



ARTICLE INFO

Received: 14th November 2022
Accepted: 21st November 2022
Online: 24th November 2022

KEY WORDS

Прокатка, инструмент, обработка, деформирование, пластичность.

ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ РАСКАТЫВАНИЕМ

Якупов Артур Мансурович

Старший преподаватель

Андижанского машиностроительного института

E-mail: artur.yakubov1989@mail.ru, тел: +998937318900

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7359294>

ABSTRACT

Обработка отверстий больших диаметров вращающимися инструментами представляет определенные трудности, в первую очередь из-за сложности обеспечения устойчивых режимов деформирования, а, следовательно, и требуемого качества поверхности, а также обеспечения размеров обрабатываемой детали в пределах ее допуска. С увеличением диаметра отверстия при одинаковом качестве точности допуск увеличивается.

Поскольку глубина проникновения деформирующих элементов соизмерима и даже несколько меньше радиального допуска обрабатываемого отверстия, то при настройке инструмента на заданный размер с учетом погрешности измерения, а также вероятностного характера фактические размеры отверстий, поступающих на механическую обработку, сила деформации колеблется в определенных пределах. Кроме того, использование традиционных вращающихся инструментов предполагает использование очень дорогих крупных опорных конусов, которые часто выходят из строя под действием значительных деформационных сил и контактных напряжений.

Обработка отверстий больших диаметров ротационными инструментами представляет определенные трудности, связанные, прежде всего со сложностью обеспечения стабильных режимов деформирования, а, следовательно, и заданного качества поверхности, а

также обеспечения размера обработанной детали в пределах ее допуска. С увеличением диаметра отверстия при одном и том же качестве точности допуск увеличивается. Поскольку глубина внедрения деформирующих элементов



соизмерима, и даже несколько меньше радиального допуска обрабатываемого отверстия, то при настройке инструмента на заданный размер с учетом погрешности измерения, а также вероятностного характера действительных размеров поступающих на обработку отверстий, усилие деформирования колеблется в некоторых пределах. Кроме того, применение традиционных ротационных инструментов предполагает использование весьма дорогостоящих опорных конусов больших размеров, которые под воздействием значительных усилий деформирования и контактных напряжений часто выходят из строя. В настоящее время центробежное раскатывание не нашло широкого и повсеместного применения, так как отсутствуют обоснования целесообразности его применения и методика расчета оптимальных конструктивных параметров инструмента и технологических режимов обработки.

Эффективность центробежного раскатывающего инструмента зависит от схемы обработки и его конструкции. Одновременно необходимо решить вопросы технологичности при изготовлении, надежности в эксплуатации и обслуживании, стабильности процесса раскатывания и качества обработанной поверхности детали. При центробежном раскатывании возможны две схемы компоновки инструмента. Условно назовем их прямым раскатыванием (рис.1, а) и раскатыванием через промежуточные опорные катки (рис.1).

Обработка в обоих случаях осуществляется за счет вращения инструмента с заданной частотой n_u , в процессе которого деформирующие элементы перемещаются в радиальном направлении и при взаимодействии с поверхностью детали осуществляют пластическое деформирование под воздействием центробежной силы P_u . Поскольку массы катков и деформирующих элементов являются постоянными, а вращение вала электродвигателя почти не меняется, то этим обеспечивается стабильное усилие деформирования. Для удобства расчетов в дальнейших выкладках будем применять индекс "р" для деформирующего ролика и индекс "к" для опорного катка.

Таким образом, формулы для расчета центробежных сил, действующих на ролик и каток, будут иметь вид:

$$P_{cp} = \frac{m_p V_{op}^2}{R_{op}}; P_{ck} = \frac{m_k V_{ok}^2}{R_{ok}}; \quad (1)$$

где P_{cp} , P_{ck} -центробежные силы, действующие на ролики и катки; m_k -массы роликов и катков; V_{ok}, V_{op} -скорости вращения осей роликов и катков вокруг оси детали; R_{op} , R_{ok} -радиусы окружностей, описываемых осями роликов и катков.

Поскольку катки и ролики представляют собой тела вращения, то в сечениях, перпендикулярных оси инструмента, они будут представлены окружностями. Предполагая, что опорные катки являются прямыми цилиндрами, а конические катки имеют малый угол конусности, то их тоже можно представить в виде прямых круговых цилиндров, имеющих диаметр равный среднему диаметру катков.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Массы катков и роликов определяются из зависимостей

$$m_k = \pi \cdot r_k^2 \cdot L_k \cdot \rho_k; m_p = \pi \cdot r_{cp}^2 \cdot L_p \cdot \rho_p; \tag{2}$$

где r_k, L_k -радиусы и длины катков соответственно,, ρ_k, ρ_p -плотность материала катков и роликов.

Скорости вращения осей катков и роликов вычисляются по формулам

$$V_{ok} = \frac{\pi \cdot R_{ok} \cdot n_u}{30}; V_{op} = \frac{\pi \cdot R_{op} \cdot n_u}{30}; \tag{3}$$

где n_u -частота вращения инструмента, с⁻¹.

Размеры опорных катков и деформирующих роликов зависят от принятого их количества и радиуса обрабатываемой детали, поэтому взаимосвязаны между собой определенной функциональной зависимостью. Например, для значений радиусов окружностей, описываемых центрами роликов и катков ; R_{op}, R_{ok} в формулам (1) можно записать

$$R_{op} = R_o - r_p; R_{ok} = R_o - r_k; \tag{4}$$

где R_o -радиус обрабатываемого отверстия.

Подставив выражения (2), (3) и (4) в формулу (1) и, выполнив преобразования, получим

$$P_{ck} = C \cdot (r_k^2 \cdot R_o - r_k^3), \tag{5}$$

где для сокращения записи принято обозначение $C = \frac{\pi^3 \cdot L_k \cdot \rho_k \cdot n_u^2}{900} = const$

Произведя дифференцирование выражения (6), приняв в качестве независимой величины переменной радиус катка при постоянном радиусе обрабатываемой детали, и, приравняв производную к нулю, получим уравнение

$$\frac{dP_{ck}}{dr_k} = 2 \cdot C \cdot R_o \cdot r_k - 3 \cdot C \cdot r_k^2 = 0 \tag{6}$$

Решение этого уравнения дает значение радиуса ролика, при котором обеспечивается максимум усилия деформирования при прямом раскатывании

$$r_{kmax} = \frac{2}{3} R_o = \frac{D_o}{3} \tag{7}$$

Полученная зависимость показывает, что при обработке отверстий по схеме прямого раскатывания, максимальное усилие при постоянной частоте вращения инструмента и длине роликов достигается, когда диаметр ролика превышает половину радиуса детали (рис. 1).

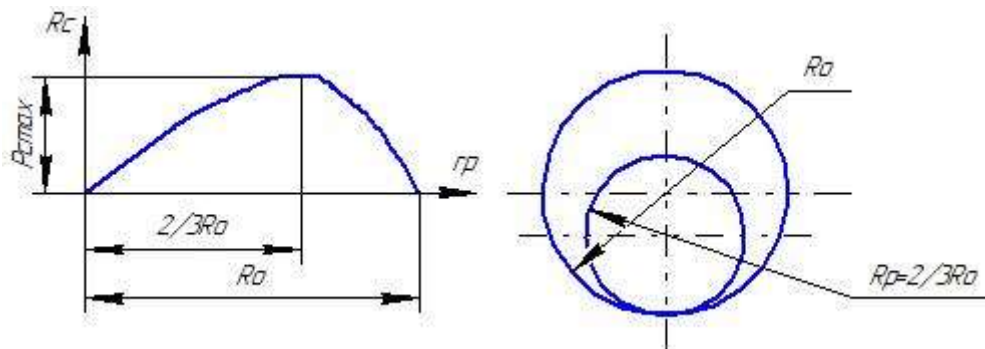


Рис. 1. Изменение центробежного усилия, действующего на ролик от его радиуса при заданном диаметре отверстия

При этом условии в инструменте можно установить только один ролик. Для обеспечения уравниваемости инструмента в нем необходимо установить как минимум два ролика. Таким образом, в уравнишенном инструменте, содержащем не менее двух роликов, с увеличением их размеров усилие деформирования будет возрастать. При этом пропорционально увеличивается площадь контакта, а среднее давление и максимальное напряжение в центре контакта почти не меняются, или меняются очень медленно.

Основной задачей при выборе конструктивных параметров инструмента является обеспечение заданного стабильного качества и производительности, которые определяются конструктивными параметрами деформирующих роликов и выбором требуемого усилия деформирования.

Так как показатели качества поверхностного слоя являются функциями среднего и максимального напряжений в контакте, то увеличение размеров роликов для повышения центробежного усилия при заданной частоте вращения инструмента не

приводит к требуемым результатам. Из этого следует, что в конструкции инструмента должны быть обеспечены такие геометрические параметры деформирующих роликов, которые при заданной частоте вращения инструмента создавали требуемые геометрические параметры контакта и заданное напряженное состояние в контактной зоне.

В производственной практике применяют два типа роликов: профильные, рабочая поверхность которых является поверхностью тора с профильным радиусом R_{np} и конические, образующие при обработке каплевидный контакт (рис. 2.). С точки зрения обеспечения высокой производительности при требуемом качестве поверхности каплевидный контакт является более предпочтительным по сравнению с эллипсы контактом. Вместе с тем, конструкция инструмента для центробежного раскатывания должна быть универсальной, позволяющей устанавливать в нее деформирующие элементы любой конфигурации, в том числе тороидальные и конические ролики.

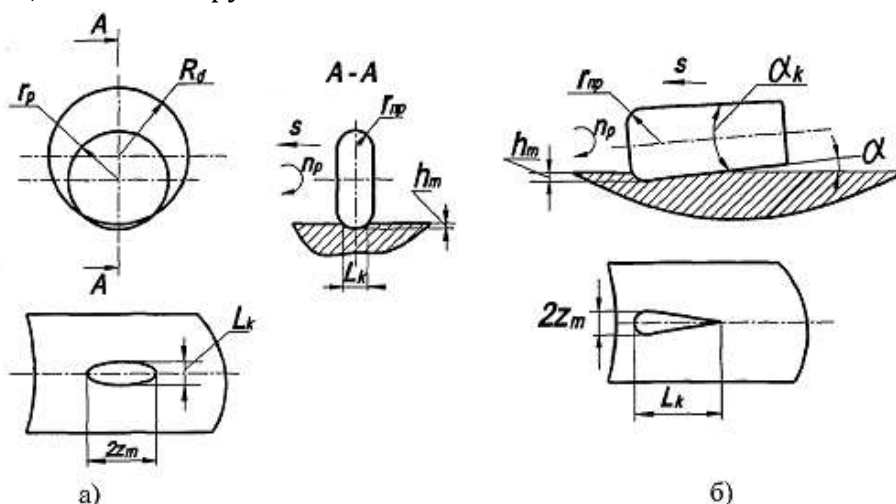




Рис. 2. Основные типы роликов и формы контактов, образуемых при обработке этими роликами: а-обработка профильным роликом (форма контакта-эллипс), б-обработка коническим роликом удлинённой формы (форма контакта каплевидная)

Следовательно, в случае, когда в инструменте используется менее пяти роликов, реализация схемы обработки через промежуточные катки невозможна и преобразуется в схему прямого действия.

Таким образом, обработка через промежуточные опорные катки возможна, когда в инструменте будет установлено не менее пяти роликов. Принимая во внимание, что центробежное усилие P_{cy} растёт пропорционально увеличению размеров катков, то пяти роликовый инструмент обеспечивает максимальное усилие деформирования по схеме обработки с промежуточными опорными катками. При большем числе роликов и катков их размеры уменьшаются, следовательно, уменьшается и центробежное усилие при той же частоте вращения инструмента. При компоновке инструмента по схеме раскатывания через промежуточными опорными катками. При большем числе роликов и катков их размеры уменьшаются, следовательно, уменьшается и центробежное усилие при той же частоте вращения инструмента.

При компоновке инструмента по схеме раскатывания через промежуточные катки, деформирующие ролики имеют размеры существенно меньшие, чем опорные катки. Это позволяет производить обработку с меньшим

усилием деформирования, а, следовательно, и с меньшей частотой вращения инструмента по сравнению с обработкой по схеме прямого раскатывания.

На основе изложенного можно сделать вывод, что использование в инструменте деформирующих роликов рациональных диаметров, обеспечивающих достижение необходимого качества обработанной поверхности при минимальном усилии деформирования, возможно лишь по схеме компоновки центробежного раскатника через промежуточные опорные катки в пяти роликовом центробежном раскатнике.

Реализация центробежного раскатывания в виде конкретной конструкции инструмента может быть осуществлена после выявления взаимосвязей между силовыми и конструктивными характеристиками центробежного раскатника и техническими показателями процесса ППД.

Угол между двумя смежными деформирующими роликами, а также опорными катками равен:

$$\Psi_k = \frac{\pi}{z_p}, \quad (8)$$

где z_p -количество деформирующих роликов и, соответственно, опорных катков в раскатнике. С другой стороны

$$\sin(\Psi_k) = \frac{r_k + a}{(R_0 - \delta) - r_k}, \quad (9)$$

где r_k -радиус опорного катка, R_0 -радиус обрабатываемого отверстия, a -зазор между смежными опорными катками, δ -зазор между опорным катком и обрабатываемым отверстием.



Преобразовав выражение (8), находим значение радиуса опорного катка:

$$r_k = \frac{(R_0 - \delta) \sin(\psi_k) - a}{1 + \sin(\psi_k)}, \quad (10)$$

и диаметра ролика

где $R_{ок}$ -радиус окружности, описываемой центрами опорных катков.

Объемы деформирующих роликов и опорных катков рассчитываются в зависимости от их формы, длины и диаметральных размеров.

Для цилиндрического катка объём определяется из выражения:

$$V_k = \pi \cdot r_k^2 \cdot L_k, \quad (11)$$

Для конического ролика объём определяется как

$$V_k = \frac{\pi \cdot (r_6^2 \cdot r_m^2 + r_6 \cdot r_m) L_p}{3} \quad (12)$$

где r_6 , r_m -радиусы малого и большого сечения конического ролика, L_p -длина ролика.

Для кольцевого (тороидального) ролика

$$V_k = \pi \int_0^{2R_{pr}} \left[r_0 + \sqrt{R_{pr}^2 - (R_{pr}^2 - R_{pr})^2} \right]^2, \quad (13)$$

Для шара

$$V_b = \frac{4\pi \cdot r_b^3}{3}, \quad (14)$$

где r_w -радиусы малого и большого сечения конического ролика.

Для бочкообразного ролика

$$V = 0.262 \cdot (8 \cdot r_6^2 + 4 \cdot r_m^2) L_p, \quad (15)$$

$$P_y = 2P_{kp} \cos \beta + P_{cp}, \quad (16)$$

где P_{cp} -центробежная сила, действующая на ролик; P_{kp} -сила взаимодействия между роликами и катками, вычисляемая по формуле

$$P_{kp} = \frac{0.5(P_{ck} + P_{cp})}{\sin \eta}, \quad (17)$$

Значения углов η и β равны

$$\eta = 90 - \frac{\psi}{2} - \beta; \quad (18)$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{r_k + a}{r_p + r_k} \right), \quad (19)$$

Центробежные силы, действующие на катки и ролики

$$P_{ck} = 0.034 \cdot L_p \cdot p_k \cdot n^2 \cdot r_k^2 \cdot (R_0 - r_k - \delta); \quad (20)$$

$$P_{cp} = 0.034 \cdot L_p \cdot p_p \cdot n^2 \cdot r_p^2 \cdot (R_0 - r_p); \quad (21)$$

Центробежная сила, действующая на корпус подшипника

$$P_{cp} = k \cdot P_{ck}, \quad (22)$$

На рис. 3, а показана зависимость усилия деформирования от радиуса обрабатываемого отверстия для прямой схемы раскатывания и двух роликов в инструменте, диаметры которых равны половине диаметров обрабатываемого отверстия, а на рис. 3б показана зависимость радиального усилия деформирования по схеме обработки через промежуточные катки для пятироликового раскатника при разных частотах вращения инструмента. Из сопоставления графических зависимостей видно, что при одних и тех же частотах вращения инструмента усилие деформирования по схеме через промежуточные катки больше, чем при обработке по прямой схеме раскатывания. Если учесть, что диаметры роликов при обработке через промежуточные катки имеют меньшие размеры, то можно сделать вывод, что раскатывание по схеме через промежуточные опорные катки

обладает несомненным преимуществом по сравнению с раскатником, работающим по прямой схеме, т. к. при этом достигается меньшая частота

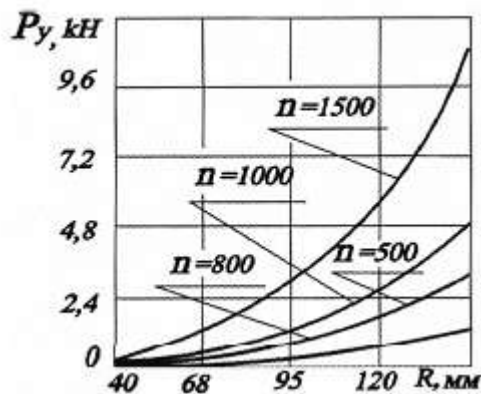
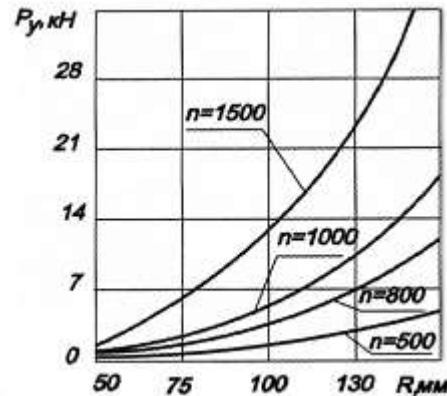


Рис. 3. Зависимость усилия деформирования от радиуса обрабатываемого отверстия и частоты вращения инструмента: а)-по схеме непосредственного раскатывания, количество роликов $z_p=2$, диаметры роликов равны половине диаметров обрабатываемых отверстий за вычетом зазоров; б)-по схеме раскатывания через промежуточные катки, количество катков $z_p=5$

ВЫВОД

1. Рассмотрены конструктивные особенности существующего деформирующего инструмента для обработки ППД. Установлены причины нестабильной обработки данным инструментом, намечены пути повышения надежности инструмента за счет выбора оптимальной конструкции

вращения детали, а, следовательно, можно обрабатывать детали, начиная с диаметров 90 мм и выше.



опорных конусов и способов крепления деформирующих инструментов в пазах сепараторов.

2. Предложен не применяемый на практике способ центробежного вскрытия отверстий, обеспечивающий стабильное заданное качество поверхностного слоя при высокой производительности обработки. Получены математические модели для расчета конструктивных параметров формовочных машин.

3. Разработаны основные положения и методы автоматизированного расчета рациональных конструктивных параметров деформирующего инструмента и технологических режимов обработки при ППД.

References:

1. В.Г. Ковалёв, С.В. Ковалёв ТЕХНОЛОГИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ Технологическое обеспечение точности и стойкости
2. Burr, 1. R. (1976). Statistical Quality Control Methods Marcel Dekker, New York, New York.
3. Ford Motor Company (1984). Continuing Process Control and Process Capability Improvement. Ford Motor Company, Dearborn, MI. часть 3.2
4. Hahn, G. J. (1970). "Statistical Intervals for a Normal Population Part 1. Tables. Examples and Applications." Journal of Quality Technology 2, pp. 115-125. часть 3.2



5. Hotter, P. (1985). "Moving to Prevention: An Industry in Transition." Quality Progress 18, pp. 24-26. часть 3.2
6. Jessup, P. T. (1983). "Process Capability, The Value of Improved Performance," paper presented at the ASQC Automotive Division Workshop Seminar, November 2-4, Southfield, Michigan. часть 3.2
7. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987, с.100
8. Дударев А.С., Свищев В.И. (RU) Способ сверления полимерных композиционных материалов. Патент РФ №2044170.
9. Fayzimatov S. N., Xusanov Y. Y., Valixonov D. A. Optimization Conditions Of Drilling Polymeric Composite Materials //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – Т. 3. – №. 02. – С. 22-30.
10. Fayzimatov B. N., Numanovich F. S., Khusanov Y. Y. Perspective drilling methods, non-technological holes in polymeric composite materials //International Journal of Engineering Research and Technology. – 2021. – Т. 13. – №. 12. – С. 4823-4831.
11. Хусанов Ю. Ю., Абдуллаев Б. И. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ //Scientific progress. – 2022. – Т. 3. – №. 3. – С. 156-165.
12. Fayzimatov B. N., Khusanov Y. Y., Abduvoxidov S. Z. O. G. L. VIBROACOUSTIC SIGNALS IN CUTTING METALS //Scientific progress. – 2022. – Т. 3. – №. 4. – С. 118-126.
13. Khusanov Y. Y., Nematjonov H. ADVANCED DRILLING METHODS, NON-TECHNOLOGICAL HOLES //Scientific progress. – 2022. – Т. 3. – №. 4. – С. 137-145.
14. Fayzimatov U., Xodjimuxamedova M., Khusanov Y. Y. ANALYSIS OF THE METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF SPOT WELDING MACHINES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY //Scientific progress. – 2022. – Т. 3. – №. 4. – С. 127-136.
15. Хусанов Ю. Ю., Тўхтасинов Р. Д. Ў. Полимер композит материалларга механик ишлов беришнинг зарурати //Scientific progress. – 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 866-869.
16. Хусанов Ю. Ю., Носиров М. Пармалаш Операциясини Асосий Вақтига Тасир Этувчи Омиллар Тахлили Ва Математик Моделлари //Scientific progress. – 2022. – Т. 3. – №. 1. – С. 753-760.
17. Хусанов Ю. Ю., Мамасидиқов Б. Э. Ў. ПОЛИМЕР КОМПОЗИТ МАТЕРИАЛЛАРНИ ПРАМАЛАШДА ҚИРИНДИ ҲОСИЛ БЎЛИШ ЖАРАЁНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ //Scientific progress. – 2021. – Т. 2. – №. 1. – С. 95-104.
18. Xusanov Y. Y. et al. Avtomobil Oynalarga Mexanik Ishlov Berish Jarayonlariga Moylash Sovutish Technologik Vositasining Ta'siri //Scientific progress. – 2021. – Т. 2. – №. 6. – С. 1546-1555.
19. Хусанов Ю. Ю., Таштанов Х. Н. Ў., Сатторов А. М. Машина деталлари пармалаб ишлов бериладиган нотехнологик юзалар турлари //Scientific progress. – 2021. – Т. 2. – №. 1. – С. 1322-1332.
20. Xusanov Y. Y., Valixonov D. A. O. G. L. Polimer kompozitsion materiallardan tayyorlangan detallarni parmalashni asosiy ko 'rinishlari //Scientific progress. – 2021. – Т. 1. – №. 6. – С. 1169-1174.