nl}{2} - \frac{nl}{2} \cos \frac{nl}{2}}, \quad (2)$$

где W – момент сопротивления стержня.

В табл.1 приведены результаты расчетов напряжений изгиба и сжатия в толкателях, а также возникающих на их контактах с отверстием нормальных сил. Расчеты выполнены для случаев одноциклового дорнования отверстий различного диаметра и глубины в заго-

товках с бесконечной толщиной стенок из стали 45 (НВ 190). Усилия дорнования (сжимающие силы) были приняты по данным экспериментов, проведенных твердосплавными прошивками из сплава ВК8 с углами конусов 6° и шириной ленточки 2 мм с использованием в качестве смазочного материала жидкости МР-7. Как видно из табл.1, возникающие нормальные силы незначительны. Анализируя результаты расчетов напряжений, учтем, что толкатель изготовлен из закаленной стали Р6М5, предел прочности на изгиб которой составляет свыше 3000 МПа, а предел прочности на сжатие около 4000 МПа. В этой связи, возникающие в процессе дорнования глубоких отверстий малого диаметра напряжения изгиба в толкателях следует признать незначительными, а напряжения сжатия – вполне допустимыми.

Таблица 1

Диаметр отверстия (диаметр толкателя), мм	Глубина отверстия (длина толкателя), мм	Натяг дорнования, мм	Усилие дорнования, Н	Число полуоволн на толкателе	Напряжения в толкателе, МПа		Нормальная сила на контактах толкателя с отверстием, Н
					изгиба	сжатия	
1,2 (1,1)	25 (25)	0,05	600	1	86	632	5,81
1,2 (1,1)	50 (50)	0,05	600	3	189	632	1,33
2,0 (1,9)	100 (100)	0,08	1400	3	81	495	1,96
2,0 (1,9)	400 (400)	0,08	1400	9	45	495	2,38

Необходимо, однако, отметить, что формулы (1) и (2) справедливы лишь для условий, когда изогнутая ось толкателя близка к синусоиде, т.е. для определенных диапазонов сжимающей силы. Кроме того, реальный толкатель всегда имеет начальную изогнутость, а условия его нагружения могут заметно отличаться от расчетных. Так, например, если начальный прогиб толкателя превысит величину зазора между ним и отверстием, то уже после установки толкателя в отверстие он будет контактировать с ним в нескольких точках. Поэтому для уточнения закономерностей деформаций толкателя и его взаимодей-

ствия с направляющими и отверстием заготовки были выполнены экспериментальные исследования.

Измерение деформаций толкателя малого диаметра, размещенного в глубоком отверстии, представляет значительные трудности. В связи с этим ограничились измерением прогибов толкателя, установленного в призматические направляющие. Эксперименты проводили с помощью устройства, показанного на рис.3. Оно состоит из корпуса 1 с прикрепленным к нему винта-

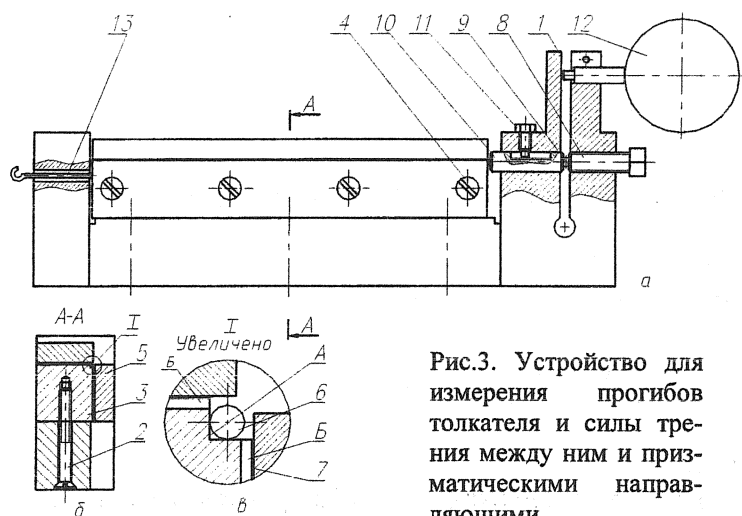


Рис.3. Устройство для измерения прогибов толкателя и силы трения между ним и призматическими направляющими

ми 2 брусом 3, имеющим прямоугольный призматический паз А (рис.3, б и 3, в). К брусу 3 винтами 4 привернуты пластины 5, которые совместно с пазом А и образуют призматические направляющие для толкателя 6. На плоскостях бруса 3, к которым прилегают пластины 5, выполнены прямоугольные пазы Б (рис.3, в), что позволяет измерять прогибы толкателя в проходящем свете на универсальном измерительном микроскопе. Для регулировки зазоров между толкателем и направляющими служат прокладки 7. Нагружение толкателя производится винтом 8, расположенным в упругой (динамометрической) части корпуса 1, через шарик 9 и шток 10, для исключения поворотов которого служит винт 11. Величина сжимающей силы определяется по показаниям измерительной головки 12.

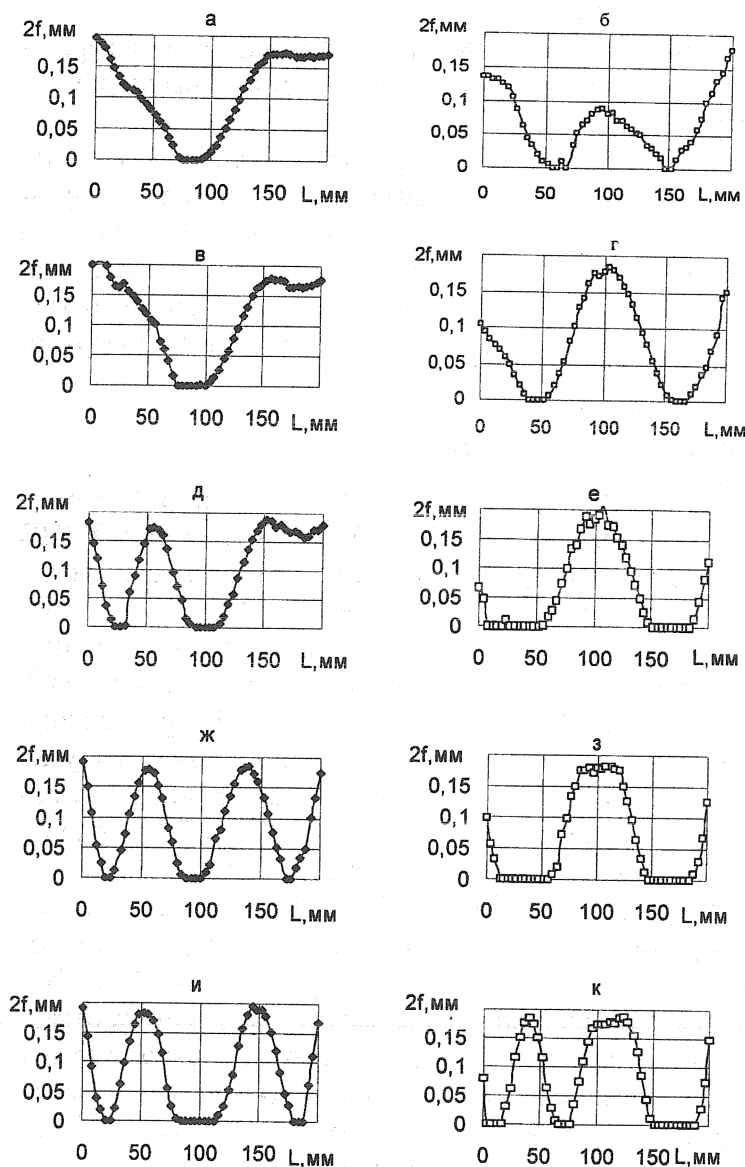


Рис.4. Прогибы толкателя диаметром 2,05 мм, длиной 205 мм, размещенного с зазором 0,2 мм в призматических направляющих длиной 200 мм в зависимости от величины сжимающей силы; а, б - $P=0$; в, г - $P=500$ Н; д, е - $P=1500$ Н; ж, з - $P=2500$ Н; и, к - $P=5000$ Н; $\blacklozenge$ - первая плоскость, $\square$ - вторая плоскость

С помощью этого же устройства измеряли силы трения между толкателем и направляющими. Для этого винты 2 выворачивали, а брус 3 с помощью крючка 13 через пружинный динамометр вручную смещали относительно толкателя на величину около 2 мм.

В экспериментах использовали толкатели из закаленной стали Р6М5 (HRC₃ 62...65) диаметром 2,05 мм и длиной 105 и 205 мм. Длина направляющих при этом составляла 100 и 200 мм. Шероховатость поверхностей толкателей и направляющих соответственно была $R_a \approx 0,32$ мкм и $R_a \approx 0,63$ мкм. Толкатель перед установкой в направляющие покрывали тонким слоем жидкости МР-7. Сжимающую силу изменяли от 0 до 5000 Н с шагом 500 Н.

Прогибы толкателя измеряли в двух взаимно перпендикулярных плоскостях на микроскопе УИМ-21 с точностью около 0,01 мм. Точность измерения сил трения составляла 2 Н.

Анализ результатов измерения прогибов толкателей, часть которых показана на рис.4, позволяет констатировать следующее. Деформации толкателя под действием осевой сжимающей силы носят слож-

ный пространственный характер и в значительной степени предопределяются его начальной пространственной изогнутостью. Потеря устойчивости и переход к новым формам равновесия на различных участках толкателя происходит при различной сжимающей силе и по различным схемам. С увеличением сжимающей силы и длины толкателя число полуволн на нем возрастает. С увеличением зазора увеличиваются лишь прогибы толкателя; форма его практически сохраняется неизменной.

Установлено, что сила трения между направляющими (отверстием заготовки) и толкателем возрастает с увеличением их длины, сжимающей силы и зазора. При зазоре 0,1 мм, длине толкателя 205 мм, длине направляющих 200 мм сила трения составляет 1...2% от величины сжимающей силы (усилия дорнования).

В целом деформации толкателей и их взаимодействие с направляющими и отверстием заготовки существенно отличаются от расчетных. Поэтому приведенные выше результаты расчетов (табл.1) следует рассматривать как ориентировочные.

Эксперименты показали, что через толкатель легко может быть передано необходимое для дорнования отверстия усилие. Возникающие на контактах толкателя с направляющими и отверстием заготовки силы невелики. Тем не менее, для уменьшения этих сил и исключения возможности повреждения толкателем обработанной поверхности отверстия величину зазора между ними следует принимать не более 5% от диаметра отверстия, а на толкателе предусматривать скругление на торцах и малую шероховатость поверхностей ($Ra \leq 0,32$ мкм).

Технологические возможности

Технологические возможности дорнования изучали при обработке отверстий диаметром около 2 мм, глубиной 100 и 200 мм в заготовках из сталей 20Х (НВ 150) и 40Х (НВ 220) с наружным диаметром 40 мм. Отверстия получали с помощью спирального сверла специальной конструкции на радиально-сверлильном станке 2К52-1 и токарно-винторезном станке 16Б05АФ10; сверление осуществляли с ручной подачей инструмента. Для уменьшения увода оси отверстия заготовки зацентрировали, а сверление выполняли с последовательным увеличением вылета сверла [5]. Дорнование отверстий производили односторонними прошивками из твердого сплава ВК8 с углами рабочего и обратного конусов 6° и шириной соединяющей их цилиндрической ленточки 2 мм. Обработку вели с помощью описанного выше приспособления на испытательной машине УМЭ-10ТМ со скоростью 0,1 м/мин. В качестве смазочного материала использовали жидкость МР-7.

Диаметр отверстий контролировали нутромером фирмы «Carl Zeiss Jena» (Германия), оснащенным индикатором часового типа с ценой деления 0,002 мм. Для измерения отклонений от круглости отверстий использовали кругломер «Taylorond 200» фирмы Rank Taylor Hobson (Великобритания), который был оснащен специальным щупом. Диаметр отверстий и их отклонение от круглости фиксировали как на цельных заготовках (на расстоянии до 10 мм от торцев), так и после их разрезки по длине (глубине отверстия). Шероховатость поверхности отверстий измеряли на профилографе-профилометре «Talysard 5-120» фирмы Rank Taylor Hobson (Великобритания) после разрезки заготовок, а наклеп поверхностного слоя – с помощью прибора ПМТ-3. Увод оси отверстия определяли по методике [6] с использованием микроскопа УИМ-21.

Результаты исследования точности и шероховатости поверхности отверстий глубиной 100 мм после сверления и дорнования приведены в табл.2 (данные получены при обработке 10 заготовок из каждого материала).

Как видно из табл.2, дорнование позволяет значительно уменьшить высоту микронеровностей, а также обеспечить высокую точность диаметра отверстий (она повышается с 11...12 квалитетов до 7 квалитета).

Таблица 2

Материал заготовок	Операции	Диаметр отверстия, мм	Отклонение от круглости, мкм	Параметры шероховатости, мкм	
				R_a	R_{max}
Сталь 20X	Сверление	2,03...2,12	4,8...21,0	3,4...11,5	28,9...71,0
	Дорнование (четырьмя прошивками*)	2,158...2,167	1,0...7,0	0,1...0,52	1,7...11,3
Сталь 40X	Сверление	2,02...2,07	15,0...40,0	0,54...2,5	3,3...27,0
	Дорнование (тремя прошивками)	2,138...2,146	1,6...5,0	0,14...1,0	3,0...6,3

*Примечание: диаметр первой, второй, третьей и четвертой прошивок – соответственно 2,09; 2,14; 2,16 и 2,18 мм

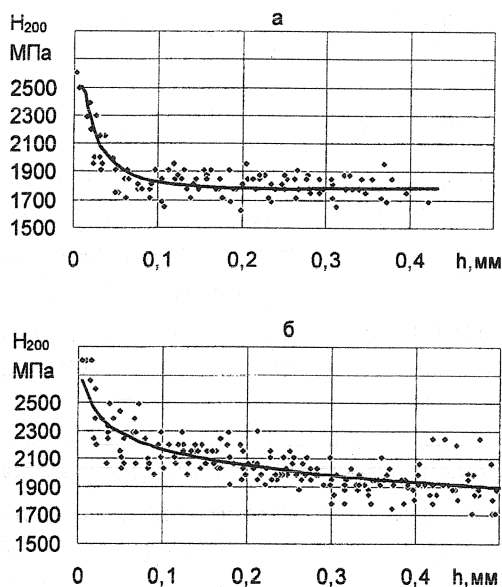


Рис.5. Распределение микротвердости по толщине поверхностного слоя h отверстий (сталь 20X, $d \approx 2$ мм, $L=100$ мм): а - после сверления; б - после дорнования четырьмя прошивками с суммарным натягом 0,12 мм

Некоторые результаты исследования наклепа поверхностного слоя отверстий в заготовках из стали 20X после сверления и дорнования показаны на рис.5. Уже при сверлении поверхностный слой подвергается столь значительным пластическим деформациям, что микротвердость на поверхности оказывается близкой к предельно возможной. Поэтому при дорновании отверстий значительно возрастает толщина упрочненного слоя, в то время как микротвердость поверхности повышается только на 15%. Примерно такая же картина наблюдается и при обработке отверстий в заготовках из стали 40X.

Увод осей отверстий, который после сверления на радиально-сверлильном станке составлял 1,3...2,1 мм, а после сверления на токарно-винторезном станке – 0,2...0,5 мм, в процессе дорнования вследствие самоустанавливаемости прошивок не изменяется.

Аналогичные результаты получены при обработке отверстий глубиной 200 мм.

В целом выполненные исследования пока-

зали, что дорнование твердосплавными прошивками является простым и эффективным методом отделочно-упрочняющей обработки глубоких отверстий малого диаметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Куклин А.И. и др. Устройство для дорнования глубоких отверстий. Патент РФ № 2127655. Оpubл. 20.03.99. Бюл.№8.
2. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Брюханцев Е.С. Приспособление для прошивания глубоких отверстий малого диаметра// СТИН, 1999, № 12, с.33-34.
3. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. –М.:Наука, 1973. –400с.
4. Сароян А.Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. –М.:Недра, 1979. –184 с.
5. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. –М.:Машиностроение. 1984. –184 с.
6. Обработка глубоких отверстий/ Н.Ф.Уткин, Ю.И.Кижняев, С.К.Плужников и др. /Под общ.ред. Н.Ф.Уткина. Л.:Машиностроение. 1988. –269 с.

Томский политехнический университет

УДК.621.9

Д.В.КОЖЕВНИКОВ

КОЛЬЦЕВОЕ СВЕРЛО ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ В ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЯХ

Рассматривается новая конструкция сборного кольцевого сверла.

В практике машиностроения, например, в котлостроении, нефтегазовом и химическом машиностроении, в том числе в ремонтном деле, часто встречается задача сверления в листовых деталях отверстий диаметром более 50 мм. Глубина отверстий при этом небольшая: от 1 до 10 мм, но часто экономически выгодно сверлить отверстия в пакетах из нескольких листов. Преимущества использования в таких целях кольцевых сверл очевидны: экономия инструментальных материалов, снижение в несколько раз энергетических затрат и времени на обработку.

В то же время при кольцевом сверлении значительно усложняются процессы засверливания, стружкообразования и удаления стружки из отверстий. Из большого числа известных конструкций кольцевых сверл многие оказались неработоспособны из-за поломок и выкрашивания режущих кромок вследствие пакетирования стружки и недостаточной прочности зубьев. Очень часто во избежание этого вынуждены значительно уменьшать подачу на зуб и, следовательно, снижать производительность процессов сверления.

По предложению одной из томских фирм, занимающейся изготовлением тепловых котлов, нами была разработана конструкция сборного кольцевого сверла, лишенная указанных недостатков. Суть конструкции видна из рисунка. В корпусе 1, выполненном в форме диска из конструкционной стали, в пазах прямоугольного сечения установлены резцы 2 из инструментальной стали Р6М5, закрепленные винтами 3 с возможностями ре-