

## Исследование зажимных патронов для сверления точных отверстий\*

А.С. Пятых<sup>a</sup>, А.В. Савилов<sup>b</sup>, А.Ю. Николаев<sup>c</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

<sup>a</sup>alexess@istu.edu, <sup>b</sup>saw@istu.edu, <sup>c</sup>andrnokolajev@gmail.com

Статья поступила 29.09.2016, принята 26.10.2016

*В рамках данной статьи представлены результаты исследования зажимных патронов, используемых для операции сверления. Для проведения анализа были выбраны три типа зажимных патронов: гидропластовый, термоусадочный и силовой. Экспериментальные тесты проведены с использованием цельного твердосплавного сверла. Осуществлен модальный анализ инструментальных наладок, определены их собственные частоты, поперечные и крутильно-осевые моды, коэффициенты демпфирования и модальная жесткость. Для каждой инструментальной наладки построены области стабильного резания. На основе рекомендаций производителя инструмента и результатов модального анализа инструментальных наладок выбраны режимы резания, которые обеспечивают наилучшее качество и точность отверстий. С помощью стрелочного индикатора было измерено радиальное биение зажимных патронов и исследован их дисбаланс на балансировочной машине. Также было исследовано влияние цанги на передаваемый крутящий момент гидропластового патрона. С использованием различных типов зажимных патронов проведено сверление отверстий на фрезерном обрабатывающем центре в алюминиевом сплаве В95пчТ2 без использования смазочно-охлаждающей жидкости, после чего измерены шероховатость поверхности на контактном профилометре и точность получаемых отверстий с помощью координатно-измерительной машины. Результаты анализа проведенных исследований позволяют сделать правильный выбор типа зажимного патрона для получения точных отверстий в деталях из алюминиевых сплавов.*

**Ключевые слова:** термоусадочный патрон; гидромеханический патрон; силовой патрон; сверло; сверление; модальный анализ; дисбаланс; жесткость; биение; отверстие.

## Investigation of chucks for drilling precise holes

A.S. Pyatykh<sup>a</sup>, A.V. Savilov<sup>b</sup>, A.Yu. Nikolaev<sup>c</sup>

Irkutsk National State Technical University; 83 Lermontov St., Irkutsk, Russia

<sup>a</sup>alexess@istu.edu, <sup>b</sup>saw@istu.edu, <sup>c</sup>andrnokolajev@gmail.com

Received 29.09.2016, accepted 26.10.2016

*Research results for the chucks used for the drilling process have been presented in the article. Three types of chucks have been chosen for the analysis: hydro-plastic, shrink and power ones. Experimental tests have been carried out by using solid carbide drills. Modal analysis of the tool setups has been done. Their own frequencies lateral and torsional-axial modes, damping ratios and modal stiffness have been carried out. A stable cutting area has been built for every tool setup. Based on the tool manufacturer's recommendations and the results of modal analysis of the tool setups, cutting modes have been selected to provide the best quality and accuracy of the holes. A radial runout of chucks has been measured with a dial gauge and their imbalance has been investigated on the balancing machine. The influence of the collet on the transmitted torque of the hydro-plastic chuck has also been studied. By using various types of chucks, drilling of holes has been conducted on the machining center in the aluminum alloy V95 without using coolant. After that, the contact profile-meter has been used to inspect the surface roughness and a coordinate-measuring machine has been used to inspect the accuracy of the holes. The results of the research analysis allow making the right choice for the type of the chuck to obtain precise holes in aluminum parts.*

**Key words:** shrink chuck; hydro-mechanical chuck; power chuck; drill; drilling; modal analysis; imbalance; stiffness; runout; holes.

### Введение

Обработка отверстий в деталях летательных аппаратов представляет собой сложную технологическую задачу, поскольку параметры этих отверстий определяют качественные и эксплуатационные характеристики ряда деталей. В некоторых случаях высокие требования, предъявляемые к качеству получаемого отверстия, не позволяют использовать стандартные сверлильные или цанговые патроны. В настоящее время существует большое количество различных типов зажимных патронов, однако их влияние на обработку

отверстий до конца не изучено. На производстве на данный момент не существует четких рекомендаций, позволяющих выбрать наиболее эффективный зажимной патрон, гарантированно обеспечивающий требуемое качество получаемого отверстия. Анализ ряда публикаций, посвященных исследованию процесса сверления, показывает, что авторы уделяют основное внимание режущему инструменту, не сосредоточиваясь на типе зажимного патрона, и не оценивают его влияние на результаты экспериментов [1–3]. Поэтому проведе-

ние анализа наиболее часто применяемых патронов для сверления является актуальной задачей.

Рассмотрим наиболее распространенные типы зажимных патронов, применяемых в современном производстве для высокопроизводительного сверления точных отверстий [4–6]. К таким типам можно отнести гидропластовый, термоусадочный и силовой патроны. Каждый вид патрона обладает определенными преимуществами. Так, гидропластовый патрон обеспечивает радиальное биение до 4 мкм и высокий крутящий момент, помимо этого он прост в сборке. Термоусадочный патрон наряду с низким радиальным биением обеспечивает высокий класс балансировки, однако для его сборки требуется специальная термоусадочная машина. Силовой патрон обеспечивает высокий передаваемый крутящий момент и так же, как и гидропластовый патрон, не требует дорогостоящей установки для сборки.

Учитывая вышеизложенное, для проведения исследования были выбраны три зажимных патрона, наиболее часто применяемых на отечественных авиастроительных предприятиях для закрепления сверл [7–9]:

- термоусадочный патрон Haimer A63.140.16;
- гидропластовый патрон CoroChuck 930-NA06-HD-20-104;
- силовой патрон Showa HSKA63-HPC16S-110 AA.

Конструкция гидропластового патрона проста и не требует дополнительного оборудования для закрепления инструмента, которое осуществляется путем обжима стенок под действием гидравлического элемента. CoroChuck HD подходит для тяжелой обработки благодаря своему высокому усилию зажима инструмента, однако, учитывая ограниченную номенклатуру патронов, зачастую приходится использовать цанги, что пагубно влияет на величину передаваемого момента.

Так как в данной работе использовались гидромеханический патрон с диаметром зажима 20 мм и цанга с внутренним диаметром 16 мм, было принято решение проверить ее влияние на передаваемый крутящий момент. Для этого в зажимном патроне был закреплен переходной цилиндр, установленный в специальный прибор для проверки передаваемого крутящего момента. Результаты проверки приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Усилие зажима гидропластового патрона CoroChuck 930-NA06-HD-20-104*

Передаваемый крутящий момент (без цанги)	370 Нм
Передаваемый крутящий момент	230 Нм

Таблица 2

*Результаты измерения радиального биения зажимных патронов*

Наименование зажимного патрона	Радиальное биение, мм
Haimer A63.140.16	0,006
CoroChuck 930-NA06-HD-20-104	0,012
Showa HSKA63-HPC16S-110 AA	0,082

(с цангой)

В качестве режущего инструмента было выбрано цельное твердосплавное сверло Sandvik Coromant общего назначения диаметром 15 мм с диаметром хвостовика 16 мм (рис. 1). Все эксперименты по сверлению отверстий проводились на фрезерном обрабатывающем центре DMG HSC75V linear. В качестве обрабатываемого материала был выбран высокопрочный алюминиевый деформируемый сплав В95пчТ2.



Рис. 1. Спиральное сверло Sandvik Coromant

Первым этапом проведения исследования зажимных патронов была проверка на радиальное биение, для чего в зажимной патрон устанавливался твердосплавный калибр. На расстоянии 50 мм от торца патрона был подведен стрелочный индикатор часового типа (рис. 2). Показания индикатора регистрировались при включенном шпинделе станка с частотой вращения 20 об/мин. Результаты радиального биения зажимных патронов представлены в табл. 2.



Рис. 2. Измерение радиального биения термоусадочного патрона Haimer A63.140.16

Как видно (табл. 2), наименьшее радиальное биение имеет термоусадочный патрон Haimer A63.140.16.

Затем в зажимные патроны поочередно устанавливалось спиральное сверло, и проводилась проверка динамического дисбаланса [10; 11]. Данная операция выполнялась с помощью машины Haimer TD2009 Comfort Plus [12]. Результаты проверки представлены в табл. 3.

Остаточный дисбаланс силового патрона на порядок выше, чем у гидропластового и термоусадочного

патронов. Это является следствием конструктивных особенностей силового патрона, в частности шарико-винтового механизма [13].

Таблица 3

Результаты исследования дисбаланса зажимных патронов

Характеристика	Термоусадочный	Силовой	Гидропластовый
Масса патрона без инструмента	2.080 кг	1.828 кг	0.952 кг
Масса патрона с инструментом	2.318 кг	2.110 кг	1.190 кг (с цангой)
Полученный остаточный дисбаланс	0.7 г * мм	23.3 г * мм	2.6 г * мм

Далее был проведен экспериментальный модальный анализ инструментальных наладок [14]. Поперечная и крутильно-осевая моды определялись при помощи теста инструментальным молотком, модальные параметры преобладающих мод извлекали, используя стандартные методы модального анализа [15]. В то время как поперечные моды измеряют, используя обычные тесты, измерение крутильно-осевых мод требует более сложной подготовки, которая описана в [16]. Рассчитанные собственные частоты представлены на рис. 4–6.

Таблица 4

Модальные параметры инструментальной наладки на базе гидропластового патрона CoroChuck 930-NA06-HD-20-104

Таблица 5

Модальные параметры инструментальной наладки на базе гидропластового патрона Haimer A63.140.16

	Собственная частота, Гц	Коэффициент демпфирования, %	Модальная жесткость, Н/м	Масса, г
G <sub>xx</sub>	1 190,978	1,511	7,7705E+06	0,139
G <sub>yy</sub>	1 186,569	1,340	7,2903E+06	0,131
G <sub>zz</sub>	1 053,643	0,947	1,7327E+07	0,395
G <sub>θz/zθ</sub>	7 866,933	0,992	-1,9615E+08	-0,08
G <sub>θθ</sub>	7 799,214	0,723	6,3826E07	-0,03

Следует заметить, что параметры крутильно-осевых мод отрицательны. Это показывает, что сверла раскручиваются, изгибаясь под воздействием момента резания.

	Собственная частота, Гц	Коэффициент демпфирования, %	Модальная жесткость, Н/м	Масса, г
G <sub>xx</sub>	1 118,945	2,477	9,7584E+06	0,197
G <sub>yy</sub>	1 111,809	2,392	4,6852E+07	0,960
G <sub>zz</sub>	1 040,459	1,214	3,2716E+07	0,765
G <sub>θz/zθ</sub>	7 857,609	1,082	-8,9719E+07	-0,04
G <sub>θθ</sub>	7 881,373	1,814	4,9554E+07	-0,02

Таблица 6

Модальные параметры инструментальной наладки на базе гидропластового патрона Showa HSKA63-HPC16S-110 AA

	Собственная частота, Гц	Коэффициент демпфирования, %	Модальная жесткость, Н/м	Масса, г
G <sub>xx</sub>	918,5195	5,309	4,3426E+06	0,130
G <sub>yy</sub>	1 007,807	4,925	8,1838E+06	0,204
G <sub>zz</sub>	914,462	2,026	2,8136E+07	0,852
G <sub>θz/zθ</sub>	8 092,508	0,823	-2,6384E+08	-0,10
G <sub>θθ</sub>	8 084,654	1,230	2,0959E+08	-0,08

Учитывая модальные параметры инструментальных наладок, геометрические параметры спирального сверла и обрабатываемый материал [17], был построен график областей стабильного резания (рис. 3) [18; 19].

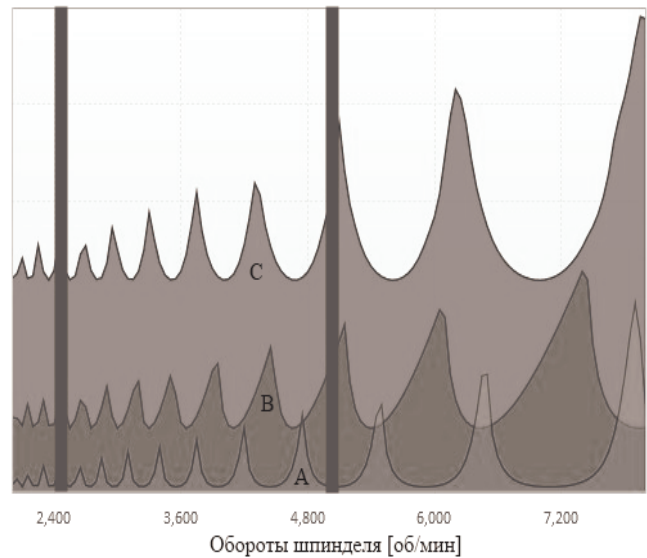


Рис. 3. График областей стабильного резания: А — области стабильного резания термоусадочного патрона; В — области стабильного резания гидропластового патрона; С — области стабильного резания силового патрона

На графике вертикальными линиями построены границы, характеризующие минимальное и максимальное значения оборотов шпинделя с учетом рекомендаций производителя инструмента [20]. Как видно на графике, данная область содержит зоны стабильного и нестабильного резания, которые не могут быть учтены производителем инструмента при назначении рекомендованных режимов резания.

Учитывая график областей стабильного резания и рекомендации производителя инструмента, было принято решение назначить для проведения эксперимента постоянные режимы резания для каждой инструментальной наладки. Таким образом, скорость резания  $V_c$  составила 188 м/мин, глубина сверления  $a_p = 15$  мм, подача  $f_n = 0,1$  мм/об.

Далее было просверлено по пять отверстий каждой инструментальной наладкой. Сверление отверстий

проводилось за один проход, без применения смазочно-охлаждающей жидкости. После этого были измерены шероховатость поверхности отверстий и от-

клонение от номинального диаметра отверстия. Результаты измерений представлены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

*Результаты измерения шероховатости*

Зажимной патрон	Номер просверленного отверстия									
	1		2		3		4		5	
	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм	Ra, мкм	Rz, мкм
Haimer A63.140.16	0,3825	2,3542	0,3283	1,9007	0,2152	1,2301	0,2148	1,4554	0,5043	4,6361
CoroChuck 930-NA06-HD20-104	0,4145	2,5525	0,1807	1,3282	0,2875	1,8587	0,4369	2,6967	0,9768	5,7207
Showa HSKA63-HPC16S-110 AA	0,3307	2,0891	0,3594	1,8322	0,1761	1,2675	0,3470	2,6965	0,9296	5,4052

Таблица 8

*Отклонение от номинального диаметра отверстия*

Зажимной патрон	Номер просверленного отверстия									
	1		2		3		4		5	
	Д	Ц	Д	Ц	Д	Ц	Д	Ц	Д	Ц
Haimer A63.140.16	0,0140	0,0161	0,0162	0,0136	0,0162	0,0108	0,0162	0,0116	0,0167	0,0167
CoroChuck 930-NA06-HD-20-104	0,0114	0,0149	0,0170	0,0197	0,0138	0,0182	0,0119	0,0263	0,0072	0,0302
Showa HSKA63-HPC16S-110 AA	0,0200	0,0186	0,0206	0,0115	0,0173	0,014	0,0163	0,0136	0,0155	0,0173

Как показывают результаты, лучшая повторяемость с минимальными значениями параметра шероховатости  $R_a$  у патрона Haimer A63.140.16.

**Заключение**

Результаты проведенных исследований зажимных патронов для операции сверления позволяют сделать вывод: для получения точных отверстий рекомендуется использование гидропластового или термоусадочного патрона. При использовании данных патронов и сверла общего назначения с заявленной точностью IT9 можно обеспечить точность получаемых отверстий по IT7 и шероховатостью поверхности  $R_a \approx 0,5$  мкм. Стоит отметить, что сборка инструментальной наладки на базе гидропластового патрона является более простой и удобной, а также занимает меньше времени в сравнении со сборкой инструментальной наладки на базе термоусадочного патрона, что является важным показателем в условиях массового производства. В то же время, при использовании силового патрона, несмотря на худшие результаты при измерении радиального биения, качество просверленных отверстий сопоставимо с зажимом инструмента в гидропластовый патрон.

*Литература*

1. Быкадор В.С. Влияние динамики процесса сверления на формирование погрешностей глубоких отверстий // Вестн. ДГТУ. 2010. № 8 (51). С. 1207-1218.
2. Салабаев Д.Е. Повышение точности при сверлении отверстий путем динамической настройки технологической системы: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Тольятти, 2005. 19 с.

3. Stephenson D., Agapiou J. Metal Cutting Theory and Practice. CRC Press, 2016. 931 p.
4. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. М.: Полиграфия, 2003. 301 с.
5. Руководство по обработке отверстий. Sandvik Coromant. Швеция, типография Sandvikens Tryckeri, 2006. 240 с.
6. Хасан Аль-Дабас. Повышение качества обработки за счет разработки и применения сверлильно – фрезерных патронов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 20 с.
7. Высокооточный гидропластовый патрон с высокой надежностью от вытягивания инструмента [Электронный ресурс] // Sandvik.coromant: сайт. URL: [http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/corochuck\\_930/Pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/corochuck_930/Pages/default.aspx) (дата обращения: 15.09.2016).
8. Shrink Fit Chuck Standard Version with Cool Jet DIN 69893-1 HSK-A63 [Электронный ресурс]// Сайт компании «Haimer». URL: <http://www.haimer.biz/products/tool-holders/din-69893-hsk-a-hsk-e-hsk-f/hsk-a63/shrink-fit-chuck/standard-with-cool-jet.html> (дата обращения: 15.09.2016).
9. Showa Tool General Catalog [Электронный ресурс] // Инженерный консалтинг: сайт компании. URL: <http://www.xn--80ageadlegjpcbcd14axv6o.com/databank/images/docs/71/Showa.pdf> (дата обращения: 15.09.2016).
10. ISO/FDIS 1940-1:2002(E). Mechanical vibration - Balance quality requirements of rigid rotors -Part 1: Specification and verification of balance tolerances. Geneva: ISO TC 108/SC 1/WG 8, 2002. 36 p.
11. DIN69888:2008-09. Auswuchtsanforderungen an rotierende Werkzeugsysteme. 2008. 37 p.
12. Schunk GmbH & Co KG. ACURO. Балансировочная машина для инструментальных державок, шлифовальных кругов и роторов. 2008 Genta G. Dynamics of Rotating Systems. Springer, 2005. 658 p.
13. Бирман А.Р. Белоногова Н.А. Топливный брикет и устройство для изготовления топливных брикетов: пат. полезную модель. 126702 Рос. Федерация. № 26245; заявл. 10.04.13; опубл. 10.06.13, Бюл. № 10.
14. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Cambridge University Press, 2012. 366 p.

15. Ahmadi K., Savilov A. Modeling the mechanics and dynamics of arbitrary edge drills // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2015. Vol. 89. P. 208-220.

16. Roukema J., Altintas Y. Generalized Modeling of Drilling Vibrations. Part II. Chatter Stability in Frequency Domain // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2000. Vol. 47, № 9. P. 29-33.

17. Пятых А.С., Савилов А.В. Определение коэффициентов сил резания для моделирования процесса сверления // *Системы. Методы. Технологии*. 2016 № 2 (30). С. 69-73.

18. Palpadian P., Prabhu Raja V., Satish Babu S. Stability lobe Diagram for High Speed Machining Process: Comparison of Experimental and Analytical Methods – A Review // *International Journal of Innovative in Science, Engineering and Technology*, 2013. Vol. 2. P. 747-752.

19. Jianping Yue. Creating a Stability Lobe Diagram // *Proceedings of the 2006 IJME – INTERTECH Conference*, 2006.

20. Металлорежущий инструмент Sandvik Coromant. Основной каталог. Швеция, типография Elanders, 2008. 1144 с.

#### References

1. Bykador V.S. Effect of drilling operation dynamics on deep holes accuracy // *Herald of Dagestan State Technical University*. 2010. № 8 (51). P. 1207-1218.

2. Salabaev D.E. Increase in accuracy when drilling holes by dynamic control of technological system: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Tol'yatti, 2005. 19 p.

3. Stephenson D., Agapiou J. *Metal Cutting Theory and Practice*. CRC Press, 2016. 931 p.

4. *High performance metal cutting*. M.: Poligrafiya, 2003. 301 p.

5. *Guide to processing of holes*. Sandvik Coromant. Shvetsiya, tipografiya Sandvikens Tryckeri, 2006. 240 p.

6. Khasan Al'Dabas. Improving the quality of manufacturing at the expense of the development and application of boring milling chucks: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2011. 20 p.

7. High-precision hydraulic chuck with high reliability on the drawing tool: [Elektronnyi resurs] // Sandvik.coromant: sait. URL: [http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coro-chuck\\_930/Pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/coro-chuck_930/Pages/default.aspx) (data obrashcheniya: 15.09.2016).

8. Shrink Fit Chuck Standard Version with Cool Jet DIN 69893-1 HSK-A63: [Elektronnyi resurs] // Sait kompanii «Haimer». URL: <http://www.haimer.biz/products/tool-holders/> din-

69893-hsk-a-hsk-e-hsk-f/hsk-a63/shrink-fit-chuck/standard-with-cool-jet.html (data obrashcheniya: 15.09.2016).

9. Showa Tool General Catalog: [Elektronnyi resurs] // Inzhenernyi konsalting: sait kompanii. URL: <http://www.xn--80ageadlegjlpbcdl4axv6o.com/databank/images/docs/71/Showa.pdf> (data obrashcheniya: 15.09.2016).

10. ISO/FDIS 1940-1:2002(E). Mechanical vibration -Balance quality requirements of rigid rotors -Part 1: Specification and verification of balance tolerances. Geneva: ISO TC 108/SC 1/WG 8, 2002. 36 p.

11. DIN69888:2008-09. Auswuchtsanforderungen an rotierende Werkzeugsysteme. 2008. 37 p.

12. Schunk GmbH & Co KG. ACURO. Balancing machine for tool holders, grinding wheels and rotors. 2008. Genta G. Dynamics of Rotating Systems. Springer, 2005. 658 p.

13. Birman A.R. Belonogova N.A. Fuel briquettes and apparatus for the production of fuel pellets: pat. poleznuyu model'. 126702 Ros. Federatsiya. № 26245; zayavl. 10.04.13; opubl. 10.06.13, Byul. № 10.

14. Altintas Y. *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*. Cambridge University Press, 2012. 366 p.

15. Ahmadi K., Savilov A. Modeling the mechanics and dynamics of arbitrary edge drills // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2015. Vol. 89. P. 208-220.

16. Roukema J., Altintas Y. Generalized Modeling of Drilling Vibrations. Part II. Chatter Stability in Frequency Domain // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2000. Vol. 47, № 9. P. 29-33.

17. Pyatykh A.S., Savilov A.V. Determination of cutting force coefficients to simulate the drilling process // *Systems. Methods. Technologies*. 2016 № 2 (30). P. 69-73.

18. Palpadian P., Prabhu Raja V., Satish Babu S. Stability lobe Diagram for High Speed Machining Process: Comparison of Experimental and Analytical Methods - A Review // *International Journal of Innovative in Science, Engineering and Technology*, 2013. Vol. 2. P. 747-752.

19. Jianping Yue. Creating a Stability Lobe Diagram // *Proceedings of the 2006 IJME - INTERTECH Conference*, 2006.

20. Metal cutting tool Sandvik Coromant. Osnovnoi katalog. Shvetsiya, tipografiya Elanders, 2008. 1144 p.