

дачи в плоскостях, касательных к соосному с винтовой поверхностью круговому цилиндру, радиус которого

$$R_0 \geq r \sin(\arctg \frac{H}{2\pi\rho}) + \sqrt{2r\Delta - \Delta^2} \cos(\arctg \frac{H}{2\pi r}). \quad (6)$$

Из (6) следует, что  $H/(2\pi\rho\Delta) - R_0 \approx r$  для практических значений  $r$ . Для косо-го геликоида  $R_0$  должен определяться с учетом координаты точки перегиба, согласно уравнению (5).

При обработке со смещением  $R_0$  выпуклым инструментом на всей длине строчек образующие элементарной и проектной поверхностей имеют в зоне их контакта кривизну противоположных знаков (рис. 3, а) и в большей степени приближаются друг к другу, чем при распространенной схеме обработки с перемещением инструмента в плоскостях, проходящих через ось геликоида, так как в последнем случае эти образующие имеют кривизну одного знака. В результате, как следует из (3), при одинаковой ширине строчки, т. е. без потери производительности, уменьшается высота межстрочечных гребней.

Высокая точность формообразования сложных поверхностей малой кривизны достигается, как следует из (2), при прямолинейных образующих элементарных поверхностей, что соответствует обработке коническими и цилиндрическими инструментами. Анализ геометрии прямого и косо-го геликоидов и выражений (4) и (5) показывает возможность обработки их такими инструментами (рис. 3, б). В общем случае точка контакта образующей инструментальной поверхности должна отстоять от точки перегиба  $C$  плоского сечения проектной поверхности на расстоянии, равном половине ширины инструмента, что обеспечивается его перемещением при обработке всей поверхности по касательной к соосному с винтовой поверхностью круговому цилиндру соответствующего радиуса.

Таким образом, исследование геометрии заданной поверхности позволяет выявить возможные для нее сочетания образующих элементарных и проектной поверхностей и выбрать из них рациональное сочетание по критериям производительности и точности формообразования.

УДК 621.924.93

А.Н.МАРТЫНОВ, д-р техн.наук,  
О.Ф.ПШЕНИЧНЫЙ, канд.техн.наук,  
В.А.СКРЯБИН (ППИ)

### ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НАРУЖНОГО ПРОФИЛЯ ДЕТАЛЕЙ НЕЗАКРЕПЛЕННЫМИ АБРАЗИВНЫМИ ЗЕРНАМИ

Для полирования наружных поверхностей нежестких тонкостенных деталей типа колец, втулок, цилиндров со сложной формой поверхности наиболее приемлемой является обработка незакрепленными абразивными зёрнами, уплотненными инерционными силами. Сущность этого способа обработки заключается в следующем. Гидроабразивную суспензию струйным насосом 1 (рис. 1) подают в барабан 2, вращающийся вокруг центральной оси с угловой

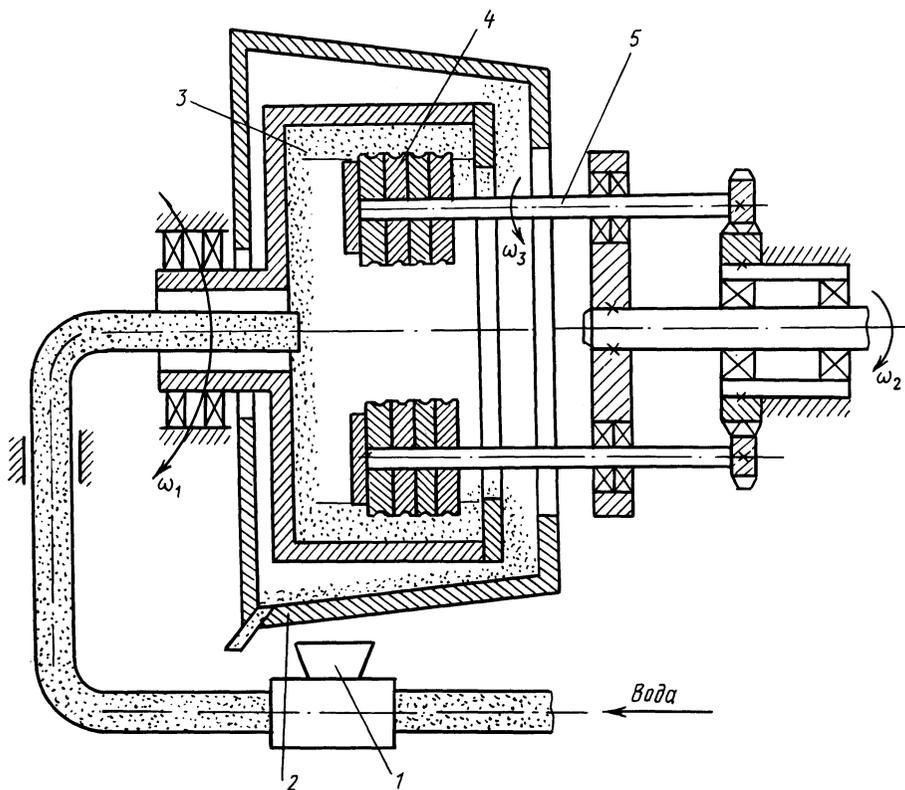


Рис. 1. Схема обработки наружного профиля деталей абразивом, уплотненным инерционными силами

скоростью  $\omega_1$ . Под действием инерционных сил суспензия трансформируется в уплотненный гидроабразивный слой 3, покрывающий внутреннюю поверхность барабана. Обрабатываемые детали 4 устанавливают и закрепляют на оправках 5, которым сообщают планетарное движение, слагающееся из вращения их вокруг центробежной оси с угловой скоростью  $\omega_2$  и вокруг собственных осей с угловой скоростью  $\omega_3$ . Разность угловых скоростей  $\omega_1$  и  $\omega_2$  составляет 1...3 рад/с. При относительном движении уплотненного гидроабразивного слоя и погруженных в него деталей происходит эффективная обработка наружного профиля последних. За время обработки ( $t = 3...5$  мин) партии деталей ( $n = 60$  шт.) в центробежно-планетарной установке параметр шероховатости их поверхности снижается с  $Ra\ 2,5...1,25$  до  $Ra\ 0,2...0,1$ . Поверхностные слои приобретают умеренное деформационное упрочнение (120...125%) и сжимающие остаточные напряжения, достигающие у поверхности детали 450...550 МПа.

Качество деталей также характеризуется точностью их изготовления по отношению к заданным размерам. Экспериментальное исследование точности обработки наружного профиля в поперечном сечении деталей производилось сравнением профилей необработанных и обработанных колец. Для этого из од-

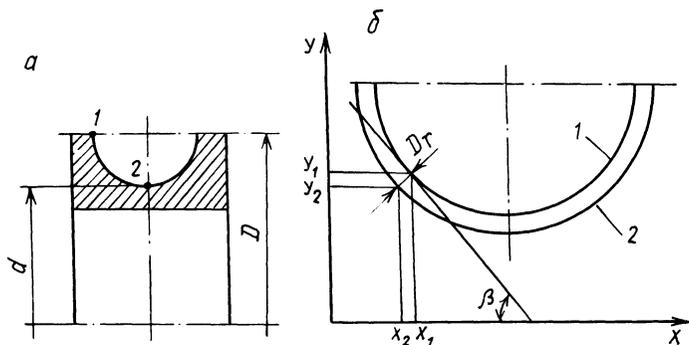


Рис. 2. К определению неравномерности съема металла с различных участков профиля: а – профиль обрабатываемой детали; б – схема измерения

ного прутка была изготовлена партия колец, обработанных одним фасонным резцом и прошедших термообработку в одинаковых условиях. Перепад высот наружного профиля составлял  $D/2 - d/2 = 10$  мм (рис. 2). Перед абразивной обработкой кольца устанавливали на оправку и на универсальном измерительном микроскопе УИМ-21 определяли в прямоугольных координатах положения точек профиля относительно базовой поверхности. Обработку колец производили по двум схемам: с планетарным движением и с простым вращением деталей.

После абразивной обработки снова определяли положения точек профиля поверхностей. Оценку неравномерности съема припуска производили по параметру  $N_{\min}$  – кратчайшему расстоянию между необработанным и обработанным профилями в различных точках (табл. 1).

Планетарное движение деталей обеспечивает достаточно равномерный съем металла по всему профилю обрабатываемой поверхности. Разность в величинах съема на выступающих участках профиля и во впадинах для заданных размеров деталей ( $D = 70$  мм) не превышает 2,5 мкм, т. е. 5 %. При обработке по второй схеме более интенсивному абразивному воздействию подвергаются выступающие участки профиля. В этом случае неравномерность съема достигает 38 мкм, или 26 %.

Неравномерность съема металла с различных участков профиля, очевидно, зависит от соотношения внешних сил, возникающих при взаимодействии детали с уплотненным гидроабразивным слоем и действующих на выступающие участки и во впадинах. Чем меньше разность этих сил, тем выше степень копи-

Таблица 1

| Схема обработки                    | Угол наклона касательной $\beta$ , рад (град) |              |              |              |
|------------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|
|                                    | 0   | 0,52<br>(30) | 1,05<br>(60) | 1,57<br>(90) |
| С планетарным движением<br>деталей | 48,5  | 49,3         | 50,2         | 51           |
| С простым вращением<br>деталей     | 110   | 122          | 136          | 148          |

рования исходного профиля. Теоретическими исследованиями установлено, что суммарная сила воздействия  $P$  уплотненного гидроабразивного слоя складывается из гидродинамической силы  $P_1$ , возникающей при обтекании поверхности детали, и гидродинамической силы  $P_2$ , обусловленной наличием в потоке избыточного давления от действия инерционных сил:

$$P = P_1 + P_2 = \rho r_1 \left\{ \frac{[(\omega_2 - \omega_1)R_1 + \omega_3 r_1]^2}{4} [\pi - 2\alpha_1 - \sin(2\alpha_1)] + g \left( \frac{\omega_1^2 R_2^2}{2g} - 6H \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) \right\},$$

где  $\rho$  — плотность гидроабразивного слоя;  $r_1$  — радиус наружной поверхности обрабатываемого кольца;  $R_1$  — радиус водила;  $\alpha_1 = \arcsin(1 - \delta/r_1)$  — полярный угол;  $R_2$  — геометрический параметр, зависящий от размеров барабана;  $H$  — высота барабана.

Выполненные расчеты показали, что суммарная сила воздействия гидроабразивного слоя на выступающий участок профиля кольца  $P_{\text{выс}} = 5762$  Н/м и во впадине  $P_{\text{вп}} = 4818$  Н/м, а  $\Delta P = 944$  Н/м. При обработке по схеме с простым вращением детали  $P'_{\text{выс}} = 36\,922$  Н/м,  $P'_{\text{вп}} = 31\,921$  Н/м и  $\Delta P = 5001$  Н/м. Расчеты выполнялись для следующих технологических режимов и условий обработки:  $\rho = 3 \cdot 10 \text{ кг/м}^3$ ;  $r_1 = 0,035$  м;  $\omega_1 = 47$  рад/с;  $\omega_2 = 49$  рад/с;  $R_1 = 0,155$  м;  $\omega_3 = 200$  рад/с;  $\alpha_1 = 30^\circ$ ;  $R_2 = 0,19$  м;  $H = 0,06$  м. Следовательно, меньшее искажение профиля детали при ее планетарном движении объясняется тем, что в этом случае достигается относительно равномерное воздействие уплотненного гидроабразивного слоя на различные участки профиля обрабатываемой детали. Кроме того, наличие планетарного движения обуславливает безударный характер взаимодействия детали с уплотненным гидроабразивным слоем, что также способствует уменьшению искажения обрабатываемого профиля.

Точность обработки деталей характеризуется не только равномерностью съема металла с различных участков профиля, но и характером съема в продольном сечении. Исследование изменения макрогеометрии поверхности деталей производилось на внутренних кольцах подшипников качения после опера-

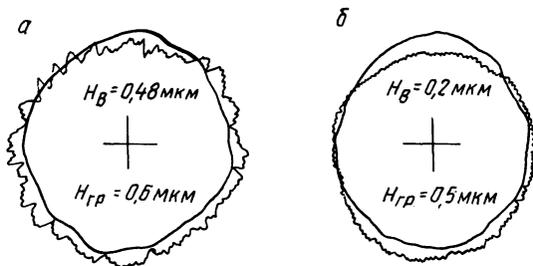


Рис. 3. Волнистость и огранка при обработке деталей уплотненным абразивом: а — до обработки; б — после обработки

ции окончательного шлифования. Кольца, изготовленные из стали ШХ15, после термообработки имели твердость 60...62 HRC<sub>3</sub>. Перед обработкой на приборе ТАЛИРОНД-51 были измерены волнистость и огранка поверхности. После обработки колец при указанных выше режимах вновь производили измерения перечисленных параметров. Анализ записанных круглограмм показал, что в результате обработки высота волнистости поверхности снижается приблизительно вдвое: с  $W = 0,24...0,86$  мкм до  $W = 0,16...0,42$  мкм (рис. 3), а огранка практически не изменяется (с  $H_{гр} = 0,6$  мкм до  $H_{гр} = 0,5$  мкм). Это происходит, видимо, потому, что уплотненный гидроабразивный слой более интенсивно производит сьем металла с вершин микронеровностей со сравнительно небольшим шагом, так как не успевает копировать их при относительном перемещении вследствие присущих ему реологических свойств.

Проведенные исследования показали, что при обработке деталей, совершающих планетарное движение в полости барабана с уплотненной гидроабразивной массой, происходит преимущественное копирование их профиля как в продольном, так и в поперечном сечениях. В данном случае не наблюдается заметное исправление погрешностей макрогеометрии, но и не вносятся дополнительные искажения. Следовательно, нет необходимости предварительно корректировать профиль детали, а требуемая точность обработки должна обеспечиваться на операциях, предшествующих финишной.

УДК 621.787.4

В.В.ДРОБИНИН, Л.Г.ЕЙКАЛИС,  
А.А.БУГАЕВ (МТЗ)

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДАВИЛЬНО-РАСКАТНЫМ МЕТОДОМ

В заднем мосту трактора "Беларусь" для осевой фиксации подшипников применяются упорные кольца со следующими размерами: наружный диаметр 130 мм; внутренний диаметр 105 мм; толщина ( $6 \pm 0,08$ ) мм. Ранее кольцо изготавливалось путем вырубки из листа толщиной 7 мм с последующей обработкой фаски на токарном станке и шлифованием торцов в размер ( $6 \pm 0,08$ ) мм. Коэффициент использования металла составлял 15 %.

Новый технологический процесс изготовления упорных колец отличается тем, что в качестве заготовки применяется стальной пруток диаметром 9 мм. Последовательность операций (рис. 1, а) следующая: рубка пруткового материала на заготовки длиной ( $374 \pm 1$ ) мм; гибка прутка в кольцо на специальном штампе; раскатка прутка до нужного профиля давилно-раскатным методом.

В штамп (рис. 1, б) входят матрица 1, пуансон 2, направляющая втулка 3. В матрице, в зоне перехода усеченного эллиптического тора в цилиндр, имеется прямоугольный паз, в который входит ролик 4, подвижно закрепленный на оси 5. Ось ролика закреплена в колодке 6, которая имеет возможность радиального перемещения в обойме 7. Установка ролика 4 в радиальном направлении на необходимый размер производится мерными пластинками 8.