В. А. Санинский², Е. А. Федянов¹, Е. Н. Нестеренко²

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ
КАНАЛАМИ ДОРНУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОШИВОК**

¹ **ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**

² **Волжский политехнический институт (филиал)**

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

E-mail: saninv@rambler.ru

В статье рассмотрены возможные варианты подвода смазочно-охлаждающей жидкости к режуще-деформирующим зубьям многозубой прошивки для обработки глубоких отверстий. Указаны преимущества и недостатки каждой из схем. Отмечено, что при продавливании смазывающей-охлаждающей жидкости (СОЖ) через прямые или винтовые щелевые канавки, выполненные на наружной поверхности дорнующих зубьев, на обрабатываемой поверхности создаются «демпфирующие подушки», улучшающие процесс дорнования и снижающие износ прошивок для обработки глубоких отверстий. Для каждой из схем изложена методика расчета расхода СОЖ в зависимости от параметров щелевых канавок для перетекания СОЖ и давления ее подачи. Возможность расчета расхода СОЖ через режуще-деформирующие зубья многозубых прошивок позволяет правильно назначать режимы обработки и тем самым повышать технико-экономическую эффективность механической обработки длинномерных трубных заготовок.

Ключевые слова: дорнование, глубокие отверстия, снижение износа инструмента, расход смазочно-охлаждающей жидкости, методика расчета расхода.

V. A. Saninsky², E. A. Fedyanov¹, E. N. Nesterenko²

CALCULATION OF PARAMETERS OF CHANNEL THROTTLING OF EXPENSIVE ELEMENTS OF FIRMWARE

¹ Volgograd State Technical University

² Volzhsky Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University

The article considers possible options for supplying coolant to the cutting and deforming teeth of multi-pronged firmware for processing deep holes. The advantages and disadvantages of each scheme are indicated. It is noted that when the lubricant-cooling liquid (coolant) is pushed through straight or screw slotted grooves made on the outer surface of the mandrel teeth, "damping pads" are created on the surface to be processed, which improve the mandrel process and reduce wear of the stitches for processing deep holes. For each of the schemes, a method for calculating the coolant flow rate is described, depending on the parameters of the slotted grooves for the coolant flow and the pressure of its supply. The ability to calculate the consumption of coolant through the cutting and deforming teeth of multi-toothed stitches allows you to correctly assign processing modes and, thereby, increase the technical and economic efficiency of mechanical processing of long pipe blanks.

Keywords: burnishing, deep hole, reducing wear, consumption of cutting fluid, methods of calculating consumption.

При обработке глубоких отверстий (ГО) методом деформирующего прошивания значительное влияние на показатели точности и шероховатости оказывают геометрические параметры дорнующих элементов прошивки [1–2]. Количество дорнующих элементов и связанное с ним число рабочих ходов прошивки ограничивается явлением шелушения обработанной поверхности, а допустимое число рабочих ходов ходов прошивки с заданными значениями натяга i_d на каждый зуб зависит, в том числе, от условий смазки и охлаждения зубьев в процессе дорнования [1–2]. При таких ограничениях улучшение условий смазки и охлаждения позволяет снизить износ инструмента и способствует повышению точности и качества обработки ГО. Особенно важной является задача повышения стойкости инструмента при обработке глубоких отверстий совмещенным режуще-деформирующим прошиванием [1].

Рис. 1. Схема подачи СОЖ к дорнующим зубьям со стороны обрабатываемого отверстия

Кроме того, недостатками схемы с последовательным подводом СОЖ к зубьям являются необходимость заполнения ею всей полости ГО и ограничение скорости дорнования предельно допустимым давлением в жидкости, которое соответствует максимально возможный расход СОЖ при заданной геометрии щелевых канавок на зубьях дорна.

Известно несколько способов подвода смазочно-охлаждающей жидкости к дорнующему инструменту. Так, смазочно-охлаждающая жидкость может заполнять отверстие, поверхность которого подвергается дорнованию (рис. 1), и продавливаться последовательно через дорнующие зубья инструмента [1]. При этом для перетекания жидкости на калибрующих ленточках зубьев предусмотрены щелевые канавки. Щелевые канавки желательно располагать под углом к оси дорна или по винтовой линии с тем, чтобы обеспечить равномерные дорнование и поверхностную пластическую деформацию всей обработанной каждым зубом поверхности и исключить появление необработанных участков на поверхности ГО.

В случае подвода СОЖ со стороны ГО ее расход Q через щелевые канавки каждого из дорнующих зубьев будет одинаковым:

$$Q = \left(\frac{\delta^3 b}{12 \mu L} \Delta p_d - \frac{V_d \cdot \delta \cdot b}{2} \right) \cdot N, \quad (1)$$

где δ – высота щели, b – ширина щели, V_d – скорость движения дорна относительно стенки трубы, L – длина потока в щели, μ – динамическая вязкость СОЖ, N – число щелей в дорнующем зубе, Δp_d – перепад давлений при продавливании СОЖ через щели зуба. Первое слагаемое в формуле (1) выражает расход вследствие напорного течения под действием перепада давлений Δp_d , а второе – вследствие фрикционного течения, обусловленного движением одной из стенок щелевого канала относительно другой. Знак "–" в формуле расхода отражает то, что жидкость в каналах зубьев и сам дорн относительно поверхности трубы движутся в разные стороны.

Если принять, что число щелей и их размеры на каждом из зубьев одинаковы, то перепад давлений на каждом зубе будет один и тот же:

$$\Delta p_d = \frac{P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}}{N_d}, \quad (2)$$

где N_d – число дорнующих зубьев; $P_{\text{СОЖ}}$ – давление смазочно-охлаждающей жидкости, обусловленное действием толкателя на дорнующую прошивку и, соответственно, прошивки на жидкость, находящуюся в ГО.

Когда дорн входит в обрабатываемое отверстие и в работе только первый зуб, то перепад давлений на нем будет равен $P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}$ и расход через щели этого зуба будет больше:

$$Q_1 = \left(\frac{\delta^3 b}{12\mu L} (P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}) - \frac{V_d \cdot \delta \cdot b}{2} \right) \cdot N. \quad (3)$$

Когда в работе два зуба, общий перепад давлений распределится между ними.

Изменяя параметры щелевых канавок на дорнующих зубьях, можно управлять величиной расхода СОЖ и распределением перепадов давления между зубьями. Эти же факторы будут влиять на возможную скорость дорнования, так как значение $P_{\text{СОЖ}}$ не может превысить некоторую предельную величину, определяемую максимальным усилием толкателя и допустимой деформацией обрабатываемой детали и деталей технологической установки под действием указанного давления.

При последовательном продавливании СОЖ через канавки каждого из зубьев давление СОЖ от первого зуба к последующим понижается, что приводит к ухудшению условий смазки.

Рис. 2. Схема подвода СОЖ между первым и последующими зубьями

Другой способ подвода СОЖ к дорнующему инструменту иллюстрирует рис. 2. СОЖ подводится в пространство между первым и последующими зубьями и продавливается через щелевые канавки первого зуба в направлении

движения дорна и через щелевые канавки последующих зубьев в направлении, противоположенном движению дорна. При такой схеме подвода СОЖ можно, изменяя геометрию щелевых канавок первого и последующих зубьев, обеспечить различный расход жидкости через передний зуб, с одной стороны, и через последующие зубья, с другой.

Расход СОЖ через щелевые канавки первого зуба в полость ГО будет

$$Q_1 = \left(\frac{\delta_1^3 b_1}{12\mu L_1} (P_{\text{СОЖ}} - P_{\text{атм}}) + \frac{V_d \cdot \delta_1 \cdot b_1}{2} \right) \cdot N_1. \quad (4)$$

В приведенной формуле все величины с индексом "1" характеризуют геометрию щелевых канавок первого зуба и их количество на этом зубе. Так как при рассматриваемом способе подвода охлаждающей жидкости направление ее течения через канавки первого зуба и направление движения дорна совпадают, в формуле указан знак сложения. Для последующих за первым зубьев расход жидкости определяется по формуле, аналогичной формуле (1), но вместо с индекса «1» применяются индексы «2», «3» и т. д.

Преимуществом варианта с подводом СОЖ в пространство между первым и вторым зубом дорна является то, что давление $P_{\text{СОЖ}}$, под которым подводится жидкость, не связано с усилием на толкателе и со скоростью перемещения дорна. Это давление не лимитирует скорость перемещения дорна, и его можно регулировать пропорциональными регуляторами, тем самым меняя желательным образом расход СОЖ.

Третьим, наиболее сложным по конструкции инструмента, но вместе с тем наиболее гибким по возможностям управления расходами СОЖ через отдельные зубья многозубых дорнов, вариантом подвода СОЖ является ее параллельный подвод к деформирующе-режущим зубьям (рис. 3). СОЖ подводится в камеры между зубьями по каналам 1, выполненным в теле прошивки 2. При этом подвод осуществляется не во все последовательные камеры, а через одну. В четных, по порядку следования, камерах располагаются отверстия в сливные каналы 3.

При такой схеме подвода становится возможным поддерживать одинаковое для всех зубьев давление, под которым продавливается СОЖ через выполненные на них щелевые канавки. При необходимости давление, под которым подводится СОЖ в каждую из камер, можно регулировать с помощью дроссельных устройств 4, установленных на подводящих магистралях 5.

Рис. 3. Схема подачи СОЖ в нечетные камеры между дорнующим зубьями

Расход Q_k смазочно-охлаждающей жидкости через каждую из камер, в которую выходят подводщие каналы 1, складывается из расходов через передний (по ходу движения дорна) и задний зубья:

$$Q_k = Q_n + Q_z. \quad (5)$$

В свою очередь расходы Q_n и Q_z связаны с давлением p_k подвода СОЖ в камеру следующим образом:

$$Q_n = \left(\frac{\delta_n^3 b_n}{12 \mu L_n} (p_k - p_c) + \frac{V_d \cdot \delta_n \cdot b_n}{2} \right) \cdot N_n, \quad (6)$$

$$Q_z = \left(\frac{\delta_z^3 b_z}{12 \mu L_z} (p_k - p_c) - \frac{V_d \cdot \delta_z \cdot b_z}{2} \right) \cdot N_z, \quad (7)$$

где p_c – давление в камере между зубьями, через которую осуществляется слив СОЖ. Если гидравлические сопротивления сливных каналов малы, то можно принять $p_c = p_{атм}$.

Приведенные выше формулы позволяют, задавшись геометрией щелевых каналов на дорнующих зубьях, определить расход СОЖ при заданных значениях давления ее подачи или решить обратную задачу – определить требуемые давления подачи СОЖ для достижения желательного ее расхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санинский, В. А. Обоснование расширения возможностей режуще-деформирующего прошивания глубоких отверстий при ремонте машин сельскохозяйственного назначения / В. А. Санинский, А. В. Грибенченко, Е. Н. Смирнова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 284–293.
2. Бакаев, А. А. Расширения технологических возможностей процесса прошивания за счет регуляризации рабочих поверхностей инструмента / А. А. Бакаев, В. М. Скоромнов // Технология машиностроения. – 2013. – № 12. – С. 13–15.