

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ВОДОЛЕДЯНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Ю.С. Степанов, А.Н. Качанов, М.А. Бурнашов

В статье представлены методики расчетов режимов резания и геометрии водоледающего технологического инструмента при реализации процесса раскроя водоледающими струями высокого давления.

In article techniques of calculations of modes of cutting and geometry of the water ice technological tool are presented at realization of process of cutting by water ice streams of a high pressure.

На протяжении последних 30 лет в технике, главным образом в индустриально развитых странах, широкое применение нашла технология разрезания твердых материалов с применением энергии тонких (0,15 – 0,5 мм) высоконапорных (до 450 МПа) сверхзвуковых жидкостных и абразивно-жидкостных струй [1].

Однако, анализ литературных источников показал, что приобретение новой техники для реализации технологий гидро-, - и гидроабразивного резания затруднено как из-за значительной стоимости самих установок, так и больших расходов для их эксплуатации [2].

Одним из способов повышения эффективности процесса гидрорезания рулонных и листовых неметаллических материалов (технической резины, искусственной кожи, линолеума, ковровых, рубероида, ламината, пластиков и др. (далее по тексту РЛНМ)) является применение в качестве режущего инструмента не водяной, а водоледающей струи [3]. Получение льдинок в водоледающей струе достигается подачей жидкого азота в специальную камеру смешивания. Еще большей эффективностью обладает водоледающая струя, полученная путем увлечения заранее приготовленных и просеянных льдинок определенного размера высоконапорной водяной струей. Однако, значительная доля затрат на хранение, подготовку, просеивание, подвод и теплоизоляцию ледяных гранул, делает этот способ формирования водоледающей струи слишком сложным и дорогим с организационной точки зрения.

Комплект технологического оборудования для резки РЛНМ водоледающими струями (рис. 1) включает в себя насосную установку высокого давления, технологический инструмент с сосудом Дюара, соединительные рукава высокого давления, которые служат для

подвода воды высокого давления к технологическому инструменту и вспомогательный инструмент, входящий в комплект высоконапорного оборудования:

- напорные и безнапорные фильтры (масляные и водяные);
- соединительные и распределительные элементы;
- компенсаторы давления (гидроаккумуляторы);
- координатные столы;
- запорная и управляющая аппаратура;
- средства визуального и автоматического контроля;
- средства аварийной защиты оборудования и индивидуальные защитные средства рабочего персонала.

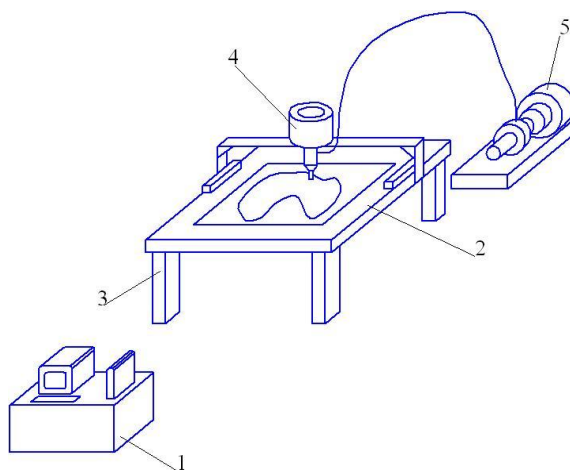


Рисунок 1 – Комплект технологического оборудования для резки РЛНМ водоледающими струями: 1 – пост оператора; 2 – заготовка РЛНМ; 3 – координатный стол для раскроя РЛНМ; 4 – технологический инструмент с сосудом Дюара; 5 – насосная установка высокого давления

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ВОДОЛЕДЯНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

По результатам теоретических и экспериментальных исследований процесса резания РЛНМ водоледяными струями была разработана методика выбора режимов резания с целью их внедрения в технологические процессы обработки.

Исходные данные:

- толщина разрезаемого материала h , м;
- твердость разрезаемого материала по Шору, HS_A ;
- давление высоконапорной воды P , МПа;
- периметр одного реза по схеме раскроя, S , м;
- допустимая ширина реза b (м).

Определение технологических параметров резания РЛНМ водоледяным инструментом осуществляется по следующему алгоритму.

1. Вычисление диаметра струеформирующей насадки, обеспечивающей наиболее эффективное водоледяное резание РЛНМ с точки зрения минимальной энергоемкости процесса и максимальной скорости приращення боковой поверхности реза [3].

$$\begin{cases} h = 6,9 \cdot 10^7 \frac{P^{0,67} \cdot d^{2,7}}{HS_A^{1,69} \cdot V^{0,16}}; \\ V = 1,88 \frac{d^{0,52}}{HS_A^{0,16}}. \end{cases} \quad (1)$$

Решение данной системы уравнений (1) относительно d_0 можно записать в следующем виде:

$$d_0 = 0,00026 \frac{h^{0,46} \cdot HS_A^{0,76}}{P^{0,31}}. \quad (2)$$

2. Проверка полученного значения диаметра струеформирующей насадки на соответствие допустимой ширине реза b (м). Выполняется расчет ширины реза для принятого диаметра струеформирующей насадки:

$$b_0 = \frac{634,13 \cdot d_0^{0,5} \cdot P^{0,17}}{HS_A^{0,6}}. \quad (3)$$

Значение ширины реза b_0 , определенное по (3) сравнивается с максимально допустимой по условиям раскроя величиной b . В случае если $b_0 > b$, то производится пересчет значения d_0 по формуле:

$$d_0 = \frac{HS_A^{1,2} \cdot b^2}{402,1 \cdot P^{0,34}} \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

3. Определение расхода воды высокого давления Q_0 (m^3/c), проходящего через струеформирующую насадку

$$Q_0 = 0,028 d_0^2 (P \cdot 10^6)^{0,5}. \quad (5)$$

4. Расчет значения расхода жидкого азота Q_N (m^3/c), исходя из утверждения о рациональной концентрации жидкого азота в высокоскоростной струе на уровне 25 %.

$$Q_N = 0,25 Q_0. \quad (6)$$

5. Определение рациональной скорости перемещения водоледяного инструмента

$$v_{\text{рац}} = 0,053 \frac{d_0^{0,09}}{HS_A^{0,17}}. \quad (7)$$

6. Определение длительности цикла реза T (с), исходя из значений периметра реза и скорости перемещения водоледяного инструмента, полученной из (7):

$$T = \frac{S}{v_{\text{рац}}}. \quad (8)$$

7. Определение потребного объема жидкого азота V_N (m^3) для осуществления цикла реза исходя из его длительности и расхода жидкого азота Q_N (m^3/c).

$$V_N = Q_N \cdot T. \quad (9)$$

При определении геометрических параметров технологического инструмента (рис. 2) принимаются во внимание выявленные рациональные сочетания взаимосвязанных параметров и ряды значений размеров, предлагаемые производителями комплектующих.

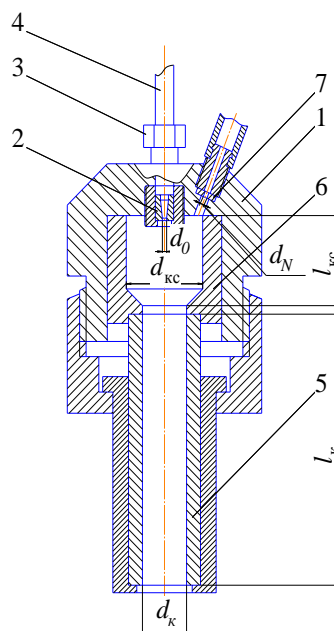


Рисунок 2 – Технологический инструмент для резки РЛНМ водоледяными струями: 1 – корпус; 2 – водяная струеформирующая насадка; 3 – штуцер; 4 – трубопровод; 5 – коллиматор; 6 – камера смешивания; 7 – дроссельная шайба системы подачи жидкого азота

Алгоритм расчета геометрических параметров технологического инструмента выглядит следующим образом.

1. Используя значение диаметра струеформирующей насадки, полученный из (2) или (5), принимаем диаметр камеры смешивания $d_{кс}$ равным 0,015 м:

2. Определяется длина камеры смешивания $l_{кс}$, м:

$$l_{кс} = e^{1,35} \times d_o^{0,97} / d_{кс}^{0,7}. \quad (10)$$

Учитывая результаты экспериментальных исследований, можно принимать $l_{кс} \approx 100d_o$ и выбирать конфигурацию камеры смешивания из табл. 1.

Таблица 1 – Исполнения камеры смешивания водоледяного инструмента

d_o , м	$l_{кс}$, м	$d_{кс}$, м
0,00020	0,020	0,015
0,00025	0,025	0,015
0,00030	0,030	0,015

3. Используя значение диаметра струеформирующей насадки, полученный из (2) или (5), определяется диаметр дроссельной шайбы системы подачи жидкого азота d_N , м, для концентрации $c = 25\%$:

$$d_N = 3,18 \cdot 10^{-13} \frac{c^{1,42} \cdot P^{0,05}}{d_o^{2,19}}. \quad (11)$$

4. На основании установленного факта, что для данной конструкции водоледяного инструмента существует рациональное соотношение диаметров отверстий коллиматора и струеформирующей насадки $d_k/d_o \approx 5$ с точки зрения получения максимальной глубины реза, определяется диаметр коллиматора.

5. Длина коллиматора определяется из [3], учитывая время формирования ледяных частиц в струе:

$$l_k = 2,9 \cdot 10^{-6} \cdot v_o \frac{C^{0,104} \cdot P_o^{2,29}}{d_o^{0,234}}, \quad (12)$$

где скорость истечения струи из насадки определяется из выражения [3]:

$$v_o = 4,47 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_o \sqrt{P_o}. \quad (13)$$

Выбор параметров насосного оборудования для резки РЛНМ водоледяными струями осуществляется на основании следующих экспериментально установленных положений:

1. Давление воды при резке РЛНМ водоледяными струями нецелесообразно поднимать выше 150 МПа, т.к. при этом эффективность резания не растёт (в некоторых случаях даже падает). Это объясняется тем, что высоконапорная струя при давлении больше 150 МПа разрушает ледяные частицы. Поэтому для практического применения рекомендуется давление 150 МПа.

2. Расход воды при резке РЛНМ водоледяными струями определяется с учетом диаметра струеформирующей насадки, рассчитанного по (2) или (4).

$$Q_o = \pi \frac{d_o^2}{4} (1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_o \sqrt{10,2 \cdot P_o}). \quad (14)$$

3. Насосное оборудование выбирается из типоразмерных рядов производителей по параметрам давления и расхода воды.

ЛИТЕРАТУРА

- David, A. Sammers. Waterjetting Technology / A. David. – Oxford.: Alden Press, 1995.
- Wightman, D. F. Waterjetting on the Cutting Edge of Machining / D.F. Wightman / SME MS86 – 171. Flexible Manufacturing Systems, Chicago.
- Бурнашов, М. А. Экспериментальные исследования применения водоледяного инструмента для раскроя рулонных и листовых материалов / М.А. Бурнашов, К.А. Головин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы международной конференции. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – С. 117-121.