

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗВЕРТЫВАНИЯ ТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Макаров В.Ф., Анисимов К.С. (ПГТУ, ОАО «ПМЗ», ОАО «СТАР», г.Пермь, Россия)

*The Presented results of the study of the influence mode deployments of the details from heatproof of the alloy on nickel on degree, depth cold-hardening and lines of the slide; on-layer holes after deployment. It Is Revealed that least cold-hardening, the least degree cold-hardening and the least depth line slides exists when processing sample by speed deployment unrolling from hard alloy. The Installed advantage of the process of the speed deployment on shaping quality surface layer, increasing to capacity and stability of the unrolling.*

Конструкция современного газотурбинного двигателя включает в себя свыше тысячи отверстий под воздухопроводы, под крепления и т.д. Данные отверстия в процессе работы двигателя испытывают значительные знакопеременные растягивающие и изгибные напряжения. Статистический анализ параметров отверстий в деталях из жаропрочных сплавов современных ГТД показывает, что наиболее часто встречаются диаметры от 8 до 20 мм при относительной глубине 1 – 1,5 диаметра, причем среди них часто встречаются отверстия таких диаметров, обработку которых производят дорнованием, шлифованием, тонкой расточкой, протягиванием и развертыванием. При обработке отверстий в жаропрочных сплавах дорнование не применяется ввиду налипания обрабатываемого материала на инструмент из-за его повышенной вязкости. Шлифование и растачивание применяется очень редко ввиду нестабильности получаемых размеров из-за отжатия шлифовального шпинделя и расточного резца радиальной составляющей силы резания, а также из-за малой размерной точности. Большинство отверстий конструктивно расположены в деталях и узлах такой формы, которая исключает возможность применения протягивания. В тех случаях, когда его оказывается возможным применить, высокая стоимость, при низкой стойкости протяжек делают протягивание не экономичным, особенно в условиях мелкосерийного производства с частой сменяемостью конструкций изделия. При развертывании отмеченные затруднения в значительной степени снимаются. В результате анализ данных операций обработки отверстий на ОАО «Пермский Моторный Завод» выявлено, что подавляющее большинство операций, а именно, 84,1% от общего их количества выполняется развертыванием, и только 15,9% выполняются другими методами (шлифованием, протягиванием, растачиванием). Большая жесткость и относительно низкая стоимость инструмента, мобильность и простота процесса приводят к широкому распространению развертывания отверстий в деталях из жаропрочных сплавов даже, несмотря на то, что при этом приходится с целью получения необходимой шероховатости поверхности отверстий уменьшить скорость резания до 1-2 м/мин.

Для непрерывного совершенствования изделий ОАО «Пермский Моторный Завод» требуется проведение эквивалентно-циклических испытаний (ЭЦИ - испытательный цикл нагружения состоит из разгона, изменения частоты вращения, торможения при рабочих температурах) отдельных деталей, сборных узлов, на которых определяются ресурс или возможные концентраторы - места начала появления трещин. В результате таких исследований (после наработки) выявлены трещины в отверстиях для крепления к диску 2-й ступени ТВД (см. рис. 1, а) и на валу ТНД (рис. 1, б). После этого был проведен анализ

структуры и свойств материала в зоне распространения трещин. Причинами зарождения трещин в отверстиях названы дефекты деформационного происхождения, образовавшиеся при изготовлении отверстий. После прекращения ЭЦИ были замерены параметры шероховатости всех отверстий. Шероховатость составила  $Ra=5.0\text{мкм}$  (вместо  $Ra\leq 2.5\text{мкм}$  по чертежу). Выполнение требований чертежа по шероховатости поверхности отверстий позволяет повысить циклическую долговечность.

Работа по совершенствованию обработки отверстий в деталях из жаропрочного сплава на никелевой основе производилась на радиально-сверлильном станке 2В40. Комплексный характер воздействия геометрии разверток, скорости, подачи и глубины резания на выходные характеристики выявлен с помощью симметричного многопозиционного рототабельного униформплана 2-го порядка [1].

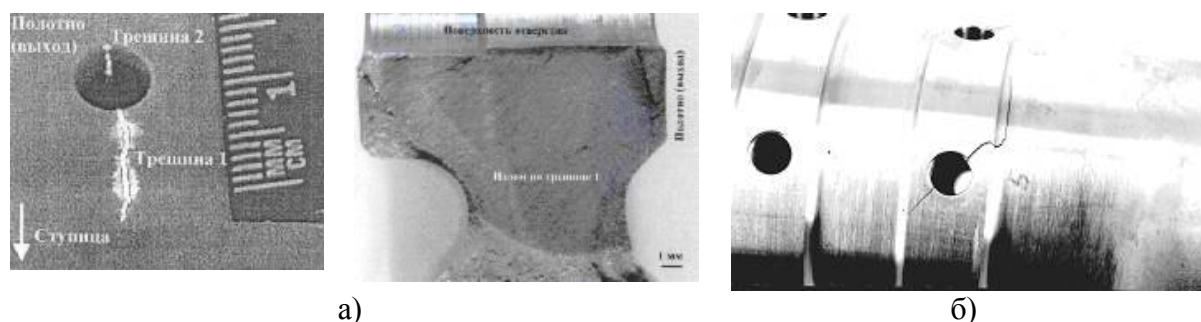


Рис. 1. Трещины в отверстиях для крепления к диску 2-й ступени ТВД (а) и на валу ТНД (б).

На рис. 2. приведена разработанная конструкция устройства (динамометра) для независимого измерения осевой силы и крутящего момента. Разработанная конструкция устройства по замеру крутящего момента  $M_{кр}$  и осевого усилия  $P_{ос}$  основана на работе подвижной и неподвижной части динамометра через систему упругих и измерительных элементов. На данный динамометр получено положительно решение о выдаче патенте на полезную модель по заявке 2004120152/22 (022077), дата выдачи 05.07.2004. Данный динамометр имеет малые габариты и легко встраивается в существующую систему шпиндельного узла сверлильного станка, также в его функцию входит роль быстросменного патрона. Динамометр устанавливается в шпиндель радиально-сверлильного станка В2-40 и работает совместно с ртутным токосъемником. При сверлении и развертывании динамометр разделяет или преобразует общую механическую нагрузку воспринимаемого инструментом, в электрические сигналы силовых характеристик - крутящего момента и осевого усилия.

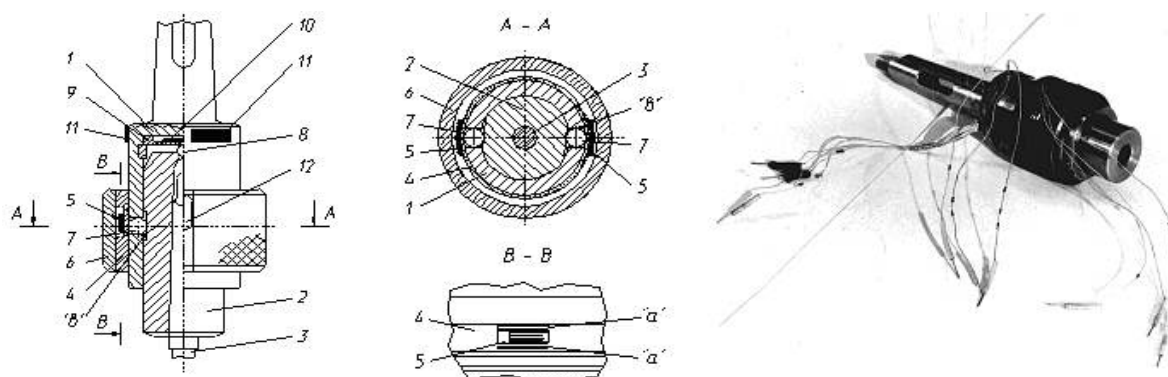


Рис. 2. Устройство (динамометр) для независимого измерения осевой силы и крутящего момента, патент на полезную модель по заявке 2004120152/22 (022077), дата выдачи

05.07.2004.

Для определения глубины линий скольжения, степени и глубины наклепа были подготовлены образцы, обработанные разверткой из быстрорежущей стали ЭП688 и твердосплавной из ВК10ОМ на скоростных режимах, в сравнении с режимами серийной технологии. Фрактографические и металлографические исследования проводились с помощью оптического микроскопа МБС-2, сканирующего электронного микроскопа JSM-35CF, микроанализатора Link-860 и микротвердомером ПМТ-3. На 14-ти образцах, вырезанных из дисков турбин из никелевого сплава ЭП742ИД были обработаны отверстия  $\varnothing 14,5$  разверткой из быстрорежущей стали ЭП688 с различным притуплением ( $h_3=0,04-0,3$ ) на режимах  $V=(8,8, 16; 23; 32; 46; 64)$ ,  $S=(0,063; 0,1; 0,16; 0,25)$   $t=0,1$ мм. Результаты замеров приведены в таблице 1, 2, 3.

Таблица 1. Результаты измерения глубины залегания линий скольжения, степени и глубины наклепа на образцах, обработанных разверткой с различным притуплением ( $V=8,8$ м/мин,  $S=0,25$ мм/об,  $t=0,1$ ).

№ п/п	Длина пути резания, м	Износ по задней грани $h_3$ , мм	Глубина распространения линий скольжения, мм	Степень наклепа, %	Глубина наклепа, мм
1	0,094	0,04	0,027	8,9	0,05
2	0,282	0,06	0,027	14,1	0,04
3	0,470	0,09	0,027	14,1	0,04
4	0,658	0,15	0,033	13,7	0,08
5	0,846	0,18	0,043	14,1	0,05
6	1,034	0,22	0,038	18,6	0,05
7	1,222	0,22	0,027	14,1	0,06
8	1,598	0,23	0,033	8,9	0,06
9	1,786	0,24	0,09	23,8	0,05
10	1,974	0,50	0,038	27,8	0,03
11	2,162	0,27	0,06	14,7	0,07
12	2,350	0,29	0,038	27,8	0,01
13	2,538	0,29	0,049	27,8	0,07
14	2,820	0,30	0,033	18,6	0,03

В результате металлографического исследования образцов вариантов с различным притуплением развертки, можно отметить, что линии скольжения наблюдаются у всех образцов:

- острой разверткой: глубиной 0.027мм;
- притупленной разверткой ( $h_3=0.25\div 0.30$ мм): глубиной 0.033-0.06мм.

Степень наклепа у отверстий, обработанных острой разверткой 8.9-14.1% с максимальной глубиной залегания 0.04-0.05мм. Степень наклепа у отверстий, обработанных с наибольшим притуплением развертки – 18.6-27.8% с максимальной глубиной залегания 0.04-0.07мм.

Таблица 2. Результаты измерений глубины линий скольжения на образцах после обработки отверстий разверткой Ø15мм из ВК10ОМ на различных режимах (t=0,1мм).

Скорость, м/мин	Глубина линии скольжений			
	Подача, мм/об			
	0,063	0,10	0,16	0,25
16,16	0,027			0,027
22,76	0,027	0,027		0,038
32,32	0,033	0,027	0,043	0,038
45,53	0,027	0,038	0,043	0,054
63,74	0,06			

В результате металлографического исследования можем сделать вывод о том, что линии скольжения наблюдаются при всех режимах обработки. Увеличение глубины линии скольжения от скорости резания при подаче S=0.063мм/об, 0.10мм/об не наблюдается, при подаче S=0.25мм/об в 2 раза больше.

Отмечается зависимость глубины линии скольжения от подачи при одной и той же скорости резания, чем больше подача, тем глубже линии скольжения.

Таблица 3. Результаты измерений степени и глубины наклепа на образцах, обработанных разверткой из твердого сплава ВК10ОМ

Скорость, V, м/мин	Подача, S, мм/об	Глубина линий скольжений, мм	Степень наклепа, %	Глубина наклепа, мм
Обработка разверткой из твердого сплава ВК10-ОМ				
22,76	0,063	0,027	13,5	0,02
22,76	0,10	0,027	8,9	0,02
32,32	0,10	0,027	4,2	0,005
32,32	0,16	0,033	8,9	0,01
45,53	0,18	0,038	18,2	0,02
Обработка разверткой из ЭП688 (серийный вариант)				
8,8	0,25	0,022	32,3-55,0	0,05

Материал у поверхности отверстий (рис. 3) обладает повышенной микротвердостью и имеет измененную фазовую и зерненую структуру, свидетельствующую о локальной интенсивной пластической деформации и перегреве материала при изготовлении отверстий. Вблизи поверхности отверстия имеется область с измененной микроструктурой глубиной до 70мкм, состоящая из двух слоев: тонкого бесструктурного слоя (глубиной до от 2 до 7мкм) и следующего за ним слоя с выраженной текстурой. На поперечном шлифе в этом слое частицы у'-фазы и зерна вытянуты вдоль поверхности отверстия.

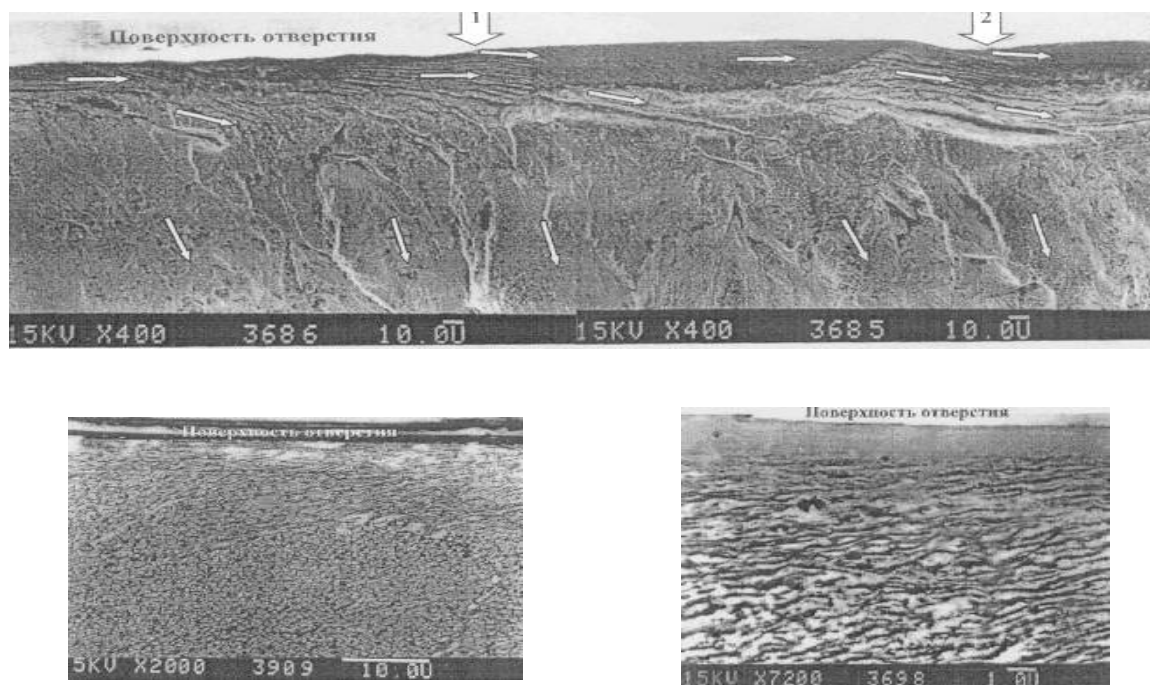


Рис. 3. Поверхностный слой отверстия после развертывания

#### Результаты исследования

Сравнивая полученные результаты по обработке отверстий скоростным методом развертывания с данными серийной обработки можно отметить, что:

- 1) на опытных образцах глубина распространения линии скольжения несколько больше (0,027-0,0238мм), чем на образцах, выполненных по серийной технологии (0,027мм);
- 2) степень наклепа на опытных образцах значительно меньше (4,2-18,2%), чем при серийной обработке (32,3-55,0%);
- 3) наименьший наклеп (0,005мм) наименьшая степень наклепа (4,2%) и наименьшая глубина линий скольжения наблюдается при обработке образцов развертками из твердого сплава ВК10ОМ на скоростных режимах.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено преимущество процесса скоростного развертывания по формированию качества поверхностного слоя, повышению производительности и стойкости разверток.

**Список литературы:** 1. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981.-184 с. 2. Патент на полезную модель по заявке 2004120152/22 (022077), дата выдачи 05.07.2004.

Сдано в редакцию 17.04.08