

## К ВОПРОСУ О ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОРШНЯ

*А.В. Белогуб, канд. техн. наук, главный конструктор, О.А. Солоха, зам. главного конструктора,*

*А.Г. Щербина, ведущий конструктор, А.С. Стрибуль, конструктор, ОАО «АВТРАМАТ»,*

*Ю.А. Гусев, канд. техн. наук, доцент,*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина*

Постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. При обработке тонкостенных поршней в условиях массового производства существует проблема возникновения брака по отклонению формы внешней поверхности юбки поршня. В ОАО «АВТРАМАТ» брак по указанным видам достигал 4 - 5%. Причем систематических причин, связанной с внешними условиями (качество сплава, локальная твердость поверхности, сезонность) установлено не было. Брак носил случайный характер.

Анализ нерешенных проблем. Проанализировав ситуацию и обратившись к источникам, мы не обнаружили в доступной литературе ответов на интересующие вопросы, связанные с периодическим возникновением брака при видимых равных условиях. Более подробное рассмотрение существующей технологии обработки внешней поверхности – по объемному копиру точением показало, что причиной возникновения брака могут быть конструктивно-технологические особенности формообразования и фиксации поршня на этой операции.

Цель исследования. Целью настоящего исследования являлась получение рекомендаций для снижения брака по форме внешней поверхности.

### Внешняя поверхность

На рис. 1 показана схема, по которой проводится обработка внешней поверхности – копирное точение. Разобьем представленную технологию на 2 подраздела, изучение которых будем проводить независимо. 1-й из них – особенности геометрического получения поверхности поршня при помощи копирного приспособления и 2-й – деформация поршня при фиксировании на оправке.

По 1-му подразделу отклонения формы поршня могут возникнуть вследствие следующих причин:

- износа щупа;
- изменения передаточного отношения в процессе наладки;
- изменения передаточного отношения в процессе точения.

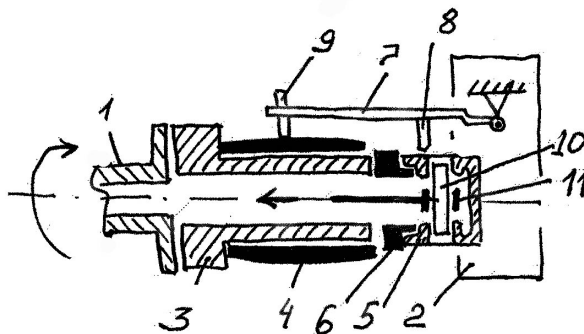


Рис. 1. Схема копирной обточки поршня

- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| 1 - шпиндель,       | 7 - рычаг,                  |
| 2 - суппорт,        | 8 - резец,                  |
| 3 - оправка,        | 9 - щуп,                    |
| 4 - копир,          | 10 - технологический палец, |
| 5 - поршень,        | 11 - тяга                   |
| 6 - базовое кольцо, |                             |

*Износ щупа.* В процессе конструирования копира щуп принимается с плоской вершиной (рис. 2), а поверхность копира – как огибающая его вершин при фиксированном передаточном отношении «копир-поршень» - 4,28, но в процессе работы он (щуп) приобретает некоторую форму (Рис.3), причем для каждого поршня форма «работавшего» щупа различна. Форма щупа на рис. 3 рассчитана для копира поршня ВА3 2105 по предложенной ниже методике и построена таким образом, что масштаб отклонений точек рабочей поверхности в вертикальном направлении в 10 раз больше масштаба остальных частей рисунка для большей наглядности.

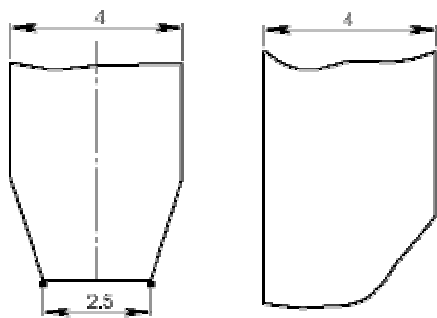


Рис. 2. Форма щупа, принимаемая при расчете копира

Рис. 3. Рассчитанная форма щупа

Если предположить, что сила прижатия щупа к копиру во время обработки постоянна и постоянна скорость вращения копира, а износ пропорционален работе трения, то можно спрогнозировать форму «работавшего» щупа выполнив несложные действия и далее построить копир, как огибающую рассчитанной формы. При этом отклонения на поршне от рассчитанных для формы копира по рис. 2 в районе донца могут достигнуть 13 мкм, а на юбке в районе максимальной эллипсности – 4 мкм. Причем, если отклонение бочки поршня можно устранить программно (станок с ЧПУ), задав дополнительно перемещение суппорта станка в зависимости от перемещения резца в направлении оси шпинделя, то отклонение от эллипсности устранить невозможно, так как станок не отслеживает угол поворота шпинделя.

Для устранения указанной погрешности нами предложена следующая методика определения формы контактной поверхности щупа.

Производится построение формы боковой поверхности копира исходя из условия «острого» щупа и постоянного передаточного отношения (в данном случае изменение передаточного отношения не принципиально), определяются минимальный (с учетом знака) и максимальный угол наклона поверхности копира к оси вращения. Далее, полученный диапазон углов разбивается, например, на 10 поддиапазонов и находится процент длины копира, попадающей в каждый из поддиапазонов, после чего производится построение щупа таким образом, чтобы его контактная поверхность состояла из участков с угла-

ми наклона, соответствующими серединам поддиапазонов и длинами, соответствующими найденному процентному соотношению. Пример формы контактной поверхности построенного таким образом щупа показан на рис. 3.

*Изменение передаточного отношения в процессе наладки.* В результате того, что конструктивно невозможно выполнить копирное приспособление таким образом, чтобы ось вращения рычага, режущая кромка резца и точка контакта копир-щуп находились на одной линии, передаточное отношение будет изменяться в зависимости от угла поворота рычага. Очевидно, что изменение указанного отношения в процессе наладки и точения тем меньше, чем больше длина рычагов по сравнению с вылетом щупа или резца (рис. 4). Поскольку копир проектируется с учетом передаточного отношения, исследуем погрешности, возникающие при реальных геометрических параметрах приспособления.

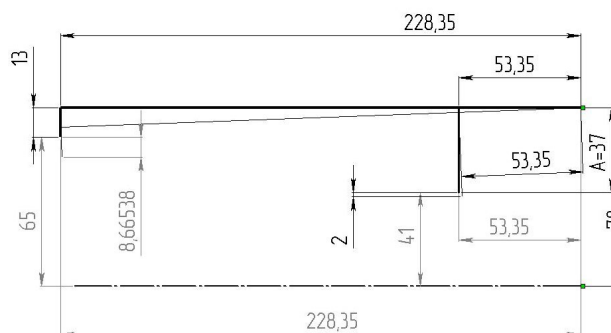


Рис. 4. Кинематическая схема рычага копирного приспособления

*Изменение передаточного отношения в процессе наладки и точения.* Методически получение этого отклонения не отличается от предыдущего и связано с тем, что поршень имеет овальность – рычаг копирного приспособления качается в пределах, заданных этой овальностью, причем начальное положение рычага не обязательно горизонтальное и зависит от наладки. На рис. 4 показаны два положения рычага, первое положение – горизонтальное, а второе таково, что перемещение режущей кромки резца составляет 2 мм. Можно посчитать действительное передаточное отношение для заданного перемещения резца  $8,665/2 = 4,3325$ , что значительно отличается от за-

данного 4,28. В таблицу 1 сведены результаты расчетов передаточных отношений для других перемещений при разном вылете резца. Допустим, за счет неправильной настройки отклонение положения режущей кромки резца в нулевом положении составляет 2 мм от того, которое она занимала бы при горизонтальном положении рычага. Тогда по таблице максимального рабочего хода резца, составляющего 0,3 мм отклонение формы поршня  $32,22 - 24,32 = 7,9$  мкм - значительно больше допуска, равного  $\pm 3$  мкм.

Таблица 1

Перемещение резца, мм	Перемещение шупа, мм	Реальное передаточное отношение	Перемещение шупа при $k = 4,28$	Разность реального и ожидаемого перемещений резца, мкм
A=37				
0,1	0,4283	4,28268	0,428	-0,06
0,3	1,286	4,28787	1,284	-0,55
0,4	1,716	4,29050	1,712	-0,98
0,7	3,009	4,29826	2,996	-2,97
2	8,665	4,33269	8,56	-24,32
2,3	9,984	4,34081	9,844	-32,22
A=67				
0,3	1,288	4,29323	1,284	-0,92
0,5	2,151	4,30190	2,14	-2,55

При изменении размера «А» все вышеуказанные эффекты еще более заметны. В таблице для сравнения приведены значения для  $A = 67$  мм. Изменение размера «А» возможно, так как все приспособление перемещается вместе с суппортом и этот размер зависит от длины резца и радиуса поршня.

Второй вариант – когда положение резца правильно настроено на второй ремонтный размер, а обрабатывается поршень номинального размера, тогда на номинальном диаметре резец уже имеет отклонение 0,4 мм (полуразность номинальных диаметров поршней второго ремонтного и номинального размеров), а при максимальном рабочем ходе отклонение – 0,7 мм. Тогда отклонение формы поршня от расчетной равно  $2,97 - 0,98 = 1,99$  мкм. Размер в поле

допуска еще попадает, но отклонение сравнимо с шириной поля допуска, и это без учета других погрешностей.

При правильной настройке изменение передаточного отношения в процессе точения не оказывает такого существенного влияния, то есть отклонения формы поршня, получаемые в результате не учета его изменения меньше поля допуска, однако и в данном случае полезно учесть данный факт, так как погрешности имеют порядок допуска и при неблагоприятном сложении с другими, случайными погрешностями могут привести к выходу размера за пределы поля допуска, то есть к браку.

Кроме того, передаточное отношение переменное вдоль длины шупа. То есть, приведенные в таблице значения справедливы только для середины шупа. Так, для рабочего хода резца 0,3 мм добавка к изменению координат крайних точек шупа шириной 4 мм составляет около 11 мкм, в пересчете на отклонение формы поршня (то есть после деления на передаточное отношение 4,28) получаем около 2,3 мкм.

*Предлагаемая методика* построения копира заключается в следующем. Поверхности копира и рассчитанного предварительно шупа разбиваются вдоль оси вращения копира с определенным, достаточно мелким, шагом, допустим 0,1 мм. На начальном этапе расчета все точки копира имеют одинаковую радиальную координату равную номинальному, то есть максимальному, радиусу. После этого производится перемещение шупа вдоль копира с тем же шагом, с каким было произведено разбиение. В каждой точке определяется положение шупа с учетом всех вышеизложенных факторов, а значит и координаты всех его точек разбиения. При этом производится сравнение координат R каждой точки шупа и соответствующей ей, то есть с той же координатой x, на данном шаге точки копира. В случае, если координата R у точки копира больше, она уменьшается до координаты соответствующей точки шупа. То есть это можно представить так, как будто копир «обрезается» шупом,двигающимся по заданной траектории. Хотя метод не является оптимальным с точки зрения скорости расчета, он оправдан из-за простоты его реализации, учитывая, что затраты машинного времени на один

расчет порядка секунд (в зависимости от ЭВМ). Сегодня все копиры проектируются именно так.

По 2-му подразделу исследования – отклонения формы могут возникнуть при деформации поршня в зафиксированном при точении состоянии. На рис. 5 приведена схема фиксации.

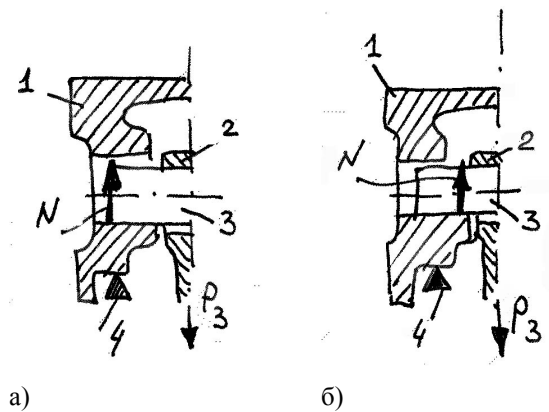


Рис. 5. Схема нагружения поршня при фиксировании во время копирной обточка

- 1 – поршень,
- 2 – тяга,
- 3 – технологический палец,
- 4 – база,
- $P_3$  – усилие затяжки,
- $N$  – реакция на пальце

Из схемы видно, что возможны 2 неблагоприятных случая силового нагружения поршня – технологический палец опирается на бобышки поршня своими внешними краями (рис. 5, а) или опирается на них внутри бобышек (рис. 5, б). Для дальнейших исследований были построены 3-х мерные твердотельные модели наиболее «браконосных» моделей поршней и рассчитаны деформации методом конечных элементов в одном из известных пакетов. На рис.6 показаны деформации поршня при затяжке силой в 1000 Н при опирании пальца как на рис. 5, б. Деформация юбки вдоль оси пальца достигает 4,5 мкм, поперек оси – 3,6 мкм. Искажение формы эллипса – 8,1 мкм. Опирание как на рис. 5, а приводит к меньше деформированию поршня и сама деформация меняет знак. Наименьшая деформация ~0,3 - 0,5 мкм получается при приложении усилия технологического пальца в центре тяжести сечения опирания поршня на базовое кольцо (рис. 1). Сегодня технологические пальцы изготавливаются не цилиндрические, а состоящие из 3-х сфер, крайние опираются на бобышки, а на среднюю – тяга.

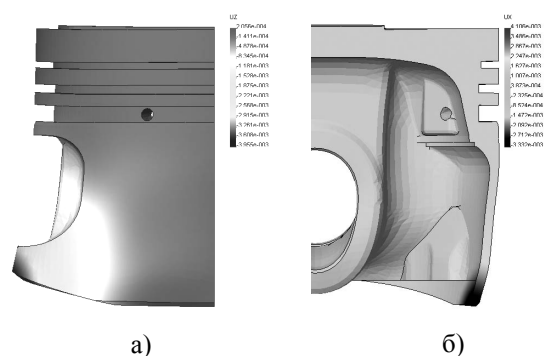


Рис. 6. Деформация поршня при фиксировании на операции «копирная обточка». Масштаб 1500:1

В таблице 2 сведены данные по проведенной работе. Несложно подсчитать, что при стечении неблагоприятных факторов изменение формы может достичь 18 мкм при допуске по группе ВА3 –  $\pm 3$  мкм.

Таблица 2

Копир с плоским щупом	4 мкм
Наладка «щуп-резец»	2 мкм
Изменение передаточного отношения в процессе операции точения	0,5 мкм
Поворот щупа	2,3 мкм
Деформация юбки при зажиме	8,1 мкм

Перспективы дальнейших исследований. Проведенные исследования показали, что геометрия внешней поверхности существенно (в пределах допуска на обработку) зависит от технологии ее получения. В нашем исследовании не учтен тот факт, что слой снимаемого материала при копирной обточке переменный, а, значит, переменна и сила резания. Учет данного факта позволит внести дополнительную коррекцию в форму копира.

Выводы. Проведенное исследование позволило выяснить ряд факторов, влияющих на возникновение брака и предложить методику проектирования копира для обработки внешней поверхности, учитывающую особенности применяемых приспособлений и технологий. Внесены конструктивные изменения в приспособление базирования и фиксации поршня на операции «копирная обточка». Рассматриваемый вид брака был существенно снижен.

Поступила в редакцию 12.06.03

**Рецензенты:** зам. технического директора В.А. Екимов, ОАО «АВТРАМАТ», г. Харьков; д-р техн. наук, профессор В.Н. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.