

Таким образом, контактные напряжения, как и нагрузка, распределяются по длине ролика неравномерно. Коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине ролика при отношении его длины к диаметру не менее 2,5 достигает 1,5 и более, что следует учитывать при расчете механизма на прочность.

#### Библиографические ссылки

1. Кудрявцев В. Н. Планетарные передачи. – Л. : Машиностроение, 1966. – 307 с.

2. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н., Гинзбург Е. Г. Планетарные передачи : справочник. – Л. : Машиностроение, 1977. – 563 с.

3. Пат. № 2460917, РФ, МПК F16H 1/32. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов, А. В. Овсянников. – Опубл. 10.09.2012, бюл. № 25.

4. Плеханов Ф. И., Овсянников А. В. Исследование распределения нагрузки по длине ролика зубчато-роликковой планетарной передачи // Вестник машиностроения. – 2011. – № 3. – С. 12–14.

5. Сызранцев В. Н., Сызранцева К. В. Расчет напряженно-деформированного состояния деталей методами конечных и граничных элементов : монография. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2000. – 111 с.

Получено 01.07.2016

УДК 621.9.015-187

А. А. Вольтский, АО «Пермский научно-исследовательский технологический институт»

А. М. Тихонов, АО «Пермский научно-исследовательский технологический институт»

И. Б. Шендеров, доктор технических наук, АО «Пермский научно-исследовательский технологический институт»

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЧНЫХ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В производстве встречаются трубные изделия (готовые детали и заготовки-полуфабрикаты) с высокими требованиями к качеству выполнения внутренней и наружной поверхностей, постоянству толщины стенки, но вполне приемлемыми допусками цилиндрической средней линии цилиндрической поверхности. Полуфабрикаты с такими свойствами могут использоваться, например, для дальнейшей прокатки при изготовлении тонкостенных труб. Готовые детали с такими свойствами, в том числе длинномерные детали с цилиндрической внутренней поверхностью и наружной поверхностью, имеющей периодический продольный профиль, выполняющий функции силовых и (или) дистанцирующих элементов, применяются в энергооборудовании. Если допуск толщины стенки существенно (в несколько раз и более) превышает допуск прямолинейности средней линии (оси) поверхности, то задача изготовления такой детали становится достаточно сложной. В настоящей статье представлены результаты отработки интерактивной технологии изготовления – технологического процесса, периодически прерываемого для проведения измерений и адаптации, на основе результатов измерений, условий обработки, включая переустановку и выверку заготовки в станке к достигнутому на время останова качеству изготовления.

Для моделирования технологии изготовления деталей точением была выбрана условная заготовка со сложной «винтовой» формой отклонения реальной оси обработанной внутренней поверхности от прямолинейности. Отклонение реальной оси [1] внутренней поверхности заготовки от прямой, соеди-

няющей геометрические центры торцевых сечений заготовки, показано на рис. 1. На рис. 2 изображен годограф отклонения от прямолинейности – проекция реальной оси на торцевую плоскость.

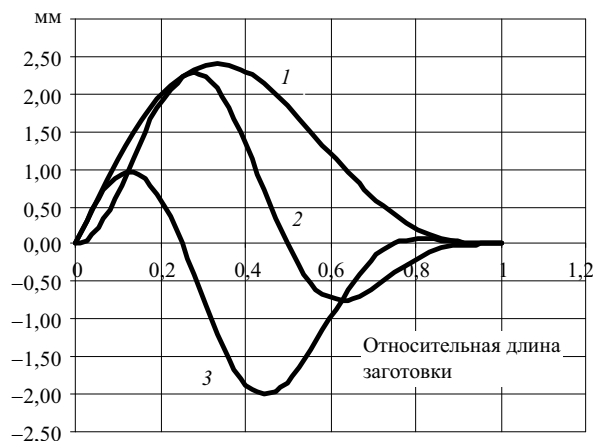


Рис. 1. Отклонение от прямолинейности реальной оси внутренней поверхности заготовки: 1 – общее отклонение; 2, 3 – проекции на две взаимно перпендикулярные плоскости

Обработка наружной поверхности подобных заготовок для получения деталей с требуемым ограничением разнотолщинности стенки проводится с установкой заготовки в люнетах станка: либо в роликовых люнетах по заранее выполненным на заготовке равнотолщинным поясам [2], либо в кольцевых люнетах с выверкой заготовки по центрам сечений внутренней поверхности. Если используют роликовые люнеты, то равнотолщинные пояски

на заготовке выполняют с использованием или кольцевого люнета, или специальной муфты [3], позволяющей смещать центр сечения наружной поверхности заготовки относительно оси токарного станка.

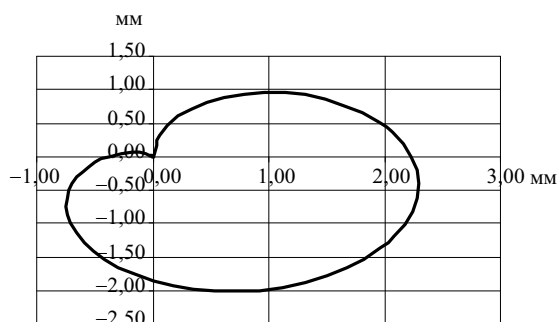


Рис. 2. Проекция реальной оси внутренней поверхности заготовки на торцевую плоскость

Заготовки с отклонением от прямолинейности, подобным рис. 1, сложны в производстве: в табл. 1 приведены ожидаемые результаты обработки с установкой заготовки в четырехручачковом патроне (с выверкой по прилегающему к патрону равнотолщинному пояску), на центре задней бабке станка и в промежуточном люнете (на равнотолщинном пояске).

Таблица 1. Наибольшее по длине 7-метровой заготовки смещение оси внутренней поверхности при установке заготовки в патроне, на центре задней бабки и в люнете

Расстояние люнета от патрона, мм	Наибольшее отклонение оси внутренней поверхности заготовки от оси станка, мм
1000	4,10
1500	3,73
2000	3,25
2500	2,69
3000	2,12
3500	2,49
4000	2,74
4500	2,85
5000	2,84
5500	2,73
6000	2,58

Видно, что подобная установка заготовки не приводит к требуемому результату. Поставленная задача может быть решена только при установке заготовки в несколько люнетов по равнотолщинным пояскам (или в кольцевых люнетах). Минимальное количество люнетов может быть определено после измерений заготовки с расточенным отверстием.

В табл. 2 показана зависимость максимального по длине заготовки отклонения реальной оси внутренней поверхности заготовки, установленной по равнотолщинным опорным пояскам в несколько роликовых люнетов, установленных на станине станка равномерно по длине заготовки. При точении установленной таким способом заготовки удвоенное значение, приведенное в табл. 2, – это минимальное значение

разнотолщинности стенки, которое может быть получено на практике.

Таблица 2. Наибольшее по длине заготовки смещение оси внутренней поверхности при установке заготовки в патроне, на центре задней бабки и в люнетах

Количество люнетов, шт.	Наибольшее отклонение оси внутренней поверхности заготовки от оси станка, мм
0	2,40
1	2,58
2	1,69
3	0,94
4	0,51
5	0,31
6	0,20
7	0,14
8	0,11
9	0,08

Поскольку увеличение числа используемых люнетов затратно, влечет за собой повышение трудоемкости и ограничено возможностью роста силовой нагрузки на заготовку, повышается роль измерений в процессе освоения продукции и в действующем производстве. Оптимизацией базирования заготовки в станке, выполненной на основе расчета и моделирования, требуемое качество изготовления может быть достигнуто при меньших затратах.

На рис. 3 приведены результаты моделирования точения заготовки с характеристиками, соответствующими рис. 1, по технологии [4]. Все расчеты проводились без учета погрешности выполнения равнотолщинных поясков, погрешностей установки и с использованием уравнений упругой деформации, полученных на основе гипотезы плоских сечений.

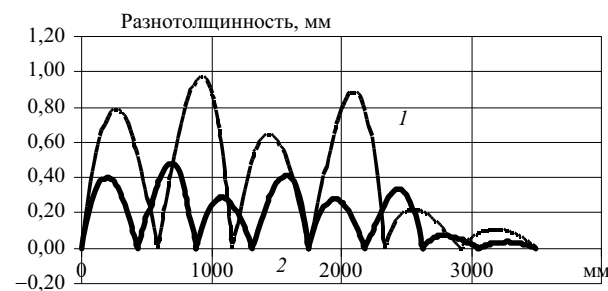


Рис. 3. Моделирование обработки заготовки по технологии [4]: 1 – с 3 опорными и 4 контрольными равностенными поясками; 2 – с 4 опорными и 5 контрольными поясками

На рис. 4 и 5 приведены результаты изготовления опытных партий труб с высокими требованиями к постоянству толщины стенки:

1) трубы  $\varnothing 52 \times 8,5 \times 3500$  из стали 38ХМЮА, отклонение средней линии наружной поверхности от прямолинейности – от 1,5 до 4,9 мм. Разнотолщинность после изготовления по предложенному способу – от 0,3 до 0,6 мм, не коррелирует с исходным отклонением от прямолинейности средней линии наружной поверхности. Расточенные заготовки точили на станке мод. 1М63, толщину стенки измеряли ультразвуковым толщиномером с ценой деления

0,1 мм, непрямолинейность оси отверстия рассчитывали по биению наружной поверхности и толщине стенки заготовки. Перед точением на заготовке были проточены равнотолщинные пояски – для установки заготовки в люнеты и для контроля наружного биения посреди расстояния между люнетами в соответствии с технологией [5];

2) труба длиной 7300 мм, с внутренним диаметром 400 мм, толщиной стенки  $\times 3,2 \pm 0,2$  мм, местными ребрами-утолщениями  $\varnothing 408$  мм, из сплава АМГ6.

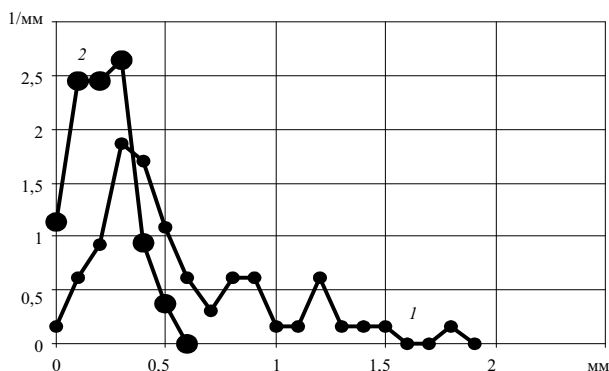


Рис. 4. Гистограмма распределения величины разнотолщинности трубных заготовок после точения по разным технологиям, трубы  $\varnothing 52 \times 8,5 \times 3500$ : 1 – традиционная технология (65 измерений); 2 – технология [4] (53 измерения)

В обоих случаях разработанные технологические решения позволили создать технологию, обеспечивающую получение продукции с заданными характеристиками.

В серийной технологии станки могут быть оснащены кольцевыми (вертлюжными) люнетами, а выверка заготовок на станке может производиться с использованием приборов типа «Центр-6» производства АО «ПНИТИ» (комбинированный прибор с линейными и ультразвуковыми измерениями и контроллером для расчета необходимых смещений заготовки). Предварительное измерение отклонения внутренней оси от прямолинейности заготовок с диаметром отверстия от 100 до 200 мм может выполняться приборами типа «Визит-1М» (производство АО «ПНИТИ» на основе [7]) и «Пика» (производство ООО «НПП «Пика», г. Пермь, на основе [8]).

Получено 29.07.2016

Исходная заготовка – труба  $\varnothing 440 \times 30$  мм, отклонение средней линии наружной поверхности от прямолинейности – 2,4 мм. Заготовки растачивали на горизонтальном сверлильно-расточном станке РТ-402 на растяжение расточными головками [6] Толщину стенки измеряли ультразвуковым толщиномером мод. УТ-301. Точили заготовки, установленные равнотолщинными поясками в 5 неподвижных роликовых люнетах, на универсальном токарно-винторезном станке мод. 1658.

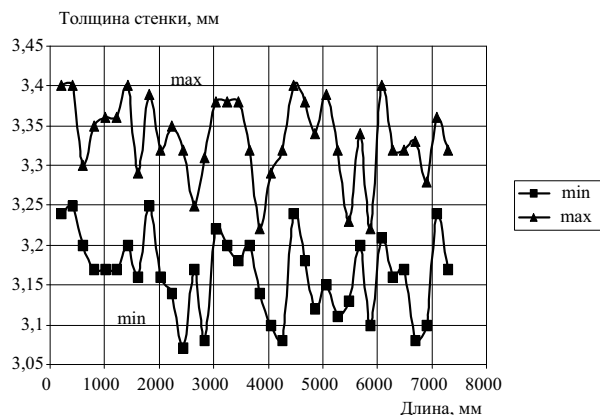


Рис. 5. Значения толщины стенки в поперечных сечениях трубной заготовки  $\varnothing 400$  (внутр.) $\times 3,2 \times 7300$

#### Библиографические ссылки

1. Шендеров И. Б. Статистически обоснованная оценка прямолинейности оси длинномерных деталей // Вестник машиностроения. – 2005. – № 3. – С. 17–20.
2. Пат. 2055701 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В23В1/00. Способ механической обработки прецизионных длинномерных труб / И. Б. Шендеров; 92012629/08; заявл. 16.12.1992; опубл. 10.03.1996.
3. Там же.
4. Там же.
5. Там же.
6. Пат. 2014172 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В23В29/03. Расточная головка / В. С. Приземирский, А. А. Волынский, Р. А. Хисамутдинов; 5022807/08; заявл. 16.01.1992; опубл. 15.06.1994.
7. Пат. 2042106 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G01В7/34. Устройство для размеротрии / В. В. Богатырев, И. С. Лебедев, С. В. Сократов, И. И. Сыромятников; 5048536/28; заявл. 18.06.1992; опубл. 20.08.1995.
8. Пат. 2075884 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G01В11/24. Устройство для измерения отклонений от прямолинейности / А. В. Соколов, М. Д. Вяткин; 93048615/28; заявл. 21.10.1993; опубл. 20.03.1997.