

ПИ № ФС77-31128

ТРУДЫ

В С Е Р О С С И Й С К О Г О
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
И Н С Т И Т У Т А
РЕМОНТА И ЭКСПЛУАТАЦИИ
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА

ГОСНИТИ

ТОМ

111

Часть 2



МОСКВА - 2013

<i>В.В. Михайлов, В.М. Ревуцкий, В.И. Агафий, А.И. Янакевич</i> Опыт применения электроискрового легирования для повышения износостойкости пар трения из нержавеющей стали Х18Н9Т	63
<i>В.А. Денисов, Р.Н. Задорожный</i> Исследование адгезионной прочности комбинированных покрытий на стали 45, образованных электроискровой обработкой бронзовым электродом БрКМц3-1 и металлополимерами марок «Лео» и «Бельзона»	66
<i>В.И. Иванов, С.В. Кислов, П.П. Лезин</i> Электроискровая обработка металлических поверхностей в механизированном режиме: электрод-инструменты	71
<i>Р.Ю. Соловьев, С.М. Коновалов, А.К. Ольховацкий, Л.А. Соподкина</i> Некоторые вопросы совершенствования технического сервиса сельхозтехники в Челябинской области	77
<i>Н.Ф. Стручков, А.А. Гаверильева, Г.Г. Винокуров</i> Изучение состояния тугоплавких частиц Al_2O_3 в износостойких покрытиях из порошковой проволоки	82
<i>Н.Н. Литовченко, Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, В.В. Виноградов</i> Упрочнение рабочих органов машин, работающих в абразиве	86
<i>А.Д. Верхотуров, Л.А. Коневцов, В.И. Иванов</i> Исследование процесса формирования легированного слоя и его свойств при электроискровом легировании твердых сплавов металлами IV-VI групп	89
<i>Р.И. Ли, А.В. Бутин, М.М. Кузнецов</i> Восстановление неподвижных соединений подшипников качения в узлах машин современными клеями	98
<i>С.А. Величко, Ф.Х. Бурумкулов, А.В. Мартынов</i> Исследование влияния кинематических параметров системы на формирование толстослойных электроискровых покрытий для восстановления деталей гидроагрегатов	101
<i>А.В. Коломейченко, М.С. Грохольский</i> Восстановление рабочих поверхностей корпуса гидромотора REXROTH сеялки AMAZONE электроискровой обработкой с последующим упрочнением микродуговым оксидированием	109
<i>А.Д. Верхотуров, Э.Г. Бабенко, Л.А. Коневцов, В.И. Иванов</i> Комплексное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей с использованием методов электроискрового легирования и электродуговой наплавки	112
<i>Б.И. Бутаков, А.В. Зубехина</i> Исследование влияния жесткости технологической системы при раскатывании роликами деталей на их точность	125

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ РАСКАТЫВАНИИ РОЛИКАМИ ДЕТАЛЕЙ НА ИХ ТОЧНОСТЬ

Б.И. Бутаков, д-р техн.наук, профессор; А.В. Зубехина, ассистент
(Николаевский национальный аграрный университет, г. Николаев,
Украина, тел.8-10-380(512)342195, e-mail: etcmt@yandex.ru)

Аннотация. Описаны результаты исследования жесткости технологической системы инструмент-деталь при раскатывании отверстий роликами. Приведены рекомендации по уточнению размеров деталей в результате раскатывания их роликами.

Ключевые слова: раскатывание деталей роликами, точность, шероховатость.

В производстве раскатывание отверстий большой длины было бы невозможно без использования многороликовых головок с уравновешенным радиальным давлением. Разгрузка суппорта станка от рабочего усилия обкатывания упрощает силовую схему процесса. Усилие замыкается между деталью и раскатным устройством. Если при этом деталь имеет стенки достаточно большой толщины, то величина и постоянство усилия определяются конструкцией и жесткостью инструмента. При раскатывании тонкостенных деталей их жесткость должна быть учтена.

Рассмотрим жесткость системы инструмент-деталь на примере раскатывания втулок. Представим втулку в процессе раскатывания в виде тонкой цилиндрической оболочки, шарнирно опертой на концах и нагруженной в среднем сечении радиальными составляющими усилия, равномерно разнесенными по окружности и приложенными в точках контакта роликов. Такой случай рассмотрен в работе П.П. Бейларда [1].

Дифференциальные уравнения оболочки решаются методом разложения перемещений и нагрузок в двойные ряды Фурье. В результате получено выражение для радиального перемещения w , пригодное для числовых расчетов:

$$w = \frac{12kl^3(1-\mu^2)P}{\pi h^3 E\rho} \left[\sum_n (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} x}{n^4 \pi^4 + 12(1+\mu^2)\alpha^4 \gamma^2} + \right. \\ \left. + \sum_m \sum_n (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{2(m^2 \alpha^2 + n^2 \pi^2)^2}{T} \cos(km)\phi \sin \frac{n\pi}{l} x \right],$$

где P – радиальное усилие на каждом ролике; k – количество сил (роликов); E, μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала раската;

тываемой втулки; $\rho = D/2$, l , h – радиус, длина и толщина стенки втулки; $\alpha = 2l/D$; $\gamma = D/2h$; χ , φ – цилиндрические координаты;

$$T = (m^2 \alpha^2 + n^2 \pi^2)^4 + 12(1 - \mu^2) n^4 \pi^4 \alpha^4 \gamma^2 - \\ - m^2 \alpha^4 [2m^4 \alpha^4 + (6 + \mu - \mu^2) n^4 \pi^4 + (7 + \mu) m^2 \alpha^2 n^2 \pi^2] .$$

Расчеты выполнены на ЭВМ для цилиндров диаметром $D = 300$ мм с различными отношениями радиуса к толщине стенки $\gamma = D/2h$ и длины к радиусу $\alpha = 2l/D$.

Принятое при расчете шарнирное закрепление концов оболочки с бесконечной жесткостью в радиальном направлении не может служить моделью реального крепления втулок при раскатывании вблизи торцов. Из результатов расчета практическое значение имеют прогибы на достаточном удалении от концов оболочки при больших значениях α .

Полагая, что при $\alpha = 6,6$ влияние способа закрепления концов на прогиб в середине несущественно при любом количестве сил, рассчитаем прогибы и построим графики зависимости относительной жесткости от γ при разном количестве радиальных усилий в сечениях, удаленных от торцов. Под жесткостью j при этом понимается усилие, отнесенное к радиальному прогибу оболочки в точке приложения усилия. Полученные графики (рис. 1) показывают, как жесткость возрастает при увеличении толщины стенки и количества приложенных усилий (количества роликов раскатного устройства).

Заслуживает внимания тот факт, что при увеличении количества усилий не во всех случаях монотонно растет жесткость. Превышение определенного количества усилий приводит к общему растягиванию втулки и соответствующему уменьшению жесткости в результате взаимодействия соседних усилий. Например, при отношении радиуса раскатываемой втулки к толщине стенки равном 23, жесткость одинакова при 12 и 16 усилиях. При уменьшении этого отношения до 16 (более толстостенная гильза) становятся равными жесткости втулок, нагруженных 16 и 8 усилиями и т. д.

Графики 1-7, приведенные на рис. 1, позволяют определить жесткость втулок с наиболее распространенными диаметрными размерами в сечениях, удаленных от торцов. Вблизи торцов жесткость существенно снижается.

Жесткость консольной оболочки, нагруженной радиальными усилиями, действующими в сечениях, лежащих вблизи торца, определяли экспериментально. Испытывали жесткость втулки длиной 600 мм с внутренним диаметром 300 мм. Толщина ее стенки была сначала 15 мм ($\gamma = 10$), затем втулку протачивали снаружи до толщины 10 мм ($\gamma = 15$); 7,5 мм ($\gamma = 20$) и 5 мм ($\gamma = 30$).

Для нагружения втулки изготовлен специальный гидравлический динамометр, имеющий восемь радиально расположенных рабочих цилиндров и нагрузочный цилиндр, вынесенный на противоположный конец центральной оправки. Оправка установлена в подшипниках центровика с конусом для крепления динамометра в пиноли задней бабки токарного станка.

Нагрузку измеряли манометром. При необходимости часть рабочих цилиндров можно было отключать углублением резьбовых упоров, ограничивающих радиальный ход плунжеров. Таким образом, можно варьировать количество точек нагружения. Втулка нагружалась последовательно на расстояниях 5, 10, 100 и 300 мм от торца в 2, 4 или 8 точках. Усилия, прикладываемые в каждой точке, составляли 3, 2 и 1 кН. Усилие ограничивалось по мере уменьшения толщины стенки для предотвращения остаточных деформаций втулки. Упругие деформации втулки измерялись при нагружении

в диаметрально противоположных точках двумя микронными индикаторами, установленными на суппорте.

По деформациям и приложенным усилиям рассчитывалась жесткость втулок. Расчеты показывают, что жесткость вблизи торца при двухроликовой схеме раскатывания примерно в 4 раза ниже жесткости на глубине, равной диаметру, причем на всей этой длине жесткость повышается по мере удаления от торца. Увеличение количества точек нагружения до 4 и тем более до 8, несколько сокращает перепад жесткости до трехкратного и существенно приближает к торцу сечение, в котором жесткость стабилизируется. Представляет интерес полное совпадение опытных значений жесткости, полученных на глубине, равной диаметру втулки, с расчетными значениями, для соответствующих γ и количества усилий. Экспериментальные точки отмечены на рис. 1. Сказанное подтверждает практическую пригодность примененной методики расчета жесткости втулок при раскатывании на глубине, равной диаметру и большей при различном количестве роликов в раскатном устройстве.

Рассматривая шероховатость поверхности как отклонение от номинальной формы детали, можно говорить о раскатывании роликами как об эффективном способе уточнения микропрофиля деталей машин. В значительно меньшей мере это относится к волнистости, возможность уменьшить которую зависит от соотношения шага волны и размеров зоны деформации. Волна с малым шагом устраняется достаточно эффективно. Соотношением зоны деформации с габаритными размерами обрабатываемой детали определяется возможность уточнения ее размеров и формы в макрообъеме. Для деталей малых размеров процесс раскатывания является процессом холодного формообразования.

Допуск на точные отверстия малых диаметров во много раз меньше раздачи, например, для диаметра 5 мм шестого качества ISO он составляет всего 0,008 мм. Поэтому из заготовок низкой точности, изготовленных с припуском, не превосходящим раздачу, раскатыванием довольно легко получают детали повышенной точности. По мере увеличения размеров деталей раздача от раскатывания уменьшается. Деформация приобретает поверхностный характер и на изменении размеров сказывается в основном перераспределение материала микронеровностей, смятие гребешков и заполнение впадин. Обычно увеличение диаметра отверстия заметно превосходит высоту исходных микронеровностей, на которую должен был бы измениться диаметр при полном смятии микронеровностей треугольного профиля. Это объясняется, во-первых, тем, что при измерении диаметров контактные поверхности измерительных инструментов соприкасаются с наиболее вы-

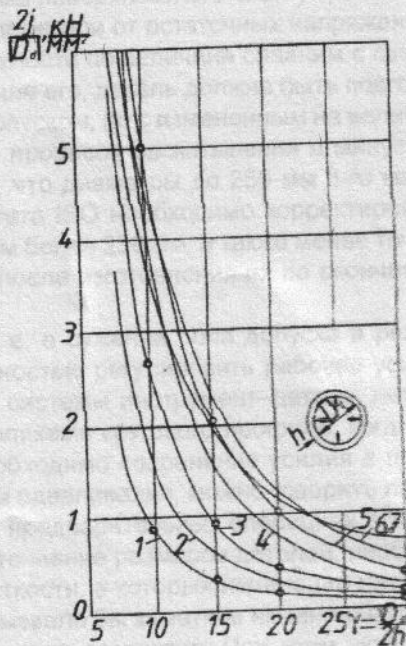


Рис. 1. Жесткость втулок в сечениях, удаленных от торцов при двух (1), трех (2), четырех (3), шести (4), восьми (5), двенадцати (6) и шестнадцати (7) радиальных усилиях

ступающими гребешками микронеровностей, т. е. измеряется обычно наименьший вписанный диаметр отверстия; во-вторых, тем, что средняя линия микропрофиля поверхности, например, после растачивания, проходит несколько ниже половины высоты микронеровностей, так как вследствие скругления вершины резца форма микронеровностей отличается от треугольной и объем впадин микропрофиля превосходит объем гребешков. Кроме того на изменение размеров влияют вытяжка поверхностного слоя у краев обрабатанного участка и упругая деформация детали от остаточных напряжений.

Если допуск раскатываемой поверхности по величине сравним с ожидаемым изменением диаметра или больше его, деталь должна быть подготовлена под раскатывание с заданным допуском, но с измененным на величину увеличения номинального размера в процессе раскатывания в минус для отверстий. Практически это означает, что диаметры до 250 мм 8-го качества ISO и все диаметры 7-го качества ISO необходимо корректировать. Детали 8-го качества ISO с диаметром более 250 мм, а также менее точные детали всех размеров, раскатывают после изготовления их по окончательным чертежным размерам.

Вопрос о повышении точности, т. е. о сужении поля допуска в результате раскатывания, связан с возможностью регулировать рабочее усилие. Очевидно, что при малой жесткости системы инструмент-деталь, необходимой для раскатывания деталей роликами кругового профиля, когда для успешного проведения операции необходимо сохранение усилия в пределах, ограниченных допустимым углом вдавливания, можно говорить лишь о сохранении точности, полученной на предварительных операциях. Чтобы в результате раскатывания получить уточнение размеров деталей, необходимо использовать схемы высокой жесткости, в которых изменение натяга за счет колебания размеров заготовки вызвало бы заметное изменение усилия и соответствующее увеличение диаметра отверстия. При этом указанное изменение усилия не должно приводить к снижению качества раскатанной поверхности. Этому требованию в наибольшей мере удовлетворяет процесс раскатывания с каплевидной формой контакта роликов прямолинейного профиля. Постоянный угол вдавливания таких роликов предохраняет раскатываемую поверхность от волнистости и позволяет получать требуемое качество поверхности в некотором диапазоне усилий.

Например, при раскатывании отверстий в зависимости от допуска ϵ_1 на предварительно расточенное отверстие, натяг головки в отверстии изменяется. При высокой жесткости системы инструмент-деталь это изменение вызовет соответствующее изменение рабочего усилия, а следовательно, и различные приращения диаметра раскатываемого отверстия. В результате допуск на раскатанное отверстие ϵ_2 будет меньше, чем в заготовке.

Относительное сужение поля допуска $(\epsilon_1 - \epsilon_2)/\epsilon_1$ характеризует уточнение достигаемое при раскатывании отверстий. Экспериментально возможность уточнения проверялась при раскатывании отверстий диаметром 46 и 58 мм и длиной 100 мм в толстостенных стальных втулках с наружным диаметром 140 мм и во втулках из алюминия с наружным диаметром 100 мм. Втулки раскатывали жесткими планетарными головками с пятью роликами диаметром 9 мм. Шероховатость поверхности уменьшается при раскатывании стали с $Rz = 80$ мк до $Ra = 0,63$ мк и с $Rz = 20$ мк до $Ra = 0,32$ мк; для алюминия уменьшение шероховатости еще более значительное — с $Rz = 160$ мк до $Ra = 0,32$ мк и с $Rz = 40$ мк до $Ra = 0,16$ мк. Оптимальным для получения наименьшей шероховатости на стали 20 является натяг 0,2 мм. При натяге около 0,3 мм появляется волнистость поверхности, а при 0,4 мм поверхность начинает шелушиться. На более твердой стали 40X шерохова-

тость уменьшается вплоть до натяга 0,3 мм, но при этом также появляется волнистость, свидетельствующая о приближающемся начале разрушения поверхностного слоя. Алюминий лучше всего раскатывается при меньших значениях натяга (0,1-0,15 мм). Изменение диаметра раскатанных втулок в зависимости от натяга связано с исходной шероховатостью. Обращает на себя внимание тот факт, что увеличение диаметра отверстий существенно превосходит степень шероховатости. Уточнения составляют для стали при исходной шероховатости $Ra = 2,5$ мк 17,5%, $Rz = 20$ мк – 22,5%, $Rz = 80$ мк – 39%. Они едва достигают величин, необходимых для перевода отверстий 7 квалитета ISO в 6-й, 8 в 7 и 10 – в 9. Для алюминиевых втулок уточнение составляет 62 и 85% соответственно для $Rz = 40$ мк и $Rz = 160$ мк, что позволяет рассматривать раскатывание жесткими головками как способ калибровки отверстий в деталях из алюминиевых сплавов, правда, в весьма узком диапазоне натягов. При уменьшенной толщине стенки раскатывание позволяет в некоторых случаях калибровать и стальные детали. При раскатывании с натягом втулок с толщиной стенки менее 20 мм наблюдается увеличение их наружного диаметра, достигающее у втулки с двухмиллиметровой стенкой 0,1 мм. Изменение жесткости и пластическое течение материала втулок вблизи торцов приводят к искажению их формы. Искривление формы осевого сечения втулок наблюдается у всех раскатанных образцов, причем у толстостенных втулок тем больше, чем толще стенка. Наружная поверхность исказилась больше у втулок со стенкой толщиной 10 мм. Искривления формы тонкостенных деталей на краях предотвращаются снижением усилий (натягов) за счет уменьшения диаметра роликов и некоторого увеличения заднего угла вдавливания, что позволяет локализовать деформацию в более тонком поверхностном слое. Сохранению формы втулок способствует также увеличение количества роликов раскатных головок, повышающее жесткость системы.

Литература

1. Бейлард П. П. Напряжения от локальных нагрузок в цилиндрических сосудах давления. // Сб. Вопросы прочности цилиндрических оболочек. – М.: Оборонгиз, 1960, – С. 43–65.

UDC 621.787.4:621.882

INVESTIGATION OF STIFFNESS OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM AT ROLLING BY THE ROLLERS OF DETAILS ON THEIR EXACTNESS

Butakov B. I., Zubekhina A. V.

Abstract. In the article the results of research of inflexibility of the technological system are described machine tool – instrument – detail at rolling of billows and rolling of opening by rollers. The results of the study rigidity of the technological system part-tool with holes sheeting rollers. Recommendations to clarify the size of parts as a result of rolling casters.

Keywords: rolling casters details, accuracy, surface roughness.