

УДК 621.951.4

МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.53297/18293387-2023.1-54

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИН РЕЗАНИЯ РЕЖУЩИХ СТУПЕНЕЙ
ЛЕЗВИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ИЗ УСЛОВИЯ
РАВЕНСТВА ПЕРИОДОВ ИХ СТОЙКОСТИ**

Б.А. Баласанян, А.Л. Аршакян, О.С. Чибухчян, Б.С. Баласанян, М.Е. Закарян

Национальный политехнический университет Армении

Обосновано, что дополнительным резервом для повышения производительности процесса сверления может быть применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием, в котором глубины резания его режущих ступеней определены из условия равенства их периодов стойкости.

Целью работы является исследование возможности повышения периода стойкости спирального сверла с многоступенчатым лезвием на основе разработки методики определения глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости.

Разработана математическая модель процесса сверления металлов спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием для расчета глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости. В среде LabView разработана программа для расчета суммарных величин крутящего момента, осевых сил и произведений всех его режущих ступеней в зависимости от числа режущих ступеней, определенных из того же условия. Установлено, что при сверлении отверстий в сплаве 12Х18Н9Т, по сравнению с традиционным спиральным сверлом из быстрорежущей стали, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет уменьшить P_{sum} в 1,6 раза, M_{sum} – почти в 2 раза и F_{sum} - до 23-х раз.

Показано, что, по сравнению с традиционным процессом сверления, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет повысить производительность процесса сверления с увеличением подачи до 3,5 раза, с увеличением числа оборотов его вращения - до 2,35 раза.

Разработанные виртуальные приборы могут найти применение в процессах проектирования многоступенчатых спиральных сверл, при разработке технологии обработки отверстий в различных металлах и сплавах, а также могут быть полезны магистрантам, аспирантам и научным работникам машиностроительных специальностей при проведении исследований.

Ключевые слова: спиральное сверло, многоступенчатое лезвие, число ступеней, глубина резания, условие, период стойкости, обрабатываемый материал.

Введение. При механической обработке материалов лезвийным инструментом, в том числе и в процессе сверления отверстий спиральным сверлом, в результате взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов контактные площадки на передней и задней поверхностях

режущего инструмента изнашиваются с образованием фаски износа, величина которой различна как по длине лезвия, так и по длине спирали. Часто ее величина больше у вершины сверла, что объясняют интенсификацией абразивного изнашивания и появлением термических напряжений и трещин в материале режущего инструмента [1-5].

Одним из способов снижения износа и увеличения периода стойкости спирального сверла является нанесение на его режущие поверхности износостойких покрытий [6-12], которые позволяют сместить оптимальную скорость резания в сторону больших ее значений [9,10,12]. Следует отметить, что эти методы не всегда доступны для производства, особенно для небольших механических и ремонтных цехов. Поэтому технологи этих производств назначают такие режимы обработки, при которых резание осуществляется с минимальной осевой силой и крутящим моментом сверла и применением смазочно-охлаждающей жидкости [1-4], что способствует повышению периода ее стойкости.

Проведенные нами исследования [13-17] показали, что применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет значительно улучшить динамику процесса резания. Основной проблемой при проектировании такого сверла является установление глубины резания каждой режущей ступени, для определения которой можно использовать разработанные в НПУА четыре известных подхода [13-17].

В первом случае глубины резания каждой режущей ступени сверла с многоступенчатым лезвием определяются из условия равенства произведений крутящих моментов и осевых сил всех режущих ступеней [14], во втором - из условия равенства осевых сил всех режущих ступеней [15], в третьем - из условия равенства крутящих моментов всех режущих ступеней [16], в четвертом - из условия равенства глубин резания всех режущих ступеней [17]. Следует отметить, что, независимо от принятого условия определения оптимального числа режущих ступеней сверла, они осуществляют обработку с различной скоростью резания, вследствие чего одна из режущих ступеней изнашивается раньше других, что для всего сверла будет лимитирующим износом. С другой стороны, режущие ступени сверла с многоступенчатым лезвием будут работать в менее нагруженных условиях по сравнению с работой лезвия обычного сверла, вследствие чего появится возможность повышения скорости резания, что, безусловно, будет способствовать повышению производительности процесса сверления.

В этой связи поставлена задача разработки методики определения глубин резания многоступенчатого спирального сверла из условия равенства периодов стойкости каждой его режущей ступени, т.е. из условия

$$T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_z. \quad (1)$$

Целью работы является исследование возможности повышения периода стойкости спирального сверла с многоступенчатым лезвием на основе разработки методики определения глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости.

Задачи исследования. Для достижения намеченной цели поставлены следующие задачи:

- разработать математическую модель процесса сверления металлов спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием с целью расчета глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости;
- по аналогии с известными математическими моделями процесса сверления металлов спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием, глубины резания каждой режущей ступени которых определены из известных условий [13-17], разработать программу для расчета глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости и определения в этом случае суммарных крутящего момента M_{sum} , осевых сил P_{sum} и их произведений F_{sum} в зависимости от числа его режущих ступеней Z ;
- определить число оборотов и подачу на один оборот вращения сверла с многоступенчатым лезвием, при котором наименьший период стойкости каждой из режущих ступеней станет равным периоду стойкости обычного спирального сверла;
- количественно оценить возможность повышения производительности процесса сверления применением сверла с многоступенчатым лезвием.

Теоретические исследования. Скорости резания V_1 при сверлении и V_2 при рассверливании в м/мин определяют по известным формулам [1-4,18-21]:

при сверлении -

$$V_1 = \frac{C_{v1} \cdot D_1^{q_1}}{T_1^{m_1} \cdot S^{Y_{V1}}} \cdot k_v; \quad (2)$$

при рассверливании -

$$V_2 = \frac{C_{v2} \cdot D_2^{q_2}}{T_2^{m_2} \cdot t^{X_{V2}} \cdot S^{Y_{V2}}} \cdot k_v, \quad (3)$$

где T_1 и T_2 - соответственно периоды стойкости сверла при сверлении и рассверливании, мин; m_1 и m_2 - соответственно показатели относительной стойкости инструмента при сверлении и рассверливании; D_1 , D_2 и q_1 , q_2 - наибольшие диаметры инструмента и их показатели степени соответственно при сверлении и рассверливании, мм; C_{v1} , X_{v1} , Y_{v1} и C_{v2} , X_{v2} , Y_{v2} - коэффициенты, характеризующие условия обработки соответственно при сверлении и рассверливании; $k_v = k_{mv} \cdot k_{iv} \cdot k_{lv}$ - общий поправочный

коэффициент, позволяющий сопоставить их табличные значения с реальными условиями обработки с учетом глубины сверления и физико-механических свойств материалов обрабатываемой детали и режущего инструмента, которые приведены в справочной литературе [18-21].

Из (2) и (3) можно получить формулы для расчета периодов стойкости первой и второй режущих ступеней сверла соответственно при сверлении и рассверливании в виде выражений

$$T_1 = \left(\frac{C_{v1} \cdot D_1^{q_1}}{V_1 \cdot S^{Y_{v1}}} \cdot k_v \right)^{\frac{1}{m_1}} \text{ и } T_2 = \left(\frac{C_{v2} \cdot D_2^{q_2}}{V_2 \cdot t^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \cdot k_v \right)^{\frac{1}{m_2}},$$

которые с учетом $V_1 = \frac{\pi D_1 n}{1000}$ и $V_2 = \frac{\pi D_2 n}{1000}$ после преобразований можно переписать в виде

$$T_1 = \left(\frac{1000 \cdot C_{v1} \cdot k_{v1}}{\pi \cdot n} \cdot \frac{D_1^{q_1-1}}{S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} = K_{v1} \cdot \left(\frac{D_1^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}},$$

$$T_2 = \left(\frac{1000 \cdot C_{v2} \cdot k_{v2}}{\pi \cdot n} \cdot \frac{D_2^{q_2-1}}{t_2^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}} = K_{v2} \cdot \left(\frac{D_2^{q_2-1}}{n \cdot t_2^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}},$$

где $K_{v1} = \left(\frac{1000 \cdot C_{v1} \cdot k_{v1}}{\pi} \right)^{\frac{1}{m_1}}$, $K_{v2} = \left(\frac{1000 \cdot C_{v2} \cdot k_{v2}}{\pi} \right)^{\frac{1}{m_2}}$.

Учитывая, что для выбранных режимов сверления первая режущая ступень сверла с многоступенчатым лезвием осуществляет обычный процесс сверления, а последующие зубья - рассверливание отверстий, обработанных предыдущей ступенью, то для соответствующих режущих ступеней сверла можно записать

$$T_1 = K_{v1} \cdot \left(\frac{D_1^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}}, \quad T_2 = K_{v2} \cdot \left(\frac{D_2^{q_2-1}}{n \cdot t_2^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}},$$

$$T_3 = K_{v2} \cdot \left(\frac{D_3^{q_2-1}}{n \cdot t_3^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \quad T_4 = K_{v2} \cdot \left(\frac{D_4^{q_2-1}}{n \cdot t_4^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \dots$$

$$\dots T_{Z-1} = K_{v2} \cdot \left(\frac{D_Z^{q_2-1}}{n \cdot t_{Z-1}^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \quad T_Z = K_{v2} \cdot \left(\frac{D_Z^{q_2-1}}{n \cdot t_Z^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}},$$

где нижний цифровой индекс показывает номер режущей ступени.

Учитывая также, что $D_1 = 2t_1$, $D_2 = 2(t_1 + t_2)$, $D_3 = 2(t_1 + t_2 + t_3)$, $\dots$ $D_Z = 2(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z)$, из выражения (3) можно получить

$$T_1 = K_{v1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}},$$

$$T_2 = K_{v2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2))^{q_2-1}}{n \cdot t_2^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}.$$

$$T_Z = K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1+t_2+t_3+\dots+t_{Z-1}))^{q_2-1}}{n \cdot t_{Z-1}^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}},$$

$$T_Z = K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1+t_2+t_3+\dots+t_Z))^{q_2-1}}{n \cdot t_{v_2}^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}.$$

Таким образом, с учетом (3) из выражения (5) можно получить формулу

$$K_{v_1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v_1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} = K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2))^{q_2-1}}{n \cdot t_2^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}} =$$
$$= K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3))^{q_2-1}}{n \cdot t_3^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}} =$$
$$= K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3 + t_4))^{q_2-1}}{n \cdot t_4^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}} =$$
$$\dots\dots\dots$$
$$= K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{Z-1}))^{q_2-1}}{n \cdot t_{Z-1}^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}} =$$
$$= K_{v_2} \cdot \left(\frac{(2(t_1+t_2+t_3+\dots+t_Z))^{q_2-1}}{n \cdot t_Z^{X_{v_2}} \cdot S^{Y_{v_2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \text{ которую можно представить в виде системы}$$

уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} K_{v1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} &= K_{v2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2))^{q_2-1}}{n \cdot t_2^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \\ K_{v1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} &= K_{v2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3))^{q_2-1}}{n \cdot t_3^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \\ K_{v1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} &= K_{v2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3 + t_4))^{q_2-1}}{n \cdot t_4^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \\ &\dots \dots \dots \\ K_{v1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} &= K_{v2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{Z-1}))^{q_2-1}}{n \cdot t_{Z-1}^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \\ K_{v1} \cdot \left(\frac{(2t_1)^{q_1-1}}{n \cdot S^{Y_{v1}}} \right)^{\frac{1}{m_1}} &= K_{v2} \cdot \left(\frac{(2(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z))^{q_2-1}}{n \cdot t_Z^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}} \right)^{\frac{1}{m_2}}, \\ t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z &= 0.5D_7 = t. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$m_1 = m_2 = m$, выражение (6) можно переписать в виде

$$\left\{ \begin{aligned} K_{v1}^m \cdot \frac{t_1^{q_1-1}}{S^{Y_{v1}}} &= K_{v2}^m \cdot \frac{(t_1 + t_2)^{q_2-1}}{t_2^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}}, \\ K_{v1}^m \cdot \frac{t_1^{q_1-1}}{S^{Y_{v1}}} &= K_{v2}^m \cdot \frac{(t_1 + t_2 + t_3)^{q_2-1}}{t_3^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}}, \\ K_{v1}^m \cdot \frac{t_1^{q_1-1}}{S^{Y_{v1}}} &= K_{v2}^m \cdot \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)^{q_2-1}}{t_3^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}}, \\ &\dots\dots\dots \\ K_{v1}^m \cdot \frac{t_1^{q_1-1}}{S^{Y_{v1}}} &= K_{v2}^m \cdot \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{Z-1})^{q_2-1}}{t_Z^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}}, \\ K_{v1}^m \cdot \frac{t_1^{q_1-1}}{S^{Y_{v1}}} &= K_{v2}^m \cdot \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z)^{q_2-1}}{t_Z^{X_{v2}} \cdot S^{Y_{v2}}}, \\ t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z &= 0,5D_Z = t. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

(7) можно получить

$$\begin{aligned}
t_Z^{x_{v2}} &= \left(\frac{K_{v2}}{K_{v1}}\right)^m \cdot S^{Y_{v1}-Y_{v2}} \cdot \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z)^{q_2-1}}{t_1^{q_1-1}} \rightarrow \\
&\rightarrow t_Z = \frac{(K_{v2}/K_{v1})^{\frac{m}{x_{v2}}} \cdot S^{\frac{Y_{v1}-Y_{v2}}{x_{v2}}} \cdot t_1^{\frac{1-q_1}{x_{v2}}}}{t^{\frac{1-q_2}{x_{v2}}}}.
\end{aligned} \tag{8}$$

случае (8) примет вид: $t_Z = \frac{a \cdot t_1^e}{t^b}$.

Тем самым получена зависимость глубины резания последнего режущего зуба многоступенчатого спирального сверла от глубины резания первой его режущей ступени. Аналогично можно получить такие зависимости для всех режущих ступеней многоступенчатого спирального сверла, которые сведены в нижеприведенную систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{a \cdot t_1^e}{(t_1 + t_2)^b} = t_2, \\ \frac{a \cdot t_1^e}{(t_1 + t_2 + t_3)^b} = t_3, \\ \frac{a \cdot t_1^e}{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4)^b} = t_4, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{a \cdot t_1^e}{(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{Z-1})^b} = t_{Z-1}, \\ \frac{a \cdot t_1^e}{t^b} = t_Z, \\ t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_Z = 0.5D_Z = t, \\ a = (K_{v2}/K_{v1})^{\frac{m}{X_{v2}}} \cdot S^{\frac{Y_{v1}-Y_{v2}}{X_{v2}}}, b = \frac{1-q_2}{X_{v2}}, \quad e = \frac{1-q_1}{X_{v2}}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Таким образом, разработана математическая модель процесса сверления металлов спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием для расчета глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости в виде системы уравнений (9), для определения которых можно использовать разработанный нами ранее виртуальный прибор в среде LabView [17].

Методика решения. По аналогии с известными программами математических моделей процесса сверления металлов спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием, глубины резания каждой режущей ступени которых определены из известных условий [14-17], в среде LabView разработана программа для расчета суммарных крутящего момента, осевых сил и произведений всех его режущих ступеней в зависимости от числа режущих ступеней, определенных из условия равенства периодов их стойкости, лицевая панель которой представлена на рис.1.

Входными параметрами подпрограммы являются (рис.1) обрабатываемый и инструментальный материалы, механические характеристики σ_B и HB обрабатываемого материала, глубина сверления 0.5D традиционного сверла, число режущих ступеней многоступенчатого спирального сверла, которые задаются соответствующими контроллерами.

После запуска программы, в зависимости от заданных параметров на выходе, строятся графики зависимостей суммарных крутящего момента $M_{sum}=f_2(Z)$ Graph, осевых сил - $P_{sum}=f_1(Z)$ Graph и их произведений $F_{sum}=f_3(Z)$ Graph спирального сверла с многоступенчатым лезвием в зависимости от числа режущих ступеней Z , глубины резания которых определены из условия равенства их периодов стойкости.

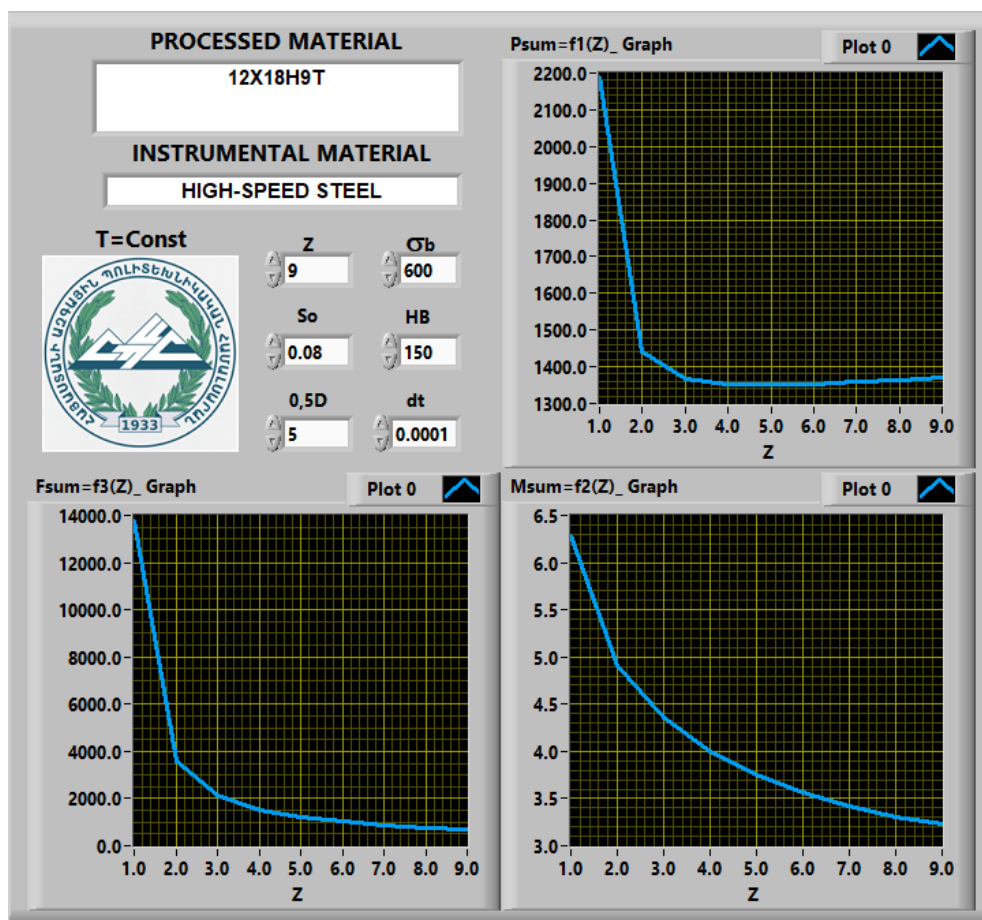


Рис.1. Лицевая панель подпрограммы расчета суммарных величин крутящего момента M_{sum} , осевых сил P_{sum} и их произведений F_{sum} спирального сверла с многоступенчатым лезвием в зависимости от числа режущих ступеней Z , глубины резания, определенных из условия равенства их периодов стойкости

Анализ этих графиков (рис.1) показывает, что и при сверлении отверстий в сплаве 12X18H9T, по сравнению с традиционным спиральным сверлом из быстрорежущей стали, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет уменьшить P_{sum} в 1,6 раза, M_{sum} – почти в 2 раза и F_{sum} – до 23-х раз.

На рис.2 приведена подпрограмма расчета глубин резания каждой режущей ступени спирального сверла с многоступенчатым лезвием, определенных из условия равенства их периодов стойкости, где к числу входных параметров добавлен контроллер для задания числа оборотов вращения сверла – n об/мин. Выходными параметрами подпрограммы

являются период стойкости традиционного спирального сверла - T_{trad} , глубины резания - $t_1 \dots t_9$, диаметры – $D_1 \dots D_9$ и периоды стойкости - $T_1 \dots T_9$ каждой режущей ступени спирального сверла с многоступенчатым лезвием.

PROCESSED MATERIAL
STRUCTURAL CARBON OR ALLOY STEEL, Sb<600

INSTRUMENTAL MATERIAL
HIGH-SPEED STEEL

So: 0.2 Z: 9 15.351 T_{trad}

n: 800 t=0.5D: 5 T_{const}

D: 10 dt: 0.0001

$t_1 \dots t_9$	$D_1 \dots D_9$	T_1	$T_2 \dots T_9$
1.212	2.423	1078.87	
1.373	5.169	1075	
0.6804	6.53	1076	
0.4586	7.447	1076	
0.3501	8.147	1077	
0.2857	8.718	1077	
0.2428	9.204	1077	
0.2121	9.628	1077	
0.1889	10.01	1077	

Рис.2. Лицевая панель подпрограммы расчета глубин резания каждой режущей ступени спирального сверла с многоступенчатым лезвием, определенных из условия равенства их периодов стойкости

На рис.2 режимы резания заданы таким образом, чтобы согласно справочным данным [21] можно было получить нормированный период стойкости традиционного спирального сверла величиной $T_{trad} \approx 15$ мин. Как видно из рис.2, для полученных глубин резания $t_1 \dots t_9$ и диаметров $D_1 \dots D_9$ ступеней спирального сверла с многоступенчатым лезвием периоды стойкости хотя и равны друг другу, однако, как нам кажется, их величины далеки от реальности. Вероятно, это связано с ограничениями входных параметров при определении эмпирических зависимостей, приведенных в известной справочной литературе [21].

На рис.3 показаны условия повышения производительности процесса сверления многоступенчатым спиральным сверлом путем увеличения числа оборотов n его вращения, а на рис.4 – того же, путем увеличения его подачи S , с сохранением нормированного периода стойкости всех режущих ступеней величиной порядка 15 мин.

PROCESSED MATERIAL
STRUCTURAL CARBON OR ALLOY STEEL, Sb<600

INSTRUMENTAL MATERIAL
HIGH-SPEED STEEL

So: 0.2 Z: 9 T_{trad}: 0.214189

n: 1880 t=0.5D: 5 T_{const}

D: 10 dt: 0.0001

t1...t9	D1...D9	T1	T2..T9
1.212	2.423	15.053	15
1.373	5.169	15.01	15.01
0.6804	6.53	15.02	15.02
0.4586	7.447	15.02	15.02
0.3501	8.147	15.02	15.02
0.2857	8.718	15.02	15.02
0.2428	9.204	15.02	15.02
0.2121	9.628	15.03	15.03
0.1889	10.01	15.03	15.03

Рис.3. Определение числа оборотов вращения многоступенчатого спирального сверла с сохранением нормированного периода стойкости всех режущих ступеней

PROCESSED MATERIAL
STRUCTURAL CARBON OR ALLOY STEEL, Sb<600

INSTRUMENTAL MATERIAL
HIGH-SPEED STEEL

So: 0.7 Z: 9 T_{trad}: 0.236094

n: 1000 t=0.5D: 5 T_{const}

D: 10 dt: 0.0001

t1...t9	D1...D9	T1	T2..T9
1.241	2.481	15.4561	15.43
1.353	5.188	15.43	15.43
0.6755	6.539	15.43	15.43
0.4564	7.451	15.44	15.44
0.3489	8.149	15.44	15.44
0.2848	8.719	15.44	15.44
0.2422	9.203	15.44	15.44
0.2116	9.626	15.44	15.44
0.1886	10	15.44	15.44

Рис.4. Определение подачи многоступенчатого спирального сверла с сохранением нормированного периода стойкости всех режущих ступеней

Видно (рис.2 и 3), что, по сравнению с традиционным процессом сверления, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет увеличить число оборотов его вращения с $n=800$ об/мин до $n=1880$ об/мин, что способствует повышению производительности процесса сверления до 2,35 раза. При тех же режимах резания период стойкости обычного спирального сверла составляет всего 0,24 мин (рис. 3). Аналогично (рис. 2 и 4), по сравнению с традиционным процессом сверления, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет увеличить подачу с $S_o=0,2$ мм/об до $S_o=0,7$ мм/об, т.е. повысить производительность процесса сверления до 3,5 раза.

Закключение. Разработана математическая модель процесса сверления металлов спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием для расчета глубин резания каждой его режущей ступени из условия равенства периодов их стойкости.

В среде LabView разработана также программа для расчета суммарных крутящего момента, осевых сил и произведений всех его режущих ступеней в зависимости от числа режущих ступеней, определенных из условия равенства периодов их стойкости.

Установлено, что при сверлении отверстий в сплаве 12Х18Н9Т, по сравнению с традиционным спиральным сверлом из быстрорежущей стали, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет уменьшить P_{sum} в 1,6 раза, M_{sum} – почти в 2 раза и F_{sum} - до 23-х раз.

Показано, что, по сравнению с традиционным процессом сверления, применение спирального сверла с многоступенчатым лезвием позволяет увеличить подачу с $S_o=0,2$ мм/об до $S_o=0,7$ мм/об, т.е. повысить производительность процесса сверления до 3,5 раза, или увеличить число оборотов его вращения с $n=800$ об/мин до $n=1880$ об/мин, т.е. повысить производительность процесса сверления до 2,35 раза.

Разработанные виртуальные приборы могут найти применение в процессах проектирования многоступенчатых спиральных сверл, при разработке технологии обработки отверстий в различных металлах и сплавах, а также могут быть полезны магистрантам, аспирантам и научным работникам машиностроительных специальностей при проведении своих исследований. Исследования в этом направлении продолжаются.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по науке при Министерстве образования, науки, культуры и спорта Республики Армения в базовой лаборатории “Машиностроительные технологии” Национального политехнического университета Армении в рамках научного проекта № 21Т-2D199.

Литература

1. **Зорев Н.Н.** Вопросы механики процесса резания металлов. - М.: Машгиз, 1956.- 368 с.
2. **Грановский Г.И., Грановский В.Г.** Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985.- 304 с.
3. **Блюменштейн В.Ю., Клепцов А.А.** Основы технологии машиностроения: Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп.– Кемерово: КузГТУ, 2017. – 308 с.
4. **Ящерицын П.И., Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А.** Теория резания: Учебник.– 2-е изд., исп. и доп. – Минск:Новое издание, 2006.- 512 с.
5. **Талантов Н. В.** Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1992. – 240 с.
6. **Рандин А.В.** Повышение работоспособности быстрорежущего инструмента путем нанесения износостойких покрытий с переходными адгезионными слоями: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Рандин Алексей Владимирович. – Ульяновск, 2003. – 187 с.

7. **Табакон В.П., Смирнов М.Ю., Тулисов А.Н., Чихранов А.В.** Методика расчета трещиностойкости многослойных покрытий режущего инструмента// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – №3. – С. 43 – 48.
8. **Давлетбаева Р.Р.** Покрытие для режущего инструмента // Молодой ученый. — 2017. — №2. — С. 98-101.
9. **Самотугин С.С., Мазур В.А., Гагарин В.А., Терехов П.А.** Повышение стойкости спиральных сверл поверхностной плазменной обработкой// Захистметалургійних машин від поломок: Зб. наукових праць / ПДТУ. - Мариуполь, 2009. - Вып. 11. - С. 237-240.
10. **Верещака А.С., Третьяков И.П.** Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
11. **Романов А.А., Андреев А.А., Логинов А.С.** Упрочнение режущего инструмента из быстрорежущих сталей методом конденсации с ионной бомбардировкой // ПТБ. – 1973. – №8. – С. 26–28.
12. **Григорьев С.Н.** Методы повышения стойкости режущего инструмента. –М.: Машиностроение, 2011. –368 с.
13. **Баласанян Б.А., Аршакян А.Л., Баласанян А.Б., Карапетян А.Р.** Об одном подходе к определению оптимальных геометрических параметров спирального сверла с многоступенчатым лезвием // Вестник НПУА: Механика, машиноведение, машиностроение. – 2020. – N2. - С. 94-105.
14. **Баласанян Б.А., Гаспарян П.Ю., Аршакян А.Л., Баласанян А.Б.** Повышение эффективности сверления отверстий спиральным сверлом с многоступенчатым лезвием // Вестник НПУА: Механика, машиноведение, машиностроение.-2021. – N1. – С. 64-75. DOI: 10.53297/18293387-2021.1-64
15. **Баласанян Б.А., Гаспарян П.Ю., Аршакян А.Л., Оганесян О.А.** Повышение эффективности процесса сверления отверстий многоступенчатым спиральным сверлом путем установления оптимального числа его режущих ступеней // Вестник НПУА: Механика, машиноведение, машиностроение.-2021. – N2. – С. 74-87. DOI: 10.53297/18293387-2021.2-74
16. **Баласанян Б.А.** Об одном подходе к определению оптимального числа режущих ступеней спирального сверла с многоступенчатым лезвием // Вестник НПУА: Механика, машиноведение, машиностроение. - 2022. – N1. – С. 54-66.
17. **Баласанян Б.А.** Методика расчета глубин резания режущих ступеней многоступенчатого спирального сверла из условия равенства их крутящих моментов // Вестник НПУА: Механика, машиноведение, машиностроение.-2022. – N2. – С. 68-81.
18. **Баранчиков В.И., Жаринов А.В., Юдина Н.Д., Садыхов А.И.** Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под общ. ред. В.И. Баранчикова.- М.: Машиностроение, 1990.- 400 с.
19. **Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А.** Обработка специальных материалов в машиностроении: Справочник.- М.: Машиностроение, 2002. - 264 с.
20. **Бобровский А.В., Бобровский А.В., Драчев О.И., Рыбьяков А.В.** Резание цветных металлов: Справочник - СПб.: Политехника, 2001. - 200 с.
21. **Справочник технолога машиностроителя. Том 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.** - М.: Машиностроение, 1986. - 496 с.

Поступила в редакцию 05.05.2023.

Отправлена на рецензию 10.05.2023.

Принята к опубликованию 25.09.2023.

**ԲԱԶՄԱՍՏԻՃԱՆ ՍԱՅՐՈՎ ՊԱՐՈՒՐԱԶԵՎ ԳԱՅԼԻԿՈՆԻ ԿՏՐՈՂ ԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ
ԽՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ՝ ԴՐԱՆՑ ՈԼՈՐՈՂ ՄՈՄԵՆՏՆԵՐԻ
ՀԱՎԱՍԱՐՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆԻՑ**

**Բ.Ա. Բալասանյան, Ա.Լ. Արշակյան, Հ.Ս. Չիբուխյան, Բ.Ս. Բալասանյան,
Զաքարյան Մ.Ե.**

Հիմնավորվում է, որ գայլիկոնման գործընթացի արտադրողականության բարձրացման լրացուցիչ ռեզերվ կարող է լինել բազմաստիճան սայրով պարուրածն գայլիկոնի օգտագործումը, որում դրա կտրող քայլերի կտրման խորությունները որոշվում են դրանց դիմադրության ժամանակի հավասարության պայմանով:

Աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել բազմաստիճան սայրով պարուրածն գայլիկոնի ամրության ժամանակի բարձրացման հնարավորությունը՝ հիմնվելով դրա յուրաքանչյուր կտրող փուլի կտրման խորությունները որոշելու մեթոդաբանության մշակման վրա, ելնելով դրա դիմադրության ժամանակի հավասարության պայմանից:

Մշակվել է բազմաստիճան սայրով պարուրածն գայլիկոնով մետաղների գայլիկոնման գործընթացի մաթեմատիկական մոդել՝ յուրաքանչյուր կտրման փուլի կտրման խորությունը՝ դրա դիմացկունության ժամանակի հավասարության պայմանից հաշվարկելու համար: LabView միջավայրում մշակվել է ծրագիր՝ ոլորող մոմենտների, առանցքային ուժերի և դրանց բոլոր կտրման փուլերի արտադրողականության հաշվարկման համար՝ կախված նույն վիճակից որոշված կտրման փուլերի քանակից: Հաստատվել է, որ 12X18H9T համաձուլվածքում անցքեր գայլիկոնելիս, արագընթաց պողպատից պատրաստված ավանդական պարուրածն գայլիկոնի համեմատ, բազմաստիճան սայրով պարուրածն գայլիկոնի օգտագործումը կարող է նվազեցնել Psum-ը 1,6 անգամ, Msum-ը՝ գրեթե 2 անգամ: անգամ, իսկ Fsum-ը՝ մինչև 23 անգամ:

Ցույց է տրվում, որ, համեմատած ավանդական հորատման գործընթացի հետ, բազմաստիճան սայրով պարուրածն գայլիկոնի օգտագործումը կարող է մեծացնել գայլիկոնման գործընթացի արտադրողականությունը՝ մինչև 3,5 անգամ մատուցման արագության բարձրացմամբ, պտույտների ավելացմամբ՝ մինչև 2,35 անգամ:

Մշակված վիրտուալ սարքերը կարող են կիրառություն գտնել բազմափուլ պտտվող գայլիկոնների նախագծման գործընթացներում, տարբեր մետաղների և համաձուլվածքների անցքերի մշակման տեխնոլոգիայի մշակման մեջ, ինչպես նաև կարող են օգտակար լինել բակալավրիատի, ասպիրանտների և մեքենաշինության մասնագիտությունների հետազոտողների համար:

Առանցքային բառեր. պարուրածն գայլիկոն, բազմաստիճան սայր, քայլերի քանակ, կտրման խորություն, պայմաններ, դիմացկունության ժամկետ, մշակվող նյութ:

THE METHOD OF DETERMINING CUTTING DEPTHS OF STAGES FOR A MULTI-STAGE SPIRAL DRILL BASED ON THE CONDITION OF EQUALITY OF THEIR DURABILITY

B.A. Balasanyan, A.L. Arshakyan, H.S. Chibukhchyan, B.S. Balasanyan, Zakaryan M.Y.

It is substantiated that an additional reserve for increasing the productivity of the drilling process can be the use of a spiral drill with a multi-stage blade, in which the cutting depths of its cutting stages are determined by the condition that their service life periods are equal.

The purpose of the work is to study the possibility of increasing the service life of the spiral drill with a multi-stage blade based on the development of a method for determining the cutting depths of its each cutting stage based on the condition of equality of their service life periods.

A mathematical model of the process of drilling metals with a spiral drill with a multi-stage blade has been developed to calculate the cutting depths of its each cutting stage from the condition of equality of periods of their durability. A program has been developed in the LabView environment to calculate the total values of torque, axial forces, and the products of all its cutting stages depending on the number of cutting stages determined from the same condition. It has been established that when drilling holes in the 12X18H9T alloy, in comparison with a traditional spiral drill made of high-speed steel, the use of a spiral drill with a multi-stage blade can reduce P_{sum} by 1.6 times, M_{sum} by almost 2 times, and F_{sum} by up to 23 times.

It is shown that, in comparison with the traditional drilling process, the use of a spiral drill with a multi-stage blade can increase the productivity of the drilling process with an increase in feed rate up to 3.5 times and an increase in the number of revolutions of its rotation up to 2.35 times.

The developed virtual devices can find application in the design processes of multi-stage spiral drills, in the development of technology for processing holes in various metals and alloys, and can also be useful for undergraduates, graduate students and researchers in mechanical engineering specialties when conducting research.

Keywords. spiral drill, multi-stage blade, number of steps, cutting depth, condition, torque, processed material.