

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **17728**

(13) **С1**

(46) **2013.12.30**

(51) МПК

В 28D 1/14 (2006.01)

(54) **СПОСОБ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРОШИВКИ ОТВЕРСТИЯ
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ В ХРУПКОМ МАТЕРИАЛЕ**

(21) Номер заявки: а 20101045

(22) 2010.07.08

(43) 2012.02.28

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Минченя Владимир Тимофеевич; Луговой Игорь Вячеславович; Степаненко Дмитрий Александрович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) US 2002/0193798 A1.

SU 131210, 1960.

SU 122955, 1959.

SU 732025, 1980.

SU 382439, 1973.

SU 142136, 1961.

(57)

1. Способ ультразвуковой прошивки отверстия сложной формы в хрупком материале, включающий подачу в зону обработки абразивного материала, создание ультразвуковых колебаний в волноводе-инструменте, сообщение волноводу-инструменту движения подачи вдоль заданной траектории и формирование участка отверстия, форма которого совпадает с формой волновода-инструмента, а затем формирование участка отверстия требуемой формы, которую задают путем управляемой деформации волновода-инструмента.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что подачу в зону обработки абразивного материала осуществляют путем введения в нее волновода-инструмента с закрепленным на нем методом шаржирования абразивным материалом.

3. Способ по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что управляемую деформацию волновода-инструмента производят путем воздействия на волновод-инструмент неоднородным магнитным полем.

4. Способ по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что управляемую деформацию волновода-инструмента производят путем инициирования в волноводе-инструменте эффекта памяти формы.

Изобретение относится к обработке хрупких материалов, например камня, и, в частности, к способу ультразвуковой прошивки отверстий сложной формы в таких материалах.

Ультразвуковая прошивка широко используется для формирования отверстий с произвольной формой поперечного сечения в хрупких материалах, таких как стекло, керамика, полупроводниковые материалы, природные и синтетические кристаллы, минералы, твердые сплавы. В частности, известен способ ультразвуковой прошивки отверстия, включающий подачу в зону обработки абразивного материала, создание ультразвуковых колебаний в волноводе-инструменте и формирование отверстия путем сообщения волноводу-инструменту движения подачи [1]. В этом способе используется жесткий волновод-инструмент, то есть волновод-инструмент с малым отношением длины к поперечному размеру. Движение подачи волновода-инструмента осуществляют вдоль прямолинейной

траектории. Прошиваемое отверстие может иметь произвольную форму поперечного сечения, определяемую формой поперечного сечения волновода-инструмента. Недостатком описанного способа является невозможность прошивки отверстий сложной формы с криволинейной осью.

Наиболее близким к заявляемому является способ ультразвуковой прошивки отверстия, включающий подачу в зону обработки абразивного материала, создание ультразвуковых колебаний в волноводе-инструменте и формирование отверстия путем сообщения волноводу-инструменту движения подачи вдоль заданной траектории [2]. В этом способе движение подачи волновода-инструмента выполняют вдоль круговой траектории. При этом волновод-инструмент выполняют с рабочей частью, имеющей форму дуги окружности. Несмотря на то, что данный способ позволяет прошивать отверстия с криволинейной осью, форма этой оси определяется формой используемого волновода-инструмента и ограничена круговой формой и заданным радиусом кривизны. Таким образом, недостатком описанного способа является невозможность прошивки отверстий сложной формы с криволинейной осью.

Задачей изобретения является обеспечение возможности формирования отверстий сложной формы с криволинейной осью.

Поставленная задача решается заявляемым способом ультразвуковой прошивки отверстия сложной формы в хрупком материале, включающим подачу в зону обработки абразивного материала, создание ультразвуковых колебаний в волноводе-инструменте, сообщение волноводу-инструменту движения подачи вдоль заданной траектории и формирование участка отверстия, форма которого совпадает с формой волновода-инструмента, а затем формирование участка отверстия требуемой формы, которую задают путем управляемой деформации волновода-инструмента.

В одном из предпочтительных вариантов реализации изобретения подачу в зону обработки абразивного материала осуществляют путем введения в нее волновода-инструмента с закрепленным на нем методом шаржирования абразивным материалом.

В другом предпочтительном варианте реализации управляемую деформацию волновода-инструмента производят путем воздействия на волновод-инструмент неоднородным магнитным полем.

В другом предпочтительном варианте реализации управляемую деформацию волновода-инструмента производят путем инициирования в волноводе-инструменте эффекта памяти формы (ЭПФ).

Необходимым условием реализации заявляемого способа является использование гибкого волновода-инструмента, то есть волновода-инструмента с большим отношением длины к поперечному размеру, способного деформироваться под действием внешних управляющих воздействий, в частности внешнего магнитного поля, и воздействий, иницирующих ЭПФ, в частности изменения температуры.

Использование шаржированного волновода-инструмента позволяет производить прошивку глубоких отверстий, для которых характерны затрудненные условия подачи абразивного материала в виде абразивной суспензии. Кроме того, при использовании волновода-инструмента, шаржированного на малом участке своего рабочего конца, снижается увеличение диаметра ("разбивка") прошиваемого отверстия в результате поперечных колебаний волновода-инструмента, которое возникает при наличии абразивных частиц, равномерно распределенных по длине волновода-инструмента, как это имеет место при использовании абразивного материала в виде абразивной суспензии, образующей прослойку между стенкой отверстия и волноводом-инструментом, или волновода-инструмента, шаржированного по всей длине.

В варианте реализации, основанном на использовании ЭПФ, предпочтительным является использование волновода-инструмента, изготовленного из нитинола (сплава никеля и титана, содержащего 50-51 атомных % никеля), который может существовать в двух фа-

зовых состояниях: низкотемпературного мартенсита и высокотемпературного аустенита. Температура фазового превращения может изменяться в широких пределах (от - 100 °С до + 100 °С) путем незначительного изменения химического состава сплава. Предпочтительным является использование сплава с температурой фазового превращения, незначительно превышающей комнатную температуру, например, нитинола для изготовления саморасширяющихся стентов с конечной температурой превращения мартенсита в аустенит A_f около 35 °С. Коммерчески доступна проволока из нитинола с диаметром от 0,025 до 4,4 мм [3]. По требованию заказчика возможно изготовление проволоки квадратного и прямоугольного сечения, а также с сечением произвольной формы. Нитинол широко используется в технике и технологии, в частности для механического сверления криволинейных отверстий в костной ткани [4], и обладает хорошими акустическими свойствами, позволяющими использовать его для изготовления ультразвуковых волноводов [5]. Нитинол также хорошо подвергается шаржированию, что ограничивает возможность его абразивной обработки при изготовлении медицинских изделий. Использование волновода-инструмента, изготовленного из материала с ЭПФ, позволяет прошивать отверстия, состоящие из начального участка с осью прямолинейной или круговой формы и конечного участка, ось которого в общем случае может иметь форму произвольной гладкой кривой, не имеющей точек перегиба. Волноводу-инструменту придают форму, соответствующую форме конечного участка прошиваемого отверстия, при температуре, соответствующей аустенитному состоянию материала, а затем охлаждают до температуры, соответствующей переходу аустенита в мартенсит. Затем волноводу-инструменту придают новую форму, соответствующую форме начального участка прошиваемого отверстия, и производят формирование начального участка. При этом в зону обработки подают абразивный материал в виде абразивной суспензии или используют шаржированный волновод-инструмент. В волноводе-инструменте создают ультразвуковые колебания и сообщают ему движение подачи вдоль прямолинейной или круговой траектории в зависимости от формы волновода-инструмента. При формировании конечного участка отверстия волноводу-инструменту сообщают движение подачи вдоль той же траектории, что и при формировании начального участка. При этом в волноводе-инструменте инициируют ЭПФ путем его нагревания до температуры, соответствующей переходу мартенсита в аустенит. В результате фазового перехода волновод-инструмент стремится восстановить свою первоначальную форму, соответствующую форме конечного участка обрабатываемого отверстия, однако, так как волновод-инструмент находится в стесненном состоянии внутри ранее сформированной начальной части отверстия, которая выполняет функцию своеобразной направляющей, это препятствует восстановлению его формы. В результате волновод-инструмент начинает оказывать асимметричное силовое воздействие на стенку отверстия, что приводит к постепенному отклонению оси формируемой конечной части отверстия от формы, соответствующей характеру движения подачи (прямолинейная или круговая). Точное восстановление формы волновода-инструмента является невозможным вследствие его силового взаимодействия со стенкой отверстия и возможно лишь для свободного волновода-инструмента, не подверженного воздействию реактивных сил. В связи с этим первоначальная форма волновода-инструмента и форма конечного участка прошиваемого отверстия находятся между собой в определенном соответствии, зависящем от условий обработки, но не являются совпадающими. Данное соответствие может быть определено путем моделирования процесса обработки или эмпирическим путем. Нагревание волновода-инструмента до температуры, соответствующей переходу мартенсита в аустенит, может осуществляться любыми известными способами, например путем подачи в зону обработки нагретой абразивной суспензии, путем индукционного нагрева и т.п.

Также возможно использование волновода-инструмента, изготовленного из ферромагнитных сплавов с ЭПФ. При этом ЭПФ будет инициироваться с помощью внешнего магнитного поля.

В варианте реализации, основанном на использовании неоднородного магнитного поля, при формировании конечного участка отверстия на волновод-инструмент (предпочтительно на его рабочий конец) воздействуют магнитным полем, создаваемым с помощью соленоида или постоянных магнитов с большой коэрцитивной силой. Предпочтительным является создание магнитного поля с помощью соленоидов, так как в этом случае можно управлять напряженностью поля путем изменения силы тока в обмотке соленоида. Волновод-инструмент в данном варианте реализации должен изготавливаться из ферромагнитных материалов, например углеродистых сталей типа сталь 03 - сталь 45. Магнитная система предпочтительно должна перемещаться относительно заготовки таким образом, чтобы рабочий конец волновода-инструмента находился в области пространства, соответствующей максимальной напряженности магнитного поля. Под действием магнитного поля ось волновода-инструмента будет постепенно отклоняться от формы траектории движения подачи, в результате чего будет формироваться конечный участок отверстия, форма которого будет определяться условиями обработки и может контролироваться за счет изменения этих условий.

В одном из вариантов реализации заявляемый способ осуществляется следующим образом.

На поверхность заготовки из стекла наносят абразивную суспензию, состоящую из воды и карбида кремния. В волноводе-инструменте прямолинейной формы с диаметром поперечного сечения 0,5 мм и длиной 20 мм, изготовленном из стали 45, создают ультразвуковые колебания и приводят его в контакт с поверхностью обрабатываемой заготовки. Путем сообщения волноводу-инструменту движения подачи вдоль прямолинейной траектории формируют в заготовке начальный участок отверстия, форма которого совпадает с формой волновода-инструмента. Затем формируют конечный участок отверстия, форму которого задают путем управляемой деформации волновода-инструмента, производимой путем воздействия на него неоднородным магнитным полем. Для создания магнитного поля используют соленоид, который перемещается относительно заготовки таким образом, что рабочий конец волновода-инструмента постоянно находится в области пространства, соответствующей максимальной напряженности магнитного поля. Индукция магнитного поля составляет не менее 50 мТ. При формировании конечного участка отверстия волноводу-инструменту сообщают движение подачи вдоль той же траектории, что и при формировании начального участка, однако под действием магнитного поля ось волновода-инструмента постепенно отклоняется от формы траектории движения подачи, в результате чего формируется конечный участок отверстия, форма которого определяется условиями обработки и может контролироваться за счет изменения этих условий, например статического усилия, прикладываемого к волноводу-инструменту, силы тока в обмотке соленоида и т.п.

Источники информации:

1. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Под ред. Волосатова.
2. Патент США 2002/0193798.
3. Superelastic and shape memory nitinol wire. Online: <http://www.memry.com/products/pdfs/wirespecsheet.pdf>.
4. Richter J. et al. Development and fatigue experiments of a novel nonlinear medical drilling device containing a flexible NiTi shaft. Proc. of the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies. - Baden-Baden, 2004. - P. 131-136.
5. Gavin G.P. Experimental and numerical investigation of therapeutic ultrasound angioplasty: PhD thesis. - Dublin City University, 2005. - 188 p.