

УДК 621.923.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ФОРМОЙ ОБРАБОТАННОГО ОТВЕРСТИЯ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ

В. А. Огородов

[semper\\_novi@mail.ru](mailto:semper_novi@mail.ru)

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

*Поступила в редакцию 5 апреля 2015 г.*

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований возможности получения заданной макрогеометрии отверстия тонкостенного цилиндра при хонинговании путем направленной деформации заготовки при закреплении в приспособлении с помощью упругих элементов, выполненных в форме тарельчатых пружин.

**Ключевые слова:** тонкостенный цилиндр; отклонение формы отверстия; зажимное приспособление; управление деформацией при закреплении; тарельчатая пружина.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что неравномерный износ поверхности отверстия тонкостенных цилиндров, широко применяемых в гидросистемах современных летательных аппаратов, обусловлен несоответствием между полученной при окончательной обработке макрогеометрией отверстия цилиндра и деформацией его стенок под действием давления рабочей жидкости, которое может достигать 25 МПа [1].

Уменьшить негативное влияние деформации тонкостенного цилиндра на его долговечность можно, изготовив отверстие цилиндра с заранее заданным (направленным) отклонением формы, чтобы затем в эксплуатационных условиях под действием эксплуатационных нагрузок это отклонение компенсировалось деформацией стенок цилиндра. Тем самым будут обеспечены наилучшие условия работы пары сопряжения «цилиндр–поршень».

Поэтому в настоящее время является актуальной проблема формирования заданной макрогеометрии отверстия тонкостенного цилиндра на операции окончательной обработки, что, в свою очередь, требует разработки и исследование методов и средств управления формообразованием отверстий тонкостенных цилиндров.

В данной статье впервые публикуются результаты экспериментальных исследований по управлению макрогеометрией обработанного отверстия тонкостенного цилиндра на операции его финишной обработки – хонинговании.

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

В настоящее время для управления образованием формы обрабатываемого отверстия на операции хонингования используют режим «коротких ходов» хонинговальной головки в сечениях отверстия, где требуется увеличить съем припуска [2, 3].

При этом в работе [4] отмечается, что использование этого приема может привести к образованию на обрабатываемой поверхности ступеньки, что по условиям эксплуатации цилиндров недопустимо. Кроме того, эффективность режима «коротких ходов» в значительной степени зависит от правильной локализации включения режима.

Регулирование величины перебега хонинговальных брусков за края отверстия позволяет управлять съемом припуска только на краях обрабатываемого отверстия, а результат зависит от длины применяемых брусков. Причем исследованиями [4, 5] выявлено, что при малой жесткости обрабатываемой детали этот прием не позволяет достичь требуемого результата из-за упругого отжатия стенок цилиндра при разжиге хонинговальных брусков.

В [6] предложено направленный съем припуска для получения конусности обрабатываемого отверстия осуществлять путем несимметричного приложения усилия разжима к колодке хонинговального бруска. Однако возможности предложенной конструкции хонинговальной головки неочевидны, к тому же ограничены получением только конусности отверстия.

Вместе с тем в исследованиях процесса хонингования [7, 8] установлено, что на точность формы обрабатываемого отверстия существенное влияние оказывает деформация заготовки в зажимном приспособлении. В некоторых случаях заготовку специально деформируют для повышения исправляющей способности процесса хонингования [7], а при обработке тонкостенных цилиндров деформация заготовки при закреплении может привести к ухудшению точности формы обработанного отверстия [4, 7 и др.].

**Ключевые идеи.** Задав определенную деформацию тонкостенного цилиндра при его закреплении и исправив при обработке исходное отклонение формы отверстия в закрепленном состоянии цилиндра, можно получить требуемую макрогеометрию обработанного отверстия после раскрепления цилиндра.

Для реализации предложенного метода управления формой обрабатываемого отверстия тонкостенного цилиндра зажимное приспособление должно быть оснащено несколькими независимыми зажимными элементами, обладающими к тому же высокой радиальной жесткостью для исключения отжима стенок цилиндра под действием усилия разжима хонинговальных брусков.

Известно, что к числу таких элементов принадлежат тарельчатые пружины, которые применяются в станочных приспособлениях для центрирования и зажима заготовки по наружной (или внутренней) обработанной цилиндрической поверхности.

В [9] приведена зависимость, связывающая крутящий момент, обеспечиваемый тарельчатой пружиной, с углом ее прогиба в свободном состоянии

$$T = k_3 \frac{M_{кр}}{Rf_{тр}} \operatorname{tg}(\beta - 2), \quad (1)$$

где  $T$  – осевое усилие сжатия одной пружины;  $k_3$  – коэффициент запаса;  $M_{кр}$  – крутящий момент, обеспечиваемый пружиной;  $\beta$  – угол прогиба тарельчатой пружины в свободном состоянии, град;  $R$  – радиус установочной поверхности;  $f_{тр}$  – коэффициент трения на установочной поверхности заготовки.

Из выражения (1) следует, что величина радиального усилия, действующего на заготовку со стороны пружины, зависит от угла прогиба пружины  $\beta$  и обратно пропорциональна его величине.

Это дает основание считать, что, подбирая угол прогиба пружины, можно управлять де-

формацией тонкостенного цилиндра при закреплении, и, следовательно, получать заданное отклонение формы обработанного отверстия.

Поэтому представляет практический интерес исследование возможностей применения набора тарельчатых пружин с различным углом прогиба по управлению формообразованием обрабатываемого отверстия при хонинговании.

## ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 показана конструкция зажимного приспособления, закрепление заготовки в котором осуществляется с помощью набора из трех пар зажимных элементов 1, выполненных в форме тарельчатых пружин и имеющих соответственно углы прогиба  $20^\circ$ ,  $15^\circ$  и  $10^\circ$ , которые установлены в корпусе 2. Усилие закрепления при зажиме заготовки создается вращением гайки 3 и передается через упорный подшипник 4, шайбу 5 и втулку 6 на пружины 1.

Во избежание расклинивания пружин 1 между заготовкой и корпусом 2 при приложении зажимного осевого усилия по наружному диаметру пружин 1 выполнено жесткое кольцо. Высокие упругие свойства зажимных элементов обеспечиваются радиальными пазами, делящими их конические поверхности на ряд радиальных лепестков, связанных между собой только посредством жесткого кольца.

Для проверки возможности получения обрабатываемого отверстия тонкостенного цилиндра при хонинговании с заданным отклонением формы путем направленной деформации с помощью пружин с разными углами прогиба была выполнена обработка тонкостенного цилиндра, изготовленного из стали 30ХГСА. Номинальный диаметр наружной поверхности образца равен 38 мм, длина 75 мм, диаметр обрабатываемого отверстия – 36 мм.

Обработка заготовки производилась на вертикально-хонинговальной станке двухшарнирной 4-брусковой хонинговальной головкой типовой конструкции с разжимом брусков от гидросистемы станка. Для хонингования применялись хонинговальные бруски шириной 6 мм и длиной 75 мм. Характеристика брусков – АСР 80/63-М1-100 %.

Режимы хонингования: частота вращения шпинделя станка –  $90 \text{ мин}^{-1}$ ; скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки – 20 дв. ход./мин; давление разжима брусков по манометру станка – 0,5 МПа.

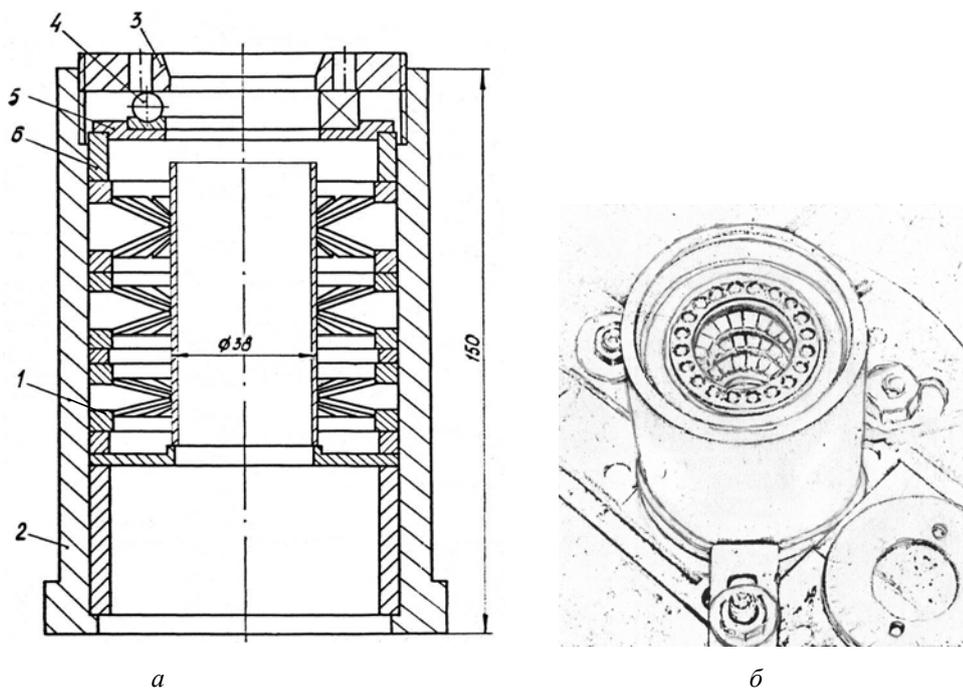


Рис. 1. Зажимное приспособление для хонингования: а – конструкция; б – общий вид

Величина выбега брусков за края отверстия была принята равной одной трети от длины хонинговальных брусков. Правильность настройки выбега определена по результатам обработки контрольного образца.

Измерения отверстия выполнялись нутромером с индикаторной головкой часового типа с ценой деления 2 мкм в двух диаметрально противоположных направлениях и трех сечениях.

Для обеспечения хорошей наглядности результатов обработка образца производилась в течение одной минуты. За это время происходило полное устранение исходной погрешности формы обрабатываемого отверстия. Поэтому окончательная форма обработанного отверстия определялась только упругой деформацией образца под действием зажимных элементов.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты измерений отверстия тонкостенного цилиндра в процессе эксперимента приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что в результате деформации тонкостенного цилиндра при закреплении конусность его отверстия в сечении *a-a* увеличилась с 0,09 до 0,132 мм, в сечении *b-b* – с 0,1 мм до 0,144 мм.

Причем, как видно на рис. 2, наибольшая деформация тонкостенного цилиндра и, следовательно, радиальное усилие, вызвавшее деформацию, наблюдается в сечении, где действует пружина с самым большим углом прогиба  $\beta$ , равного 20°. Поэтому справедливость известной зависимости (1) представляется сомнительной.

Таблица 1

Результаты измерений отверстия тонкостенного цилиндра

Сечения	Порядок шайб	Диаметр отверстия, мм							
		До закрепления		После закрепления		После обработки		После раскрепления	
		<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>
I	20°	-0,020	-0,038	-0,120	-0,140	0	-0,014	0,100	0,088
II	15°	0,042	0,024	-0,020	-0,040	0,002	-0,004	0,064	0,060
III	10°	0,070	0,062	0,012	0,004	0,018	0,010	0,076	0,068

Изучение деформации тонкостенного цилиндра при закреплении (рис. 2) также показало, что пружины с углом прогиба 15° и 10° вызывают примерно одинаковую деформацию. Это можно объяснить, во-первых, взаимным влиянием деформации соседних участков цилиндрической оболочки: пружины с углами 15° и 10° расположены ближе друг к другу, чем пружины с углом прогиба 20° и 15°. А, во-вторых, на деформацию цилиндра оказывают свое влияние зазор между заготовкой и соответствующей пружиной, а также сжатие пружин в осевом направлении.

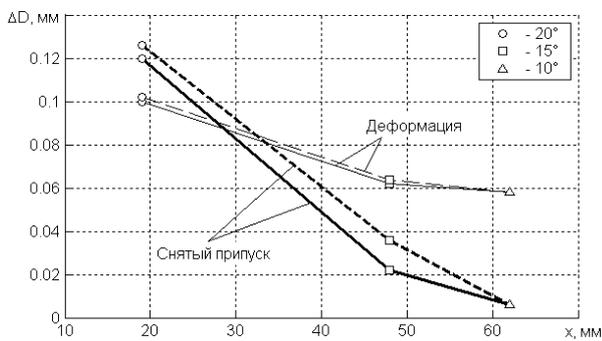


Рис. 2. Деформация цилиндра и снятый припуск

На рис. 2 также видно, что величина снятого припуска в отверстии цилиндра полностью определяется формой его отверстия, получае-

мой при закреплении в приспособлении, из чего следует, что влияние упругого отжатия стенок цилиндра под действием усилия разжима брусков на форму обработанного отверстия отсутствует.

Для изучения исправляющей способности хонингования в процессе обработки на 30 и 45 секундах обработки был произведен промежуточный контроль диаметра обрабатываемого отверстия цилиндра в закрепленном состоянии, результаты которого приведены в табл. 2 и показаны на рис. 3.

Как видно на рис. 3, а, в течение всего процесса хонингования происходит постоянное уменьшение конусности отверстия цилиндра, находящегося в закрепленном состоянии.

Однако, если принять во внимание деформацию тонкостенного цилиндра при закреплении, уменьшение конусности наблюдается только до 45 с обработки. Затем величина конусности в процессе обработки увеличивается.

Выявленный факт связан с изменением направления конусности отверстия – в результате хонингования полностью устраняется исходная конусность отверстия тонкостенного цилиндра и формируется конусность противоположного направления по сравнению исходной.

Таблица 2

**Изменение диаметра отверстия тонкостенного цилиндра в закрепленном состоянии в течение процесса хонингования**

Сечения	Порядок шайб	Время хонингования, с							
		0		30		45		60	
		a-a	b-b	a-a	b-b	a-a	b-b	a-a	b-b
I	20°	-0,120	-0,140	-0,058	-0,072	-0,030	-0,042	0	-0,014
II	15°	-0,020	-0,040	-0,008	-0,020	-0,002	-0,012	0,002	-0,004
III	10°	0,012	0,004	0,016	0,008	0,017	0,009	0,018	0,010

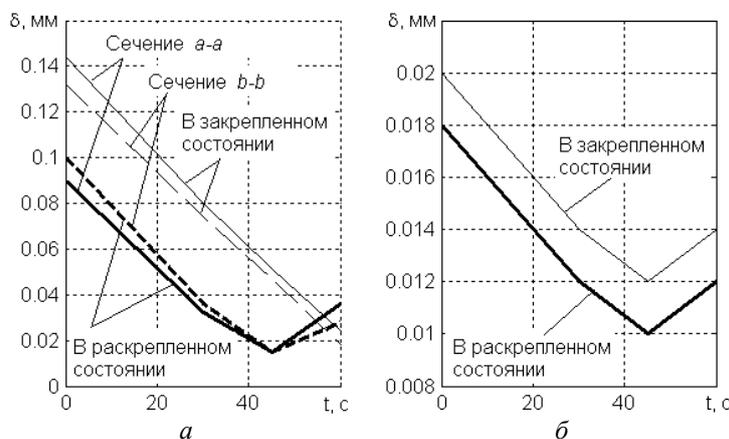


Рис. 3. Исправление отклонений формы отверстия в течение процесса обработки: а – конусности; б – овальности

Следовательно, направленную деформацию тонкостенного цилиндра можно применять также для интенсификации исправления исходного отклонения формы обрабатываемого отверстия при хонинговании. При этом достигаемая минимальная величина отклонения формы будет зависеть от других факторов, которые в настоящей работе не рассматриваются, а именно: от точности изготовления базовой (наружной) поверхности цилиндра и величины зазора между этой поверхностью и пружинами в зажимном приспособлении.

Указанными причинами, по-видимому, объясняется характер изменения некруглости обрабатываемого отверстия, приведенный на рис. 3, б.

Для изучения возможности получения другой формы макрогеометрии обработанного отверстия, таких как корсетность и бочкообразность, была произведена обработка образцов при различных комбинациях расположения пар пружин в приспособлении. Наружный диаметр всех образцов – 37,6 мм, диаметр обработки – 35 мм, материал – сталь марки 45. Время хонингования – 60 с.

Осевое усилие сжатия пар пружин 1 (см. рис. 1), располагаемых в приспособлении в различном порядке, создавалось поворотом гайки 3 на один и тот же угол, величина которого контролировалась по угловой разметке, нанесенной на торцы гайки 3 и корпуса 2. Измерения производились нутромером с индикаторной головкой часового типа с точностью 0,002 мм.

Результаты этих исследований представлены в табл. 3. Порядок расположения пружин в приспособлении указан в направлении сверху вниз.

При изучении деформации тонкостенного цилиндра в зажимном приспособлении при различном порядке расположения пружин (рис. 4), прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что первый и четвертый вариант закрепления отличаются между собой только направлением расположения пружин: при первом варианте закрепления угол прогиба пружин последовательно увеличивается (рис. 4, а), при четвертом варианте последовательно уменьшается (рис. 4, з).

Вместе с тем величины деформации заготовки при этих вариантах закрепления существенно отличаются друг от друга. При четвертом варианте закрепления минимальная деформация практически равна нулю (рис. 4, з), а при первом варианте составляет значительную величину 0,04 мм (рис. 4, а). Также существенно различается максимальная величина деформации при этих вариантах закрепления: соответственно 0,05 и 0,08 мм.

Выявленное различие в деформации заготовки может быть объяснено тем, что пара пружин с углом прогиба  $20^\circ$  обладает наибольшей податливостью, и, следовательно, первой выбирает радиальный зазор между ней и заготовкой, начиная затем деформировать последнюю.

Таблица 3

**Диаметр отверстия тонкостенного цилиндра в процессе обработки при различном порядке расположения пружинных шайб**

Вариант	Сечения	Порядок шайб	Диаметр отверстия, мм							
			До закрепления		После закрепления		После обработки		После раскрепления	
			<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>
1	I	$10^\circ$	0,368	0,362	0,328	0,322	0,392	0,388	0,432	0,428
	II	$15^\circ$	0,374	0,364	0,328	0,320	0,390	0,388	0,436	0,432
	III	$20^\circ$	0,398	0,378	0,318	0,302	0,390	0,386	0,470	0,462
2	I	$15^\circ$	0,342	0,322	0,286	0,268	0,340	0,328	0,396	0,382
	II	$10^\circ$	0,338	0,330	0,290	0,282	0,340	0,326	0,388	0,374
	III	$20^\circ$	0,322	0,324	0,264	0,268	0,338	0,330	0,396	0,386
3	I	$15^\circ$	0,210	0,198	0,160	0,150	0,310	0,300	0,360	0,352
	II	$20^\circ$	0,232	0,240	0,180	0,190	0,302	0,292	0,354	0,342
	III	$10^\circ$	0,268	0,280	0,260	0,272	0,300	0,290	0,308	0,298
4	I	$20^\circ$	0,092	0,120	0,042	0,068	0,220	0,210	0,270	0,264
	II	$15^\circ$	0,102	0,122	0,092	0,108	0,220	0,210	0,230	0,224
	III	$10^\circ$	0,100	0,128	0,100	0,128	0,218	0,212	0,218	0,212

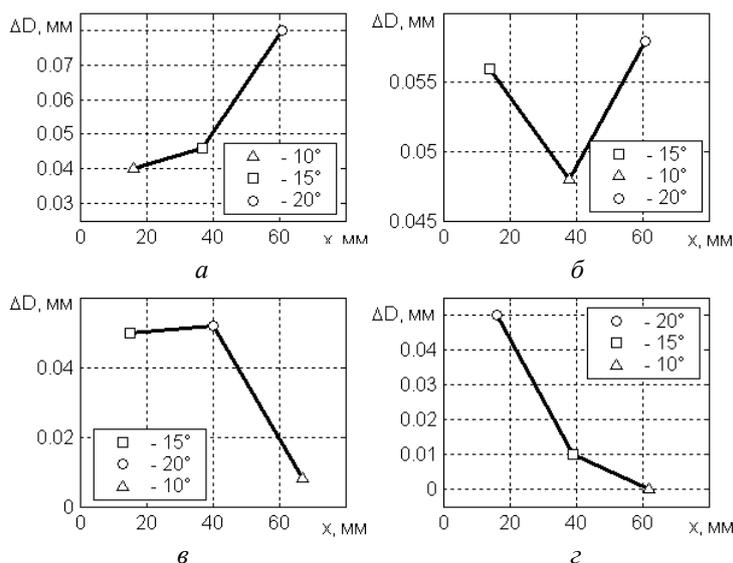


Рис. 4. Деформация тонкостенного цилиндра (сечение  $a-a$ ) в зажимном приспособлении при различном расположении пар пружин

Если при этом пара пружин с углом прогиба  $20^\circ$  расположена первой в приспособлении (рис. 4, г), то она первой воспринимает осевое усилие закрепления, и, выбрав при деформации радиальный зазор, тем самым ограничивает деформацию остальных пружин. Точно то же происходит с парой пружин, имеющих угол прогиба  $15^\circ$ . А вместе пружины с углом прогиба  $20^\circ$  и  $15^\circ$  полностью блокируют деформацию пары пружин с углом  $10^\circ$ , что отражается на деформации заготовки.

При обратном порядке расположения пружин (рис. 4, а), когда первой установлена пара пружин с наименьшим углом прогиба  $10^\circ$ , пара пружин с углом прогиба  $20^\circ$  не способна ограничить деформацию пружин с меньшей податливостью. Поэтому каждая из пар пружин при этом варианте их расположения в приспособлении участвует в деформировании заготовки без ограничений. В результате возрастает величина деформации тонкостенного цилиндра во всех его сечениях, что и отображено на рис. 4, а.

Этой же причиной объясняется характер деформации при третьем варианте расположения пружин (рис. 4, в) – пара пружин с углом прогиба  $20^\circ$  блокирует деформацию ниже установленной пары пружин с углом  $10^\circ$ . А пара пружин с углом  $15^\circ$  после выбора радиального зазора ограничивает деформацию пары пружин с углом  $20^\circ$ . В итоге пружины с углами  $15^\circ$  и  $20^\circ$  обеспечивают примерно одинаковую по величине деформацию заготовки.

Подобный характер взаимодействия пружин с углами  $15^\circ$  и  $20^\circ$  также имеет место при втором варианте расположения пружин в приспособлении (рис. 4, б). При этом деформация за-

готовки в сечении пар пружин с углом  $10^\circ$  создается совместным воздействием на тонкостенный цилиндр в соседних сечениях пружин с углами  $15^\circ$  и  $20^\circ$ . Этим объясняется соизмеримость деформации заготовки в всех ее сечениях, на которые воздействуют пары пружин в приспособлении (рис. 4, б).

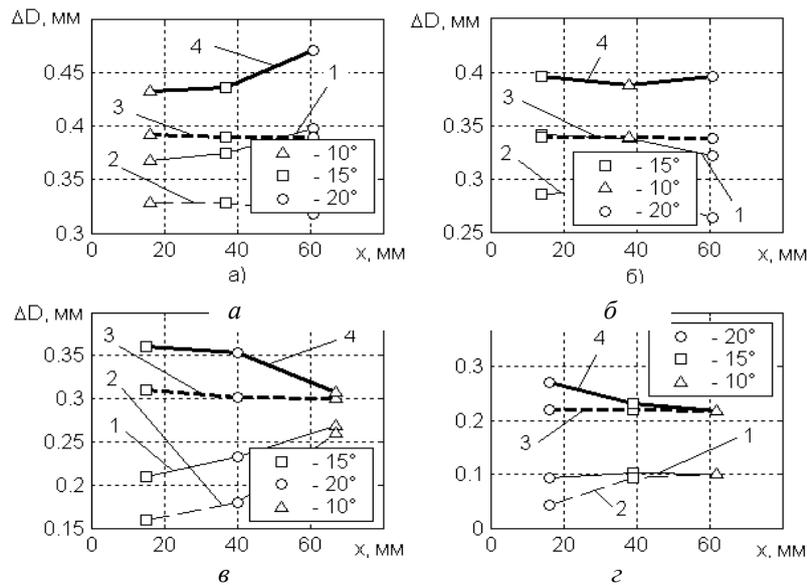
Таким образом, доказано, что порядок расположения пружин с разным углом прогиба оказывает существенное влияние на величину и характер деформации тонкостенного цилиндра при закреплении.

При этом впервые установлено, что доминирующим фактором, определяющим деформацию заготовки, является расположение пары пружин с наибольшей податливостью.

Анализ окончательной формы обработанного отверстия при различном положении пружин в зажимном приспособлении (рис. 5) показал, что в результате хонингования преимущественно была сформирована конусность отверстия.

Это объясняется тем, что на окончательную форму обработанного отверстия помимо порядка расположения пружин в приспособлении существенное влияние оказывают исходное отклонение его формы, поскольку величина этого отклонения соизмерима с величиной деформации цилиндра при закреплении.

Следовательно, для получения требуемого (направленного) отклонения формы тонкостенного цилиндра следует либо обеспечить минимальное исходное отклонение формы перед операцией хонингования, либо создать при закреплении цилиндра деформацию, превышающую по величине исходное отклонение формы отверстия.



**Рис. 5.** Отклонения формы отверстия (сечение *a-a*) в продольном направлении (*1* – исходное; *2* – после закрепления; *3* – после обработки; *4* – после раскрепления) при различном взаимном расположении пружин: *a* – пружины расположены в порядке увеличения их углов; *б* – пружина с углом  $10^\circ$  расположена посередине; *в* – пружина с углом  $20^\circ$  расположена посередине; *г* – пружины расположены в порядке уменьшения углов

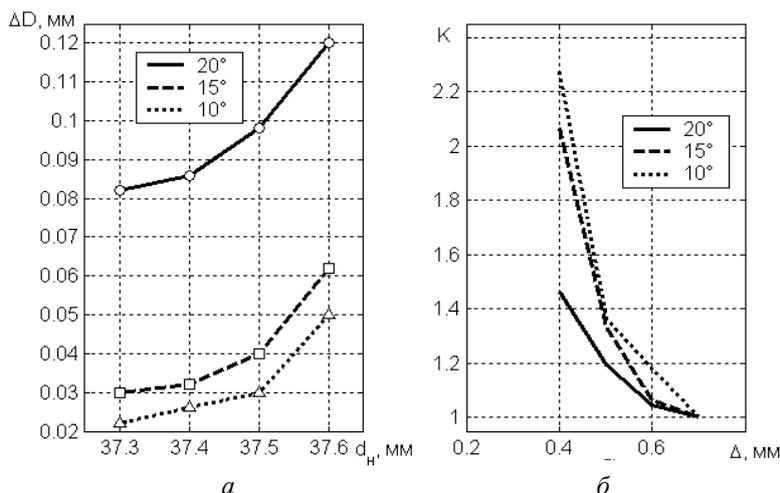
Поскольку, как было установлено ранее, деформация тонкостенного цилиндра при закреплении пружинами связана с выбором зазора  $\Delta$  между его наружной поверхностью заготовки и пружинами, были проведено исследование влияния размера наружного диаметра заготовки  $d_n$ , который определяет величину зазора, на величину деформации цилиндра. Обработке подвергались образцы из сплава Д16Т, диаметр хонингования 34 мм. Результаты этих исследований приведены в табл. 4 и иллюстрированы на рис. 6.

На рис. 6, *a* видно, что уменьшение зазора между зажимными элементами и заготовкой при неизменном усилии зажима приводит к возрастанию деформации последней от действия все пар пружин. Это, очевидно, связано с тем, что уменьшается часть работы деформации пружин, расходуемая на выбор зазора и соответственно увеличивается та часть, которая тратится непосредственно на деформацию заготовки.

Таблица 4

**Влияние размера базовой поверхности на отклонение формы обработанного отверстия**

$d_n$	Сечение	Диаметр отверстия, мм							
		До закрепления		После закрепления		После обработки		После раскрепления	
		<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>	<i>a-a</i>	<i>b-b</i>
37,6	I	0,030	0,038	-0,090	-0,080	0,052	0,058	0,172	0,176
	II	0,032	0,024	-0,030	-0,042	0,056	0,062	0,118	0,128
	III	0,030	0,042	-0,020	-0,010	0,058	0,064	0,108	0,116
37,5	I	0,082	0,078	-0,016	-0,014	0,114	0,114	0,212	0,206
	II	0,088	0,082	0,048	0,040	0,110	0,114	0,150	0,156
	III	0,060	0,068	0,030	0,036	0,106	0,102	0,136	0,134
37,4	I	0,208	0,220	0,122	0,132	0,254	0,258	0,340	0,346
	II	0,230	0,208	0,198	0,176	0,254	0,252	0,286	0,284
	III	0,232	0,200	0,206	0,170	0,250	0,242	0,276	0,272
37,3	I	0,132	0,142	0,050	0,072	0,186	0,188	0,268	0,258
	II	0,138	0,142	0,108	0,110	0,184	0,188	0,214	0,220
	III	0,142	0,148	0,120	0,128	0,184	0,186	0,206	0,206



**Рис. 6.** Влияние размера наружной поверхности тонкостенного цилиндра на его деформацию (а) и величины зазора  $\Delta$  на отношение  $K$  максимальной величины деформации заготовки к минимальной (б)

Однако, как видно на рис. 6, б, наиболее чувствительны к изменению зазора пружины с меньшим углом прогиба: для пружин с углом прогиба  $10^\circ$  и  $15^\circ$  при уменьшении зазора деформация заготовки возрастает более чем в два раза. В то время как для пружины с углом прогиба  $20^\circ$  увеличение деформации не превышает 1,5 раза.

Следовательно, для обеспечения направленной деформации тонкостенного цилиндра при использовании зажимных элементов, выполненных в форме тарельчатых пружин с разным углом прогиба, необходимо обеспечивать высокую точность изготовления базовой поверхности цилиндра, исключив тем самым влияние на его деформацию зазора между ним и пружинами.

## ВЫВОДЫ

1. Одним из направлений повышения долговечности тонкостенных цилиндров, работающих при высоких эксплуатационных нагрузках, является изготовление их отверстий с заранее заданным отклонением формы, чтобы затем в эксплуатационных условиях под действием эксплуатационных нагрузок это отклонение компенсировалось деформацией стенок цилиндра.

Анализ различных подходов к управлению формообразованием обрабатываемого отверстия при хонинговании показал, что получить требуемую макрогеометрию обработанного отверстия на операции хонингования можно, обеспечив направленную деформацию тонкостенного цилиндра при его закреплении в приспособлении.

2. Выполненными экспериментальными исследованиями доказано, что величина и характер деформации тонкостенного цилиндра при закреплении с помощью попарно расположенных тарельчатых пружин с разными углами прогиба зависит от порядка их расположения в приспособлении.

Следовательно, направленную деформацию тонкостенного цилиндра при закреплении можно получить, комбинируя взаимное расположение пар тарельчатых пружин с разными углами прогиба

3. В результате экспериментальных исследований установлено, что доминирующим фактором, определяющим деформацию тонкостенного цилиндра, является расположение пары пружин с наибольшей податливостью.

4. Выявлено, что для обеспечения эффективности применения зажимных элементов, выполненных в форме тарельчатых пружин с разным углом прогиба, с целью получения направленной деформации тонкостенного цилиндра необходимо обеспечивать высокую точность изготовления его базовой поверхности для исключения влияния на деформацию заготовки зазора между ней и зажимными элементами.

5. Установлено, что направленную деформацию тонкостенного цилиндра можно применять также для интенсификации исправления исходного отклонения формы обрабатываемого отверстия при хонинговании. При этом достигаемая минимальная величина отклонения формы зависит от точности изготовления базовой (наружной) поверхности цилиндра и величины зазора между этой поверхностью и пружинами в зажимном приспособлении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Огородов В. А.** Исследование эксплуатационных дефектов тонкостенных цилиндров гидрогазовых аккумуляторов // Комбинированные электроэрозионные-электрохимические методы размерной обработки металлов: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Уфа, 1983. С. 37–38. [[ V. A. Ogorodov, "Study of operational defects of thin-walled cylinders hydro-gas batteries," in *Proc. Conf. "Combined EDM-dimensional electrochemical methods of processing of metals"*, (in Russian), pp. 37-38, Ufa, 1983. ]]
2. **Хонингование:** справ. пособ. / под общ. ред. С. И. Куликова. М.: Машиностроение, 1973. 168 с. [[ S. I. Kulikov (Ed.), *Honing: A Handbook*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1973. ]]
3. **Чеповецкий И. Х.** Основы финишной алмазной обработки. Киев: Наукова думка, 1980. 468 с. [[ I. Kh. Chepovetskii, *Foundations of Finish in Diamond Machining*, (in Russian). Kiev: Naukova Dumka, 1978. ]]
4. **Прогрессивные** методы хонингования / С. И. Куликов, Ф. Ф. Ризванов, В. А. Романчук и др. М. Машиностроение, 1983. 135 с. [[ S. I. Kulikov, et al., *Progressive methods of honing*, (in Russian), Moscow: Mashinostroenie, 1983. ]]
5. **Шапиро Е. М., Пучков М. П.** Зажимное приспособление для хонингования нежестких деталей // Станки и инструмент. 1981, № 10. С. 28. [[ E. M. Shapiro, M. P. Puchkov, "Clamping device for honing a non-rigid parts," (in Russian), in *Machines and tools*, no. 10, pp. 28, 1981. ]]
6. **А. с. 764956** (СССР). Хонинговальная головка / В. А. Романчук, Ф. Н. Сигаев. Оpubл. в БИ, 1980, № 35. [[ V. A. Romanchuk, F. N. Sigaev, *Honing head*, sert. no. 764956 (USSR), 1980. ]]
7. **Акмаев О. К.** Устранение изогнутости оси отверстия при прецизионном хонинговании // СТИН. 2007. № 7. С. 21–25. [[ V. A. Akmaev, "Elimination of curvature of the axis of the hole for precision honing," (in Russian), in *STIN*, no. 7, pp. 21-25, 2007. ]]
8. **Огородов В. А.** Имитационное моделирование процесса хонингования // СТИН. 2010. № 12. С. 28–33. [[ V. A. Ogorodov, "Simulation of honing," (in Russian), in *STIN*, no. 12, pp. 28-33, 2010. ]]
9. **Горошкин А. К.** Приспособления для металлорежущих станков: справочник. М.: Машиностроение, 1979. 303 с. [[ A. K. Goroshkin, *Accessories for machine tools: Spravochnoe posobie*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1979. ]]

## ОБ АВТОРЕ

**ОГОРОДОВ Владимир Алексеевич**, доц. каф. автоматиз. технологич. процессов. Дипл. инж.-мех. (Уфимск. авиац. ин-т, 1975). Канд. техн. наук по технол. пр-ва ЛА (КАИ, 1985). Иссл. в обл. хонингования.

## METADATA

**Title:** Research of of the possibility to control the shape of the machined hole at honing.

**Author:** V. A. Ogorodov.

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** semper\_novi@mail.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU, vol. 19, no. 2 (68), pp. 26-34, 2015. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The results of experimental researches of possibility of reception of the given macro geometry hole thin-walled cylinder during honing by means of directed deformation of the work piece when the clamping fixture by means of elastic elements made in the form of Belleville springs.

**Keywords:** thin-walled cylinder; hole deviation; clamping device; control strain while fixing; Belleville spring.

**About author:**

**OGORODOV, Vladimir Alekseevich**, Prof., Dept. of Aviation Technology. Dipl. engineer-mechanic (Ufa Aviation Institute, 1975). Cand. of Tech. Sci. (KAI, 1985).