

Исследование и разработка технологии обкатывания и раскатывания роликами деталей с учетом жесткости системы станок-инструмент-деталь

Повышение качества и надежности машин и их элементов является одной из важных и первоочередных задач современного этапа развития отечественного машиностроения. Эта проблема может быть решена с помощью разработки и освоения эффективных методов упрочнения деталей машин и повышения их долговечности.

С целью повышения износостойкости пар трения, контактной и усталостной прочности деталей широко применяется поверхностное пластическое деформирование обкатыванием их роликами. Реализация оптимального основного режима обкатывания (рабочего усилия) связана с жесткостью технологической системы станок-инструмент-деталь. В смысле сохранения оптимального режима обкатывания представляет опасность не столько снижение жесткости, сколько ее непостоянство.

Постоянство необходимого усилия непосредственно связано с жесткостью технологической системы станок – инструмент - деталь. Жесткость j системы, состоящей из нескольких звеньев, определяется по А.П. Соколовскому:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \dots \quad (1)$$

Одна из основных составляющих жесткости системы - жесткость станка. На жесткость металлорежущих станков оказывает большое влияние соотношение составляющих усилия резания. Соотношение $P_z : P_y : P_x$, на которое рассчитаны универсальные металлорежущие станки, отличается наибольшим значением P_z . При довольно широких колебаниях указанное соотношение, в среднем характерное для процесса резания, составляет 1: 0,4: 0,25.

В отличие от этого процесс обкатывания характеризуется преобладающим значением P_y при незначительной величине остальных составляющих. У большинства конструкций станков максимальная жесткость достигается при отношении $P_y : P_z = 0.4$ и резко падает при его увеличении [1].

В процессе обкатывания эксцентричное закрепление детали, радиальное биение роликов и другие погрешности приводят к тому, что система работает в колебательном режиме разгрузка - нагрузка вблизи максимума приложенной нагрузки. Задача стабилизации усилия обкатывания в пределах допустимых отклонений решается введением в конструкцию обкатных устройств упругих элементов пониженной жесткости.

Объединяя в выражении (1) жесткость станка, детали, крепежных приспособлений общим символом j_c и выделив жесткость инструмента для обкатывания j_u , найдем жесткость системы [2]:

$$j = \frac{j_c j_u}{j_c + j_u} \quad (2)$$

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 [3].

Дифференциальные уравнения оболочки решаются методом разложения перемещений и нагрузок в двойные ряды Фурье.

В результате получено выражение для радиального перемещения w , пригодное для численных расчетов [4].

Жесткость металлорежущих станков исследовалась в лаборатории и на предприятии с помощью динамометров и индикаторов. Жесткость инструментов рассчитывалась по зависимостям теории упругости, расчеты проверялись экспериментально с помощью динамометров и индикаторов.

По деформациям и приложенным усилиям рассчитывалась жесткость втулок. Графики изменения жесткости по длине втулок с различной толщиной стенки приведены на рис. 1. Графики 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.

Необходимое для стабилизации рабочего усилия обкатывания снижение жесткости технологической системы достигается применением инструментов с пружинящими элементами [4].

Прогиб от усилия, приходящегося на единицу ширины пружинящей части корпуса, определяется его относительными размерами.

Высокая радиальная жесткость системы инструмент – деталь и, как следствие этого, непосредственная зависимость качества поверхности от небольших изменений натяга - серьезный и трудно преодолимый недостаток планетарных многороликовых устройств. Создание практичной конструкции головок пониженной радиальной жесткости с роликами прямолинейного профиля остается актуальной проблемой, от решения которой зависит расширение номенклатуры раскатываемых деталей.

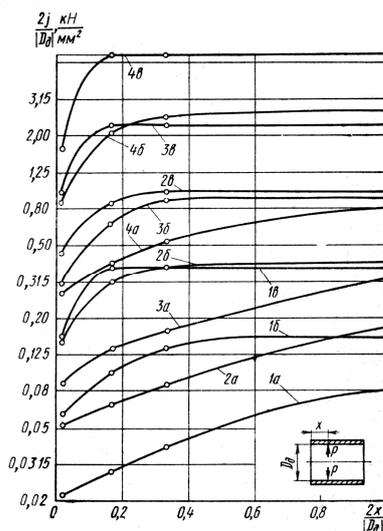


Рис. 1. Жесткость втулок вблизи торцов, нагруженных двумя (а), четырьмя (б) и восемью усилиями при $\gamma = 30$ (1), 20 (2), 15 (3), 10 (4)

Устройством пониженной жесткости для раскатывания роликами отверстий [1] невозможно получить уточнения размера отверстия из-за малой жесткости пружины. Устройство для жесткого раскатывания отверстий с помощью конических роликов, установленных в сепараторе на конусной жесткой оправке, неприменимо для раскатывания тонкостенных деталей из-за их чрезмерно большой раздачи [5, 6].

Для локализации пластической деформации в тонком поверхностном слое при раскатывании втулок применяются устройства для импульсной ротационной обработки роликами [7, 8]. На опорном конусе инструмента выполнено нечетное количество плоских лысок. Конические ролики, установленные в сепараторе, в процессе обработки вращаются между поверхностью детали и поверхностью кулачковой оправки. Вследствие возникновения сил трения в местах контакта ролики получают переносное (планетарное) движение. Причем, обкатывая выступы и впадины кулачковой оправки, они совершают быстрые радиальные перемещения, удары, интенсифицирующие процесс пластической деформации тонкого поверхностного слоя материала изделия. Удар ролика происходит в момент его заклинивания между выступом оправки и обрабатываемой поверхностью. При нахождении ролика на лыске натяг между инструментом и заготовкой минимален, в некоторых конструкциях он равен нулю. Быстрое изменение натяга в процессе обработки, происходящее в течение примерно $10^{-3} - 10^{-4}$ сек, определяет пульсирующее изменение деформирующих усилий.

Тонкостенные втулки можно раскатывать игольчатыми роликами [1]. При этом пластическая деформация также локализуется в тонком поверхностном слое и раздача втулки минимальная. Устройства с игольчатыми роликами нашли применение при раскатывании нежестких втулок, когда длина игольчатых роликов превосходит ширину раскатываемой втулки. Тогда раскатывание осуществляется без продольной подачи устройства. При осуществлении продольно подачи устройства с игольчатыми роликами на обкатываемой поверхности появляется волнистость с шагом подачи. Закругление передних торцов покупных игольчатых роликов малого диаметра для исключения волнистости на обкатанной поверхности – трудоемкая операция, не удается это закругление выполнить на всех роликах одинаково.

Нами предложено и разработано ударное устройство с гибкими роликами для раскатывания нежестких втулок. Устройство показано на рис. 2. Оправка 1 имеет радиальные выступы, между которыми расположены игольчатые ролики 2, удерживаемые с торцов распорными втулками 3 и 4, которые поджимаются гайкой 5. Ролики между собой удерживаются сепаратором 6. Новизна разработанного устройства для чистовой обработки нежестких втулок заключается в том, что на цилиндрической поверхности оправки выполнено N радиальных выступов радиусом $r = (20-55)d_{pe}$ в продольном сечении оправки, с шагом $S = \frac{\pi \cdot d_{опр}}{N}$, где $d_{опр}$ - диаметр оправки.

При подведении устройства к обрабатываемой детали 7 оправка 1 поджимает ролики к обрабатываемой детали 7. При вращении детали со скоростью обкатывания V_0 за счет силы трения деформирующие ролики вместе с сепаратором 6 получают переносное движение относительно кулачковой оправки, при этом ролики 2 получают быстрое возвратно-поступательное движение в радиальном направлении и ударяют о поверхность детали, вызывая пластическую деформацию, локализуя ее в тонком поверхностном слое. Вследствие этого не возникает объемная деформация детали, что является большим преимуществом при обработке отверстий (рис. 2). Когда ролики попадают на радиальные выступы, выполненные в продольном сечении оправки выпуклыми радиусом $r = (20-55)d_{pe}$, они изгибаются и на детали возникает эллиптический отпечаток. Кромки роликов в работе не участвуют и на обкатанной поверхности волнистость отсутствует. Подача раскатывания достигает до 1 мм на оборот детали. Устройство предназначено для раскатывания отверстий под палец в поршнях двигателя ДЗ7-М.

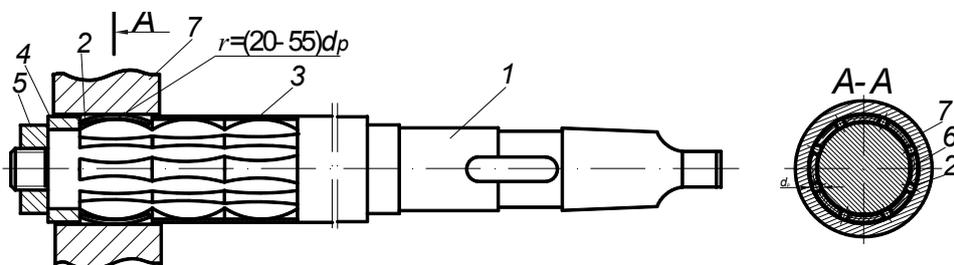


Рис. 2. Устройство для раскатывания нежестких втулок гибкими роликами

Разработанные технология и устройства для обкатывания валов и раскатывания отверстий внедрены в производство на ОАО «Николаевский глиноземный завод».

Литература:

1. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов. / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев - Киев: Наук. думка, 1995. – 256 с.
2. Рыжов Э. В. Контактная жесткость деталей машин. / Э. В. Рыжов - М.: Машиностроение, 1968. - 180 с.
3. Бейлард П. П. Напряжения от локальных нагрузок в цилиндрических сосудах давления. / П.П. Бейлард // Сб. Вопросы прочности цилиндрических оболочек. - М., Оборонгиз, 1960, - С. 43 - 65.
4. Бутаков Б.И Жесткость системы станок – инструмент - деталь при обкатывании деталей роликами. / Б.И. Бутаков, А.В Зубехина. // Вісник аграрної науки Причорномор'я (випуск 4(47)).- Миколаїв: МДАУ, 2008. – С.193-205.
5. Шнейдер Ю.Г. Инструмент для чистовой обработки металлов давлением / Ю.Г. Шнейдер - Л: Машиностроение, - 1971. – 248 с
6. Азаревич Г.М. Размерно-чистовая обработка деталей машин пластическим деформированием взамен обработки резанием / Г.М. Азаревич, Г.Ш. Берштейн - НииМаш. Технология обработки давлением. – 1965. – С. 134 – 159.
7. Коновалов Е.Г. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко – Минск: Вышэйша школа, 1968.- 364 с.
8. Пшибыльский В.П. Технология поверхностной пластической обработки / В.П Пшибыльский – М.: - Металлургия, 1991. - 479 с.