

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

УДК 621.658

Благодарный В.М.

ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗАНИЯ ВОДНЫМ ЛУЧОМ

УО «Барановичский государственный университет»

Барановичи, Беларусь

Резание водным лучом является одной из наиболее прогрессивных современных технологий. Технология резания водным лучом начинается с конца 60-х годов прошлого столетия. Первые устройства для резания водным лучом начали работать на фирме «Боинг» в 1974 г., и практически с незначительными усовершенствованиями работают до настоящего времени. Далее последовало широкое распространение новой технологии в авиационной и ракетно-космической промышленности США. С 1975 г. технология резания водным лучом начала применяться на гражданских предприятиях, а с 1983 г. появилась модернизированная технология «Пасер» с использованием абразива, которая позволила резать такие материалы, как металлы, стекло, керамику и многие другие. Благодаря исключительным особенностям и высокой универсальности к настоящему времени было изготовлено более 1000 установок, которые работают в 38 странах мира. Распространение технологии резания водным лучом стало возможным благодаря созданию специального гидравлического мультипликатора, который увеличил давление жидкости в системе от 60 МПа до 400 МПа. При таком давлении вода сжимается на 12%, при этом насосная станция может находиться на расстоянии до 100 метров от рабочей установки. Давление жидкости плавно регулируется в пределах от 60 до 400 МПа, и регулировка может осуществляться вручную, механическим способом или с помощью электроники в течение 10 секунд. Оптимальное давление для разных материалов разное, но практически держится в пределах 200-300 МПа.

Скорость потока воды ограничивается гидравлическими потерями, которые возникают в трубопроводе согласно следующему выражению для потери энергии

$$E_{zt} = \frac{v^2}{2} \lambda \frac{L}{D}, [\text{м} \cdot \text{с}^{-2}],$$

где v – скорость потока воды [$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$],

λ – коэффициент трения в трубопроводе.

L – длина трубопровода [м],

D – диаметр трубы [м].

Из уравнения видно, что гидравлические потери пропорциональны квадрату скорости потока воды.

Потери давления в трубопроводе можно выразить следующим образом

$$p_{zt} = \rho \frac{v^2 \cdot \lambda \cdot L}{2D}, [\text{Па}],$$

где ρ – плотность жидкости, [$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$].

Для достижения высокой скорости потока жидкости в водном луче необходимо получить высокое давление, которое должно покрыть не только гидравлические потери и потери давления в трубопроводе, но и создать избыток давления p_k (так называемое кинетическое давление), чтобы обеспечить необходимую скорость потока воды в водном луче

$$v = \mu \sqrt{\frac{2p_k}{\rho_v}}, \text{ [м.с}^{-1}\text{]},$$

где μ - показатель фильеры, $\mu < 1$.

В этом случае полное давление p_c , необходимое для создания потребной скорости потока воды в водном луче, будет

$$p_c = p_{tz} + p_k = \rho \frac{v^2 \lambda \cdot L}{4} + \rho \frac{v^2}{2\mu^2} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \left(\frac{\lambda \cdot L}{2} + \frac{1}{\mu^2} \right), \text{ [Па]}.$$

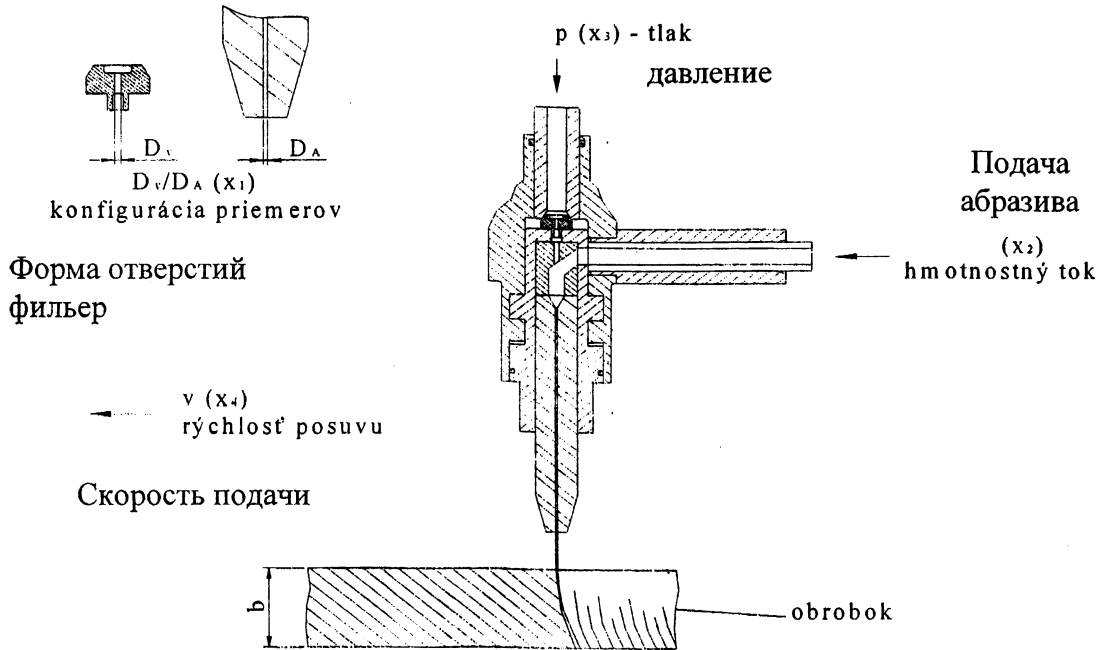


Рисунок 1 - Схема резания водным лучом

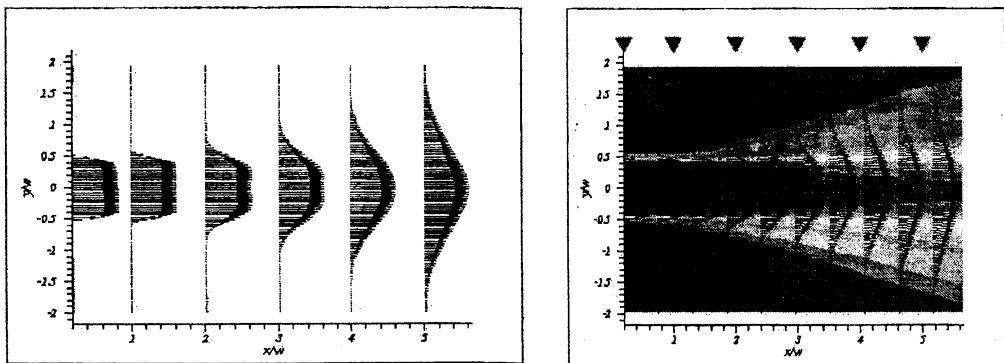


Рисунок 2 - Изменение профиля водного луча в зависимости от расстояния от фильеры

Одним из важных элементов системы водного луча является сопло и фильера (Рисунок 1). Сопло представляет собой трубку длиной 76,2 мм, с наружным диаметром 7,14 мм и внутренним диаметром 0,76; 0,9 и 1,02 мм, с конусообразным концом, изготавливается методом порошковой металлургии. К этому соплу предъявляются высокие требования к износостойкости, к точности и чистоте поверхности внутреннего отверстия, т.к. от этого зависит его долговечность и качество обработки. Сопло применяется в случае работы с абразивом.

При работе чистой водой применяются фильеры, изготовленные из сапфира, рубина или искусственного алмаза, размерный ряд внутренних отверстий которых обеспечивает разную величину использования кинетической энергии жидкости. Высокая скорость выхода жидкости из фильеры (100 м.с^{-1}) требует специальной формы отверстия. Ресурс фильеры из сапфира прямо пропорционален количеству содержащихся минералов в воде (жесткость воды) и находится в пределах 50-500 часов. Ресурс алмазных фильер в 10 раз выше. В качестве абразивного материала используется песок из гранита или кремниевый песок, применяемый при изготовлении стекла, зернистость частиц 0,2-0,5 мм. Частицы должны иметь острые грани.

Таблица 1. Параметры установки резания водным лучом, принятые при испытании образцов

Изменяемые параметры	Значения	Постоянные параметры	Значения
Давление, p [МПа]	200/350	Расстояние	3 mm
Подача, v [мм.с^{-1}]	70/120	Объем ящика, л	80
Направление подачи [$^\circ$]	+90/-90	Тип абразива	Barton Garnet
Отношение D_v/D_A	0,14/1,2	Тип режущей головки	Autoline™
Плотность абразива [г.мин^{-1}]	200/500	Толщина материала	10 мм
Испытуемый материал: Нержавеющая сталь Химический состав: С 0,08; Мн 2,0; Р 0,045; S 0,045; S 0,03; Si 1,0; Cr 18; Ni 8			
Системные характеристики			
Тип мультипликатора	двухступенчатый	Максимальное давление (max)	380 МПа
Мощность мультипликатора	50 НР	Степень усиления	20:1
Давление масла (max)	20 МПа	Объем амортизатора	2 л
Число экспериментальных опытов: 96 (16 экспериментов с 6 повторениями)		Число измерений: 288 (96 измерений на 3 высотах h_1, h_5, h_9)	

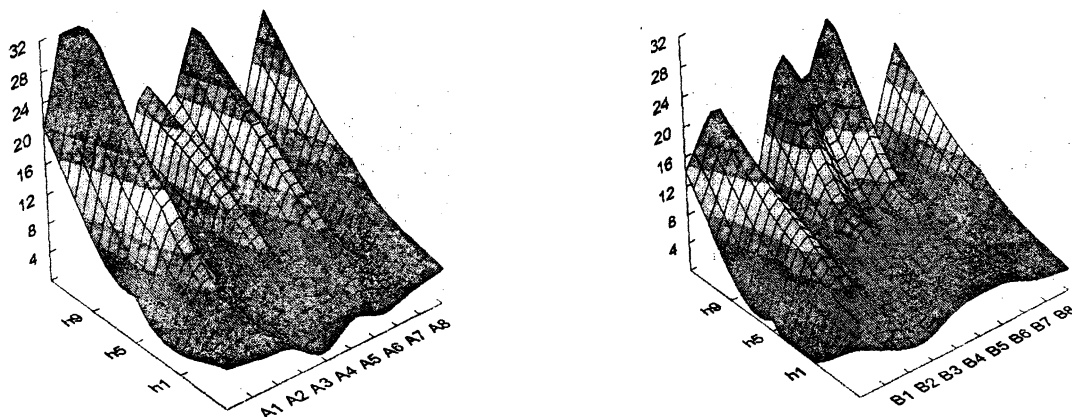


Рисунок 3 - Экспериментальная зависимость (объемная) шероховатости R_a от изменения режимных факторов и от глубины среза

Таблица 2. Результаты измерений образцов на высоте h_1

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_1 x_4$	$x_2 x_3$	$x_2 x_4$	$x_3 x_4$	$x_1 x_2$ x_3	$x_1 x_2$ x_4	$x_1 x_3$ x_4	$x_2 x_3$ x_4	$x_1 x_2$ $x_3 x_4$
4,54	0,293	-	-	-	-	-	-	0,113	0,115	0,022	0,176	-	0,030	-	-0,045
	3,75	-2,63	-8,04	-6,55	-0,67	-1,96	-1,63	1,45	1,47	0,28	2,26	-1,61	0,39	-0,26	-0,58

По результатам измерений было получено следующее уравнение регрессии:

$$\bar{y}_{Ra_{h1}} = 4,54 - 0,293x_1 - 0,205x_2 - 0,627x_3 - 0,511x_4 + 0,176x_1x_2x_3$$

Таблица 3. Результаты измерений образцов на высоте h_5

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_1 x_4$	$x_2 x_3$	$x_2 x_4$	$x_3 x_4$	$x_1 x_2$ x_3	$x_1 x_2$ x_4	$x_1 x_3$ x_4	$x_2 x_3$ x_4	$x_1 x_2$ $x_3 x_4$
8,52	1,684	-	-	-	-	-	-	0,398	0,141	0,094	-	-	0,145	0,438	
	10,89	-6,10	11,05	15,40	-2,57	-4,67	-3,43	-0,67	2,58	0,91	0,61	-0,25	-0,14	0,94	2,83

По результатам измерений было получено следующее уравнение регрессии:

$$\bar{y}_{Ra_{h5}} = 8,52 + 1,684x_1 - 0,944x_2 - 1,71x_3 - 2,382x_4 - 0,398x_1x_2 - 0,722x_1x_3 - 0,531x_1x_4 + 0,398x_2x_4$$

Таблица 4. Результаты измерений образцов на высоте h_9

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_1 x_4$	$x_2 x_3$	$x_2 x_4$	$x_3 x_4$	$x_1 x_2$ x_3	$x_1 x_2$ x_4	$x_1 x_3$ x_4	$x_2 x_3$ x_4	$x_1 x_2$ $x_3 x_4$
15,5	2,003	-	-	-	-	-	-	0,347	0,299	0,440	1,343	-	0,384	0,678	-0,202
	6,98	-5,45	13,30	13,12	-4,00	-3,91	-1,47	-1,21	1,04	-1,53	4,68	-0,85	1,34	2,36	-0,70

По результатам измерений было получено следующее уравнение регрессии:

$$\bar{y}_{Ra_{h9}} = 15,5 + 2,003x_1 - 1,56x_2 - 3,815x_3 - 3,765x_4 - 1,146x_1x_2 - 0,66x_1x_3.$$

Из значений, характеризующих отдельные факторы и их взаимодействие, видно, что на высоте наибольшее влияние на среднее отклонение шероховатости R_a имеют факторы x_3 и x_4 . * На высоте h_5 наибольшее влияние имеют фактор x_4 и факторы x_1 и x_3 , а на высоте h_9 наибольшее влияние имеют факторы x_3 и x_4 . Среднее отклонение шероховатости R_a в плоскости реза на высоте h_1 мало зависит от комбинаций переменных факторов. Однако с ростом высоты довольно быстро изменяется картина шероховатости R_a , на которую в основном влияет изменение фактора x_4 .

Шероховатость поверхности снижается при меньшей подаче, повышенном давлении в системе, увеличенной плотности абразива в потоке водного луча и скорости подачи воды.

Однако, необходимо принимать во внимание то, что на высоте h_9 при толщине стали 10 мм нет необходимости в большой плотности абразива в водном потоке, поэтому можно уменьшить плотность абразива до 300 г.с^{-1} , а при простом делении даже до 200 г.с^{-1} , что существенно снижает расходы на абразив почти до 100%.

* Эксперименты проводились инженером С. Глохом

Для стальных материалов типа жести можно использовать конфигурацию абразивной головки с меньшим диаметром отверстия, что приводит к более высокой скорости подачи водного луча. Отсюда можно сделать вывод, что чем меньше диаметр отверстия фильеры, тем лучше условия резания с точки зрения механики жидкости, экономии материалов и скорости резания.

Процесс резания водным лучом холодный, что позволяет резать различные материалы, чувствительные к температурным изменениям, например, различные пластмассы, взрывчатые вещества, материалы, чувствительные к окислению (титан, кобальт, никель и их сплавы). Процесс резания беспыльный (не требуется вентиляция), что особенно важно при резании канцерогенных и ядовитых материалов и веществ, а также таких материалов, как асбест и полиуретан

ЛИТЕРАТУРА

1. BLAGODARNY V., HLOCH S., KMEC J.: Plánovanie experimentov vplyvu technologických parametrov vodného lúča na kvalitu obrobenej plochy, 5. Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou: Informatika a algoritmy 2002, ISBN 80-88941-21-0.
2. BLAGODARNY V., KMEC J., HLOCH S.: Supersonic hydroabrasive erosion, Zborník tretej medzinárodnej vedecko-technickej konferencie: Balttechmaš – 2002, str. 24-28, ISBN. 2.
- LIPTÁK J., MODRÁK V.: Rezanie vodným prúdom, Technická práca, roč. 39.č.9, September 1987, ČSVTS Praha (str. 26-28), ISSN 0040-1056.
3. BLAGODARNY V., PAVLENKO S., HLOCH S.: Experimentálna metodika a hodnotenie experimentov vplyvu procesných parametrov vysokorýchlostného hydroabrazívneho prúdu na kvalitu obrobenej plochy a na hladinu akustického tlaku, Zborník referátov V. medzinárodná vedecká konferencia Nové trendy v prevádzke výrobnéj techniky 2003, FVT TU Košice so sídlom v Prešove, 2003 ISBN 80-8073-059-8 (strany 185 – 191).
4. BLAHUŠ, P.: Faktorová analýza a její zobecnění, SNTL Praha 1985, ISBN 04-028-85.
5. HANOUSEK, CHARAZMA: Moderní metody zpracování dat, Educa, Praha 1999, ISBN 80-85623-31-5.
5. HASHISH M, WASHINGTON K.: Experimental studies of cutting with abrasive waterjets, Flow Industries, Inc., Kent, Washington.
6. ANNONI, M., MONNO, M., VERGARI A.: The macrogeometrical quality of the kerf in the awj process parameters selection, Politecnico di Milano - Dipartimento di Meccanica, Milano, Italy.

УДК 621.923.7

Синькевич Ю.В., Беляев Г.Я., Янковский И.Н., Войтех А.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ПОЛИРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности и оказывает существенное влияние на эксплуатационные показатели детали. Существующие финишные методы обработки поверхностей деталей (механические, химические, электрохимические и др.) отличаются большой трудоемкостью и в ряде случаев имеют существенные недостатки. К перспективным методам снижения шероховатости поверхности можно отнести электроимпульсное полирование (ЭИП), обладающее высокой производительностью и преимуществами перед традиционными методами обработки [1].

Широкое промышленное внедрение ЭИП, с одной стороны, и практически полное отсутствие систематизированных данных о микрогеометрии полированной поверхности, с дру-