

Ф.В. НОВИКОВ (д-р техн. наук, проф.)

В.И. ПОЛЯНСКИЙ

И.А. РЯБЕНКОВ (канд. техн. наук)

Е.И. ИВАНОВ (канд. техн. наук, доц.)

ХНЭУ, г. Харьков, Украина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В КОЛЬЦАХ ИЗ ВЫСОКОТВЕРДЫХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ

Введение

При изготовлении сложных агрегатов гидравлической аппаратуры авиационного назначения постоянно возникают проблемы высокоточной обработки их рабочих поверхностей, поскольку они выполнены из труднообрабатываемых материалов (высокопрочных сталей и сплавов) и плохо обрабатываются резанием [1]. В особенности это относится к обработке отверстий диаметром 6 – 10 мм в деталях (кольцах) из труднообрабатываемых магнитных сплавов АНКО-3А и ЮНКД-18 твердостью HRC 62-63, характеризующихся низкой обрабатываемостью резанием и соответственно низкими показателями качества и производительности обработки [2].

Обработка отверстия в магнитном кольце производится методом внутреннего шлифования. В связи с высокими физико-механическими свойствами магнитного сплава, в процессе шлифования возникают значительные силы и температура резания, которые снижают качество и производительность обработки, стойкость круга [3].

Низкое качество обработки отверстия в процессе внутреннего шлифования обусловлено образованием микросколов по краям обрабатываемого отверстия. В еще большей степени это проявляется при обработке отверстия методом растачивания с использованием твердосплавного резца. Поэтому применение метода растачивания отверстия допустимо лишь при предварительной обработке в тех случаях, когда образующиеся микросколы на кромках обрабатываемого отверстия можно устранить на последующей операции шлифования, например, при обработке магнитных сплавов меньшей твердости (HRC 56-58). Основным же методом обработки отверстий в кольцах из магнитных сплавов твердостью HRC 62-63 является внутреннее шлифование. Однако, при съеме значительных припусков (до 0,8 мм на сторону и более) в условиях внутреннего шлифования отверстий малого диаметра (до 10 мм) процесс протекает неустойчиво и характеризуется чрезвычайно высокой трудоемкостью. В связи с этим актуальна проблема выбора наиболее эффективного метода механической обработки. Целью работы является теоретическое и экспериментальное определение условий повышения качества и производительности обработки отверстий в кольцах из высокотвердых магнитных сплавов.

Основное содержание работы

Для решения поставленной задачи определим величину микроскола, образующегося на торцевой поверхности кольца в момент врезания инструмента (резца) в обрабатываемый материал при растачивании отверстия (рис. 1). В процессе растачивания отверстия со стороны режущего инструмента на обрабатываемую деталь в диаметральной (уз, рис. 1,б) плоскости действуют тангенциальная P_z и радиальная P_y

составляющие силы резания, а в осевой плоскости (уx, рис. 1,а) – осевая P_x составляющая силы резания. Очевидно, в момент врезания инструмента в обрабатываемый материал под воздействием суммарной силы резания $P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$ в плоскости уз будут образовываться микросколы величиной, равной диаметру d окружности одинаковых (предельных) касательных напряжений (рис. 1,б), определяемого по зависимости [4]:

$$d = \frac{P}{\tau_{сдв}} . \quad (1)$$

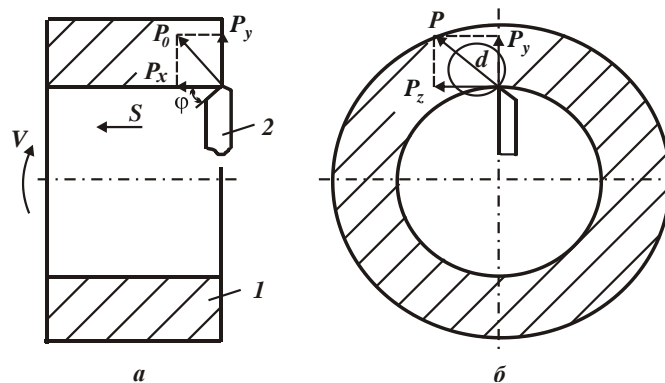


Рис. 1. Расчетная схема составляющих силы резания и диаметра d окружности одинаковых (предельных) касательных напряжений: 1 – обрабатываемое кольцо; 2 – резец



Рис. 2. Резец из твердого сплава Т15К6

Согласно зависимости (1), уменьшить d можно уменьшением силы резания P . Тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания определяются

$$P_z = \sigma \cdot S = \sigma \cdot a \cdot b ; \quad (2)$$

$$P_y = P_0 \cdot \cos \varphi , \quad (3)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S = a \cdot b$ – площадь поперечного сечения среза, м²; a, b – толщина и ширина среза, м; $P_0 = P_z / K_{рез}$ – сила резания, действующая в плоскости уx, Н; $K_{рез}$ – коэффициент резания; φ – угол резца в плане.

После преобразований зависимости (3), получим

$$P_y = \frac{P_z}{K_{рез}} \cdot \cos \varphi . \quad (4)$$

Соответственно

$$P = \sqrt{P_z^2 + \left(\frac{P_z}{K_{рез}} \cdot \cos \varphi \right)^2} = \sigma \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi}{K_{рез}} \right)^2} . \quad (5)$$

Как видно, уменьшить силу резания P можно уменьшением параметров σ , a , b и увеличением φ и $K_{рез}$. Очевидно, уменьшением параметров a , b ведет к уменьшению производительности обработки, что не эффективно. Гораздо эффективнее уменьшать силу резания P за счет уменьшения условного напряжения резания σ и увеличения $K_{рез}$ путем обеспечения высокой остроты режущего лезвия инструмента. Эффективно также увеличивать угол резца в плане $\varphi \rightarrow 90^\circ$, т.к. в этом случае $\cos \varphi \rightarrow 0$. Подставляя зависимость (5) в (1), получим

$$d = \frac{\sigma}{\tau_{сдв}} \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi}{K_{рез}} \right)^2} . \quad (6)$$

В работе [4] показано, что между условным напряжением резания σ и пределом прочности на сдвиг $\tau_{сдв}$ обрабатываемого материала существует связь

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2} \right) . \quad (7)$$

Тогда зависимость (7) примет вид

$$d = 2 \cdot a \cdot b \cdot \left(\frac{1}{K_{рез}} + \sqrt{1 + \frac{1}{K_{рез}^2}} \right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\cos \varphi}{K_{рез}} \right)^2} . \quad (8)$$

Таким образом, получена аналитическая зависимость для определения диаметра d окружности одинаковых (предельных) касательных напряжений, возникающих в плоскости уз. Диаметр d определяет величину микроскола в момент врезания режущего инструмента в обрабатываемый материал. Исходя из зависимости (8), уменьшить диаметр d и соответственно величину микроскола без уменьшения производительности обработки можно прежде всего уменьшением $K_{рез}$, обеспечивая высокую остроту режущего лезвия инструмента [5]. Однако практически выполнить данное условие при обработке высокотвердых магнитных сплавов чрезвычайно сложно, т.к. в силу их высокой хрупкости образуется стружка надлома, в результате длина контакта передней поверхности резца с обрабатываемым материалом

существенно уменьшается и фактический передний угол резца, по сути, становится отрицательным. Это приводит к уменьшению коэффициента резания $K_{рез} < 1$ и соответственно увеличению диаметра d согласно зависимости (8). Чем выше твердость обрабатываемого материала, тем меньше коэффициент резания $K_{рез}$, больше диаметр d и соответственно величина микроскола на торцевой поверхности обрабатываемого кольца из магнитного сплава.

Анализируя зависимость (8), можно сделать важный вывод, связанный с возможностью уменьшения величины микроскола в моменты входа и выхода инструмента из контакта с обрабатываемым материалом. Он состоит в уменьшении толщины a и ширины b среза за счет создания фасок по краям отверстий.

С целью оценки достоверности полученных теоретических решений были проведены экспериментальные исследования процесса растачивания отверстий небольшого диаметра (8,5 мм) в кольцах из магнитного сплава АНКО-3А твердостью HRC 62-63 на токарном станке. Обработка производилась резцом из твердого сплава Т15К6 (рис. 2) с режимом резания: глубина резания $t=0,1$ мм, частота вращения обрабатываемой детали $n=600$ об/мин, подача $S=0,05$ мм/об, снимаемый припуск – 0,8 мм.



Рис. 3. Образующиеся микросколы на торцевой поверхности кольца

В результате проведенных экспериментов установлено, что в процессе растачивания на торцевых поверхностях кольца (т.е. в моменты входа и выхода резца из контакта с обрабатываемым материалом) образуются микросколы значительных размеров (до 3-х мм), рис. 3. Причем, на выходе резца из контакта с обрабатываемым материалом образуются большие микросколы, чем на входе. Экспериментально установлено, что с уменьшением глубины резания и подачи, а также с увеличением угла в плане резца ϕ размеры микросколов уменьшаются, что согласуется с полученными теоретическими решениями и свидетельствует о существовании резервов повышения качества обработки. На величину образующихся микросколов значительное влияние оказывает степень затупления инструмента, что связано с уменьшением коэффициента резания $K_{рез}$ в зависимости (8).

Были проведены экспериментальные исследования процесса растачивания отверстий с предварительно созданными фасками по краям отверстия. Установлено, что в этом случае размеры микросколов уменьшаются. Это подтверждает приведенные выше теоретические решения. Вместе с тем, несмотря на полученные положительные результаты, стабильно обеспечить размеры образующихся микросколов на допустимом уровне (в пределах глубины резания) невозможно. Поэтому вместо растачивания отверстия целесообразно использовать процесс его внутреннего шлифования, позволяющий многократно уменьшить толщину a и ширину b среза и соответственно уменьшить величины образующихся микросколов до требуемого уровня. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования процесса внутреннего шлифования отверстий в тех же магнитных кольцах на внутришлифовальном станке по схеме, показанной на рис. 4, с использованием абразивного круга ПП 8x20x3 25А 25Н СТ 7К5 35 м/с. Режим шлифования: скорость вращения круга – $V_{кр}=16,7$ м/с (частота

вращения круга 40000 об/мин); продольная подача $S_{прод}=2$ м/мин; частота вращения детали $n=600$ об/мин; глубина шлифования $t=0,005$ мм (на двойной ход стола), через 5–10 проходов производится выхаживание, т.е. шлифование с отключенной подачей.

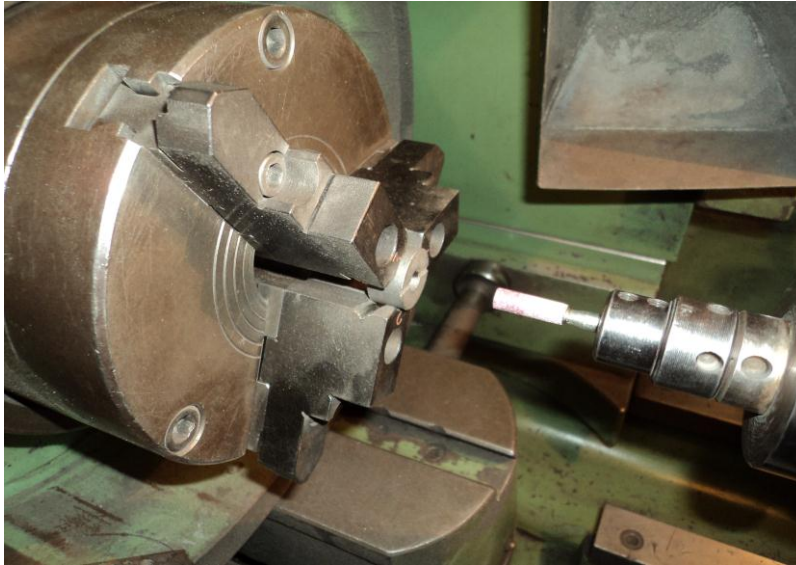


Рис. 4. Обработка отверстия в кольце на внутришлифовальном станке.

В результате установлено, что по краям обрабатываемого отверстия образуются микросколы в пределах шероховатости обрабатываемой поверхности. Это значительно меньше, чем при растачивании и соответствует техническим требованиям на обработку, рис. 5. Следовательно, применение внутреннего шлифования взамен растачивания отверстий позволяет обеспечить высококачественную обработку. Однако производительность при этом значительно меньше, чем при растачивании отверстий.

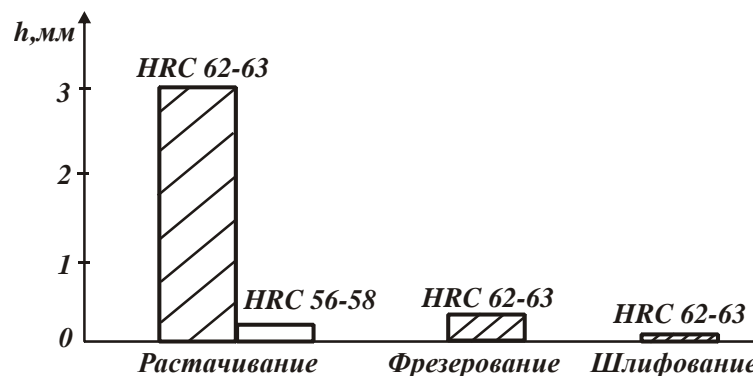


Рис. 5. Влияние метода обработки отверстий на величину образующихся микросколов.

Необходимо отметить, что при растачивании отверстий в кольцах из магнитного сплава АНКО-3А меньшей твердости (HRC 56–58) образуются микросколы меньшей величины – в пределах 0,2 мм. Это позволяет часть суммарного припуска (который составляет до 0,8 мм на сторону) снимать на операции растачивания, а оставшуюся часть – на операции внутреннего шлифования (рис. 6). В этом случае на операции

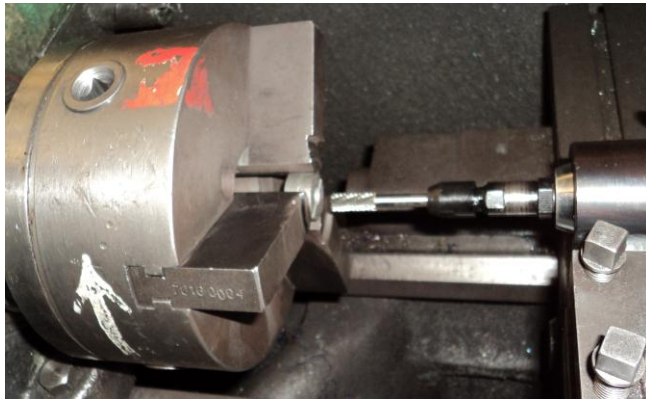
внутреннего шлифования можно гарантированно устранить микросколы, образующиеся на операции растачивания отверстий. Из этого вытекает, что предварительную и окончательную обработку отверстий в кольцах из магнитного сплава АНКО-3А твердостью HRC 62-63 следует производить методом внутреннего шлифования, а обработку отверстий в кольцах из магнитного сплава АНКО-3А меньшей твердости (HRC 56–58) – предварительно растачиванием и окончательно – внутренним шлифованием.



Рис. 6. Структурная схема условий повышения качества обработки отверстий в кольцах из магнитных сплавов.

Одним из эффективных направлений повышения производительности обработки отверстий, как показывает производственный опыт, является применение прогрессивного способа высокоскоростного фрезерования (расфрезеровывания) отверстий [6], в частности, с использованием высокоскоростной твердосплавной борфрезы (производства Германии). Данный метод обработки аналогичен внутреннему шлифованию, когда диаметр инструмента меньше диаметра обрабатываемого отверстия. Наряду с повышением производительности обработки, этот метод обеспечивает высокое качество обрабатываемых поверхностей, т.к. выделяющееся при резании тепло в основном “уносится” стружкой, а в обрабатываемую деталь поступает ничтожно малое количество тепла, что снижает температуру поверхностного слоя. Кроме того, данный метод позволяет существенно уменьшить толщину среза без снижения производительности, что важно при обработке отверстий в кольцах из магнитных сплавов. В связи с этим, были проведены экспериментальные исследования высокоскоростного фрезерования (расфрезеровывания) отверстий диаметром 8,5 мм в кольцах из магнитного сплава АНКО-3А твердостью HRC 62–63. Для реализации процесса использовалась пневматическая машина с борфрезой, которая устанавливалась в резцедержателе токарного станка с помощью специального приспособления (рис. 7,а). Обрабатываемое кольцо крепилось в патроне станка. Фрезерование отверстия кольца производилось твердосплавной сфероцилиндрической борфрезой (с количеством зубьев 18) диаметром 6 мм (рис. 7,б). Частота вращения

фрезы – 18000 об/мин; частота вращения обрабатываемого кольца – 600 об/мин; подача – 0,2 м/мин; глубина резания (за проход) $t=0,05$ мм. Экспериментально установлено, что образующиеся микросколы по величине значительно меньше, чем при растачивании отверстия и составляют до 0,3 мм. Следовательно, данный метод может быть эффективно использован при предварительной обработке отверстий, поскольку образующиеся микросколы устраняются на последующей операции внутреннего шлифования (рис. 5, рис. 6).



а



б

Рис. 7. Фрезерование отверстия в кольце на токарном станке (а) и сфероцилиндрическая твердосплавная борфреза (б).

Выводы

1. Разработана математическая модель определения величин микросколов при механической обработке отверстий в деталях из высокотвердых хрупких магнитных сплавов. Теоретически установлено, что уменьшить величины микросколов, образующихся по краям обрабатываемого отверстия, можно, прежде всего, уменьшением толщины среза, в связи с чем целесообразно применять процессы внутреннего шлифования и высокоскоростного расфрезерования отверстия.

2. Проведен комплекс экспериментальных исследований закономерностей образования микросколов при обработке отверстий в кольцах из высокотвердого магнитного сплава АНКО-3А (твердостью HRC 62–63). Установлено, что наибольшие микросколы образуются при растачивании отверстий, затем в порядке убывания – при высокоскоростном расфрезеровывании отверстий и внутреннем шлифовании. Исходя из этого предложено предварительную обработку производить методом высокоскоростного расфрезерования отверстий, а окончательную – методом внутреннего шлифования. Показано, что при обработке магнитных сплавов меньшей твердости (HRC 56–58) предварительную обработку можно производить как расфрезерованием, так и растачиванием отверстий, а окончательную – внутренним шлифованием. В этом случае микросколы, образующиеся при предварительной обработке, устраняются на последующей операции внутреннего шлифования. Полученные экспериментальные результаты подтверждают теоретические решения, что свидетельствует об их достоверности.

Список литературы

1. Фадеев В.А. Наукові основи вибору структури та параметрів технологічних систем механічної обробки високоточних деталей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: *спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування"* / В.А. Фадеев;

Нац. техн. ун-т України “Харків. політехн. ін.-т” – Х., 2008. – 36 с.: іл., табл. –
Бібліогр.: с. 30–34.

2. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / Бобров В. Ф. – М.:
Машиностроение, 1975. – 343 с. – **Бібліогр.: с. 335–338 (100 названий)**.

3. Попов С. А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов /
Попов С. А., Малевский Н. П., Терещенко Л. М. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.:
ил., табл. – Бібліогр.: с. 258–261 (66 названий).

4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и
технологии машиностроения: **в 10 т.** / под общ. ред. Новикова Ф. В. и Якимова А. В. –
Одесса: ОНПУ, 2002. – ISBN 966-7810-33-X. Т. 1: Механика резания материалов. –
2002. – 580 с. – **Бібліогр.: с. 555–573.** – ISBN 966-7810-34-8 (в пер.).

5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и
технологии машиностроения: **в 10 т.** / под общ. ред. Новикова Ф. В. и Якимова А. В. –
Одесса: ОНПУ, 2002. – ISBN 966-7810-33-X. Т. 6: Качество обработки деталей машин.
– 2003. – 716 с. – **Бібліогр.: с. 685–703.** – ISBN 966-7810-47-X (в пер.).

6. Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей
гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій:
автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: **спец. 05.02.08 “Технологія
машинобудування”** / І.О. Рябенков; *Одеськ. нац. політехн. ун-т.* – Одеса, 2009. – 21
с., **включ. обкл.: іл., табл. – Бібліогр.: с. 17–19.**

Надійшла до редакції 17.02.2012