

УДК 621.787.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ УСТАНОВКЕ РОЛИКОВ НА ОДИН И ДВА ОПОРНЫХ КАТКА

Отений Я.Н., Вирт А.Э., Лаврентьев А.М.

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ, Камышин, e-mail: virt09@rambler.ru

На предприятиях, использующих в качестве чистовых операций обработку поверхностным пластическим деформированием возникает проблема преждевременного выхода из строя раскатывающего инструмента. Наибольшему износу подвергаются опорные элементы. При этом их приходится восстанавливать или изготавливать заново. В данной статье рассматриваются влияние контактных напряжений, возникающих в месте контакта деформирующих роликов и опорных элементов на стойкость инструмента. Сравниваются два варианта установки деформирующих элементов: на опорный конус в сепараторе и на два катка. Показано, что необходимо совершенствовать конструкции опорных элементов инструмента для обработки поверхностным пластическим деформированием отверстий или использовать деформирующие элементы в виде цилиндрических роликов. Приведены основные зависимости для определения напряжений, возникающих в контакте и нагрузки между роликом и опорным конусом. Это позволит в дальнейшем правильно рассчитывать и конструировать инструмент с большим ресурсом.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, опорные элементы, СПД роликами

DETERMINATION OF CONTACT STRESSES INSTALLATION ROLLER ON ONE AND TWO TRACK ROLLER

Oteny Y.N., Virt A.E., Lavrentiev A.M.

The Kamyshin Technological Institute (branch) of the Volgograd State Technical University Kamyshin, e-mail: virt09@rambler.ru

In enterprises that use as finishing operations processing by superficial plastic deformation problem of premature failure of the rolling tool. Those most exposed to wear support elements. At the same time they have to repair or re-manufacture. This article discusses the influence of contact stresses occurring at the contact of the deforming rollers and the support elements on the tool life. Compares two options for installing the deformation elements: on the support cone of the separator and two rollers. It is shown that the need to improve the design of the tool support elements for processing the surface by plastic deformation of holes or deforming elements used in the form of cylindrical rollers. The basic relationships for determining stresses in the contact between the roller and the load and the support cone. This will in the future correctly calculate and design tool with a great resource.

Key words: surface plastic deformation, support elements, SPD by rollers

Для сравнения особенностей работы разных инструментов, рассмотрим напряженное состояние в зоне упругой деформации, возникающей при работе дифференциальных сепараторных раскатников, наиболее часто применяемых в настоящее время в промышленности, основными деталями которых являются опорный конус и взаимодействующие с ним деформирующие элементы, выполненные чаще всего в виде конических роликов. При этом, опорный конус служит для передачи силы деформирования, а также для установки деформирующих роликов на заданный диаметральный размер и, соответственно, глубину их внедрения в обрабатываемую поверхность, что осуществляется за счет смещения роликов вдоль оси опорного конуса (рисунок 1б). Этот инструмент будем сравнивать с инструментом, в котором деформирующие ролики установлены на два смежных катка (рисунок 1а).

Как видно из схем контактирования роликов с опорными катками контактные пло-

щади в обоих случаях имеют разную форму и разные площади.

Следовательно, можно сделать вывод, что долговечность рабочих поверхностей, таких элементов конструкции раскатника, как деформирующий ролик и опорный конус или каток главным образом зависит от величины напряжений, распределенных по площади их контактных зон. Очевидно, для повышения долговечности раскатывающего инструмента, необходимо обеспечить как можно большую площадь контакта между поверхностью опорного конуса и роликом.

Таким образом, при создании новой конструкции раскатника, кроме прочих ставится задача минимизировать возникающие максимальные напряжения в контакте между деформирующими элементами – цилиндрическими роликами и их опорной поверхностью – цилиндрическими катками или опорным конусом. Общеизвестно, что величина контактных напряжений должна быть как можно меньшей и не превышать допустимых значений, так как от этого за-

висит усталостное разрушение контактируемых тел.

Однако, контактные напряжения на опорных поверхностях контактирующих тел определяются значениями заданных сил деформирования, действующих на обрабатываемую поверхность при ППД, типом и формой контактирующих поверхностей деформирующих роликов, в нашем случае цилиндрических роликов с опорными катками и коническими роликами при контактировании с опорным конусом, что определяется конструктивными особенностями раскатывающего инструмента [1].

В процессе упругого взаимодействия контактирующих поверхностей, за счет большого количества циклов нагружения и их относительно больших величин, возникают значительные контактные напряжения, в результате чего может произойти быстрое усталостное разрушение опорных конусов или катков. При этом происходит выкрашивание рабочих поверхностей опорного конуса и деформирующих роликов, приводящих к выходу их из строя и, соответственно, к их частой замене в раскатывающем инструменте.

Для установления факта, какой из типов опорных элементов раскатников эффективной работы раскатника по критерию минимальных контактных напряжений проведем сравнение вариантов обработки ППД от-

верстий раскатниками, установленными на один опорный конус (рисунок 1, б) как это имеет место в сепараторных раскатниках и двумя катками (рисунок 1, а).

Предположим, что катки и деформирующие ролики представляют собой цилиндры. Тогда, для вычисления контактных напряжений между опорными роликами при обработке как по схеме через промежуточные катки, так и по схеме в сепараторном инструменте можно применить известные решения контактной задачи Герца-Беляева [2].

Согласно приведенной методике решения контактной задачи Герца-Беляева максимальные напряжения в контакте определяются по формуле

$$\sigma_m = 0.59 \cdot \sqrt{p \cdot E \cdot \frac{r_k - r_p}{2 \cdot r_k \cdot r_p}} \quad (1)$$

Для ширины контакта

$$c = 1,08 \cdot \sqrt{p \cdot \frac{2 \cdot r_k \cdot r_p}{E \cdot (r_k - r_p)}} \quad (2)$$

где p - продольная погонная нагрузка, действующая на деформирующий ролик;

E - модуль упругости материала деформирующего ролика и опорного катка (принимаются одинаковыми);

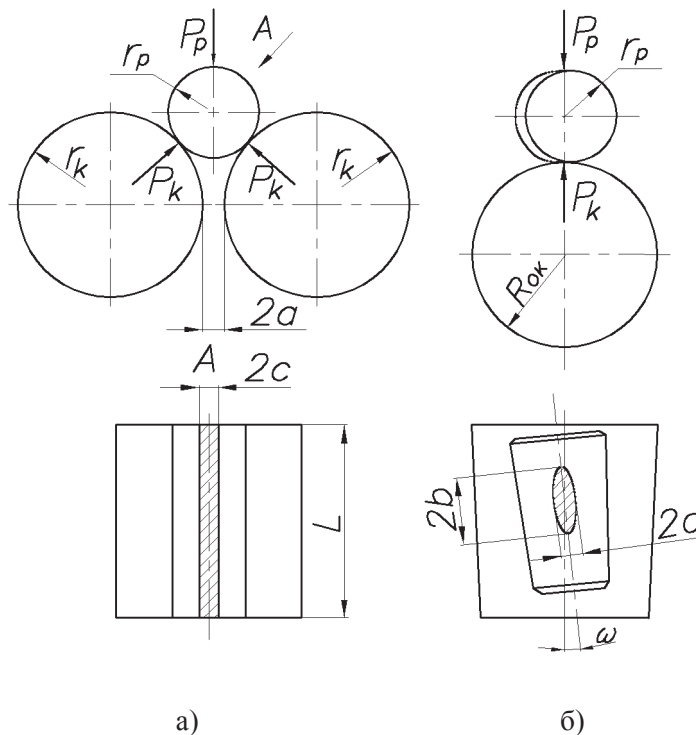


Рис. 1. Передача усилия деформирования на деформирующий ролик: а) через два опорных катка; б) через опорный конус; P_p - усилие раскатывания; P_k - реакции на опорных катках;

r_k, r_p – радиусы опорного катка и деформирующего ролика, соответственно.

Допустив, что радиусы деформирующих роликов в обоих случаях равны, для расчета радиуса опорного конуса получим следующее выражение

$$r_{ok} = R_o - r_p \quad (3)$$

где R_o – радиус обрабатываемого отверстия.

Таким образом, сила деформирования (раскатывания) P_p , при обработке когда применяются два опорных катка будет равна векторной сумме двух опорных реакций P_k (см. рисунок 1,а), действующих между опорными катками и цилиндрическим деформирующим роликом, а при обработке дифференциальным раскатником, опорная реакция равна собственно силе деформирования (см. рисунок 1,б).

Следовательно, нагрузка между цилиндрическим деформирующим роликом и опорным катком в раскатывающем устройстве определяется следующим образом

$$P_k = \frac{0.5 \cdot P_p}{\cos(\beta - \eta)} \quad (4)$$

где

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R_k + a}{r_p + r_k}\right) \quad (5)$$

При обработке сепараторным инструментом

$$P_k = P_p \quad (6)$$

Таким образом, формулы (4), (6) показывают, что сила, действующая между опорным конусом и деформирующими роликами в сепараторном инструменте по абсолютной величине больше, чем сила между катками и роликами при установке роликов на два катка. Это происходит по той причине что опорный конус один, а опорных катков – два.

Из двух конструктивных схем компоновки, более предпочтительной и перспективной с точки зрения минимальных контактных напряжений, является установка цилиндрического деформирующего ролика на два опорных катка, при заданном усилии деформирования.

Это хорошо видно на графической зависимости, представленной на рис. 2

Как видно из анализа графической зависимости, разница между силами, действующими между катками и деформирующими роликами при обработке ППД сепараторным раскатывающим устройством и раскатником состоящим из опорных катков, составляет по расчетам 26%.

Рассчитаем максимальное напряжение в зоне упругой деформации (контактной зоне) между опорными элементами и роликами в случае, когда производится обработка инерционным рычажным раскатывающим устройством с использованием опорных катков и при обработке ротационным раскатником, с передачей силы деформирования на деформирующие ролики посредством опорного конуса.

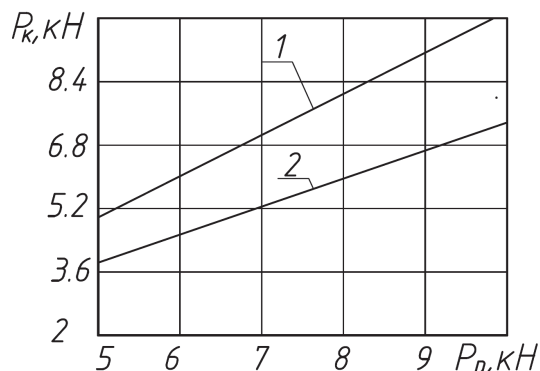


Рис. 2. Зависимость силы действующей от силы раскатывания на два опорных катка, (прямая – 2) и на опорный конус, (прямая – 1), в зависимости от заданной силы раскатывания; количество роликов в инструменте $z_p = 5$; диаметр обрабатываемого отверстия $R = 100 \text{ мм}$; диаметр деформирующего ролика $d_p = 15 \text{ мм}$

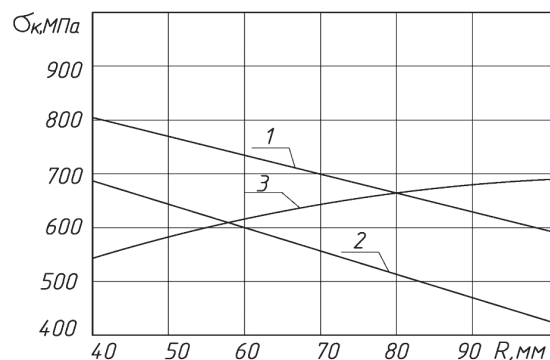


Рис. 3. Зависимость изменения максимальных напряжений, действующих на опорный конус и на опорные катки в зависимости от радиуса обрабатываемого отверстия; количество роликов в инструменте $z_p = 5$; 1- для инерционного раскатника и двух конусов; 2- для ротационного раскатника и одного опорного конуса; 3- для опорного конуса при постоянном диаметре ролика равным 15 мм

Из построенной графической зависимости (см. рис. 3) видно, что при обработке раскатником с опорой роликов на два смежных катка (зависимость 2), максимальное напряжение примерно на (24...26)% меньше, чем при обработке ротационным рас-

катником, в котором ролики опираются на один опорный конус. (зависимость 1).

Для сравнения, на рисунке 2 построена также зависимость 3 изменения максимальных напряжений, действующих на опорный конус при изменении радиуса обрабатываемой детали и одинаковом диаметре деформирующего ролика, равного 15 мм. Как видно из графической зависимости, величина максимальных напряжений, действующих на опорный конус (кривая 3), существенно больше и возрастает по параболическому закону.

Примем, во внимание, что при обработке сепараторным раскатником деформирующие ролики устанавливаются на угол самозатягивания по отношению к оси опорного конуса. За счет этого длина контакта значительно уменьшается (см. рисунок 1б). Следовательно, можно сделать вывод, что по критерию усталостной контактной прочности схема установки роликов на два опорных катка, когда их оси совпадают, обладает существенными преимуществами по надежности и долговечности, а их усталостное разрушение наступает значительно позже.

Усталостное разрушение может наступить и при условии, когда максимальное на-

пряжение меньше допустимого контактного напряжения, рекомендуемого справочными данными, то есть когда $\sigma_k \leq [\sigma_k]$. Это происходит при большом числе циклов нагружения, что имеет место в раскатывающем инструменте. При равенстве контактных напряжений, усталостное разрушение будет определяться количеством циклов нагружения за один и тот же промежуток времени.

Таким образом применение раскатывающих устройств с установкой деформирующих элементов на два катка позволяют увеличить стойкость инструмента

Список литературы

1. Алексеев П. Г. Технология упрочнения деталей машин поверхностной пластической деформацией: Учеб. пособие / Тульск. политехн. ин-т. – Тула, 1978. – 80 с.
2. Барац Я. И. Измерение контактных температур при поверхностном пластическом деформировании. – Вестн. машиностр., 1973, № 4, С. 56–58.
3. Ефремова Е. А., Журавлев А. З. Глубина упрочненного слоя при поверхностной пластической деформации (обзор) // Прогрессивная отделочно-упрочняющая деформация. Ростов-н/Д, 1980. – С. 48–56.
4. Смольников Н. Я., Отений Я. Н., Ольштынский С. Н. Исследования контактной зоны на экспериментальном стенде при поверхностном пластическом деформировании роликом // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: Материалы Всероссийск. конф., – Камышин, 2002 / Камышинский технологич. ин-т (филиал) ВолгГТУ. – Камышин, 2002. – С. 35.