

ОБОБЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОДВИЖНОЙ ПРЕГРАДЫ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Первышин А.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В последние годы интенсивно развивается термическая газоструйная резка материалов сверхзвуковой струей продуктов сгорания камер ракетного типа или генераторов сверхзвуковых струй (ГСС). В отличие от традиционной кислородной газопламенной резки, сверхзвуковая струя продуктов сгорания позволяет резать практически любые материалы за счет значительно большей концентрации как механической, так и тепловой энергии в зоне реза [1]. Сочетая уровень тепловых потоков плазмотронов с простотой оборудования и надежностью кислородной резки, ГСС продемонстрировали свои уникальные возможности при резке чугуна, легированных сталей, алюминиевых сплавов и различных других материалов, а также пространственных конструкций из них.

Важнейшей технологической характеристикой ГСС, определяющей в значительной степени его облик при проектировании, является скоростью резки материала сверхзвуковой струей сгорания. На основе уравнения сохранения энергии при взаимодействии сверхзвуковой струи с разрушаемой преградой в квазистационарном приближении в [2] получена связь скорости резки ω_r с основными параметрами ГСС и технологического процесса, а также свойствами материала:

$$\omega = \frac{\varphi_{\beta}^2 \cdot \psi_{пл} \cdot K_p}{\rho \gamma} \cdot \frac{N}{d\delta} \quad (1)$$

где φ_{β} - коэффициент полноты расходного комплекса,

$\psi_{пл}$ - показатель возможности передачи тепловой энергии струи материалу [3],

K_p - коэффициент теплового взаимодействия струи продуктов сгорания с материалом преграды в режиме непрерывной резки с максимальной скоростью [2],

ρ, γ - плотность и удельная теплота фазового перехода материала,

N - расчетная мощность генератора,

d - максимальный диаметр поперечного сечения первой «бочки» сверхзвуковой недорасширенной струи.

Основным режимным параметром ГСС в этом уравнении является удельный тепловой поток $q = \frac{4N}{\pi d^2}$ в максимальном поперечном

сечении первой «бочки» сверхзвуковой недорасширенной струи. Однако измерение этого теплового потока весьма сложно, что определяет применение этого уравнения прежде всего в расчетных исследованиях. Исполь-

зую связь мощности струи с расходным комплексом и расходом топлива [4], а также зависимость относительного диаметра первой «бочки» струи от степени ее нерасчетности [5], можно получить связь скорости резки непосредственно с расходом топлива \dot{m}_T и толщиной разрезаемой преграды δ , которые достаточно легко измерить и которые прежде всего определяют эксплуатационные свойства ГСС:

$$\omega_p = D \frac{\sqrt{\dot{m}_T}}{\delta} \quad (2)$$

Остальные параметры, определяющие эффективность технологического процесса, выделены в обобщенный критерий D технологической эффективности ГСС:

$$D = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot K_p \cdot \Phi_\beta^{1,5} \cdot C_{(n)} \cdot P_n^{0,6} \cdot \frac{\Psi_{пл}}{\rho\gamma} \cdot \frac{\beta^{1,5}}{P_k^{0,1}}, \quad (3)$$

$$\text{где } C_{(n)} = \frac{n^2}{n-1} \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{1+0,4n}{n-1}},$$

n - показатель изэнтропы расширения продуктов сгорания в сопловом устройстве ГСС,

p_n - давление окружающей среды,

β - расходный комплекс,

P_k - давление в камере сгорания ГСС

В отличие от применявшихся ранее, предлагаемый критерий учитывает особенности разделительной резки. Физически он представляет собой предельную скорость резки данного материала единичной толщины обеспечиваемую ГСС с единичным расходом топлива при соответствующих коэффициентах потерь. Сформулированное выражение (3) этого критерия определяет его связь не только с полнотой преобразования химической энергии топлива в энергию продуктов сгорания, но и собственно с энергетикой топлива, теплофизическими и термодинамическими свойствами продуктов сгорания и материала преграды, параметрами окружающей среды и, наконец, с особенностями взаимодействия сверхзвуковой струи с преградой. В свою очередь, используя многочисленные экспериментальные данные разных авторов можно установить связь перечисленных параметров с координатами рабочей точки ГСС, а именно с видом и составом топлива, давлением в камере сгорания, расходом топлива, а также другими параметрами технологического процесса.

Так в таблице 1 приведены характеристики различных газоструйных резаков с восстановительной (использованы данные автора) и с окислительной струей [6]. Несмотря на разные схемы организации рабочего процесса прослеживается прежде всего зависимость D от вида материала преграды. Значительное отклонение критерия D для сталей 5Х2ГСВМ,

40X и ШХ15 больших толщин по видимому связано с использованием при резке, помимо плавления, дополнительной энергии, выделяющейся при горении материала преграды в окислительной струе.

Таблица 1.

Характеристики термогазоструйных резаков

Тип резака	Материал	Толщина	Скорость резки	Расход топлива	D	
		мм	мм/с	г/с	мм ² (г/с) ^{0,5}	
1	2	3	4	5	6	
Резаки с восстановительной струей	12X18H10T	2	17,7	3,24	19,7	
		4	11,4	3,51	24,4	
		10	4,2	3,62	21,9	
		20	2,1	3,62	22,1	
	Алюминиевые сплавы	2,5	58,7	3,13	82,9	
		5	20,0	3,09	56,9	
		8	6,0	2,95	28,0	
		25	2,0	2,95	29,1	
		60	0,8	2,95	27,9	
		Чугун	10	1,7	3,88	8,6
			20	0,9	3,88	9,1
			25	0,7	3,88	8,9
Резаки с окислительной струей	12X18H10T	4	17	3,02	39,1	
	02X18H10T	10	4,2	4,53	19,7	
	12X18H9T	40	1,1	10,66	13,5	
	Аустенитные стали	60	0,5	13,84	8,1	
	AK-29	35	3,3	3,80	59,3	
	5X2ГСВМ	90	3,0	3,80	138,5	
	40X	140	5,0	9,90	222,5	
	ШХ15	156	1,8	9,90	89,2	
	Бронева сталь	6...8	2,5	2,34	10,0...13,4	
	Алюминиевый сплав	25	2,0	10,65... 11,84	15,3... 14,5	
	Композит (алюминий /сталь)	8/13	2,8	10,65... 11,84	18,0... 17,1	

Как следует из уравнения (3), связь D с расходом топлива и давлением в камере сгорания ГСС незначительна. Это позволяет на стадии проектирования ГСС выбрать вид и состав топлива, используя в качестве критерия оптимизации (целевой функции) предлагаемый критерий, а затем с помощью уравнения резки (2) определить и расход топлива, необходимый для решения соответствующей технологической задачи. Выбор давления в камере сгорания в связи со слабо выраженной зависимостью от него обобщенного критерия технологической эффективности не может осуществляться таким способом. Оно должно начаться из эксплуатационных или иных соображений, например из условия обеспечения дальности сверхзвуковой струи [5].

Характерная номограмма характеристик ГСС, рассчитанная по (3) приведена на рис.1. Область малых расходов исключается из режимных параметров генератора в связи с невозможностью нагрева материала преграды до температуры плавления генераторами малой мощности [7]. Номограмма показывает определяющее влияние на скорость резки толщины и теплофизических свойств материала, расхода и состава топлива генератора, а так же коэффициентов качества соответствующих процессов. Она подтверждает очень небольшое влияние давления в камере сгорания ГСС. Так, при изменении p_k в 5 раз с $2 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ до 10^6 н/м^2 скорость резки при прочих равных условиях снижается для стали X18H10E лишь на 6%, а для алюминиевых сплавов на 10%.

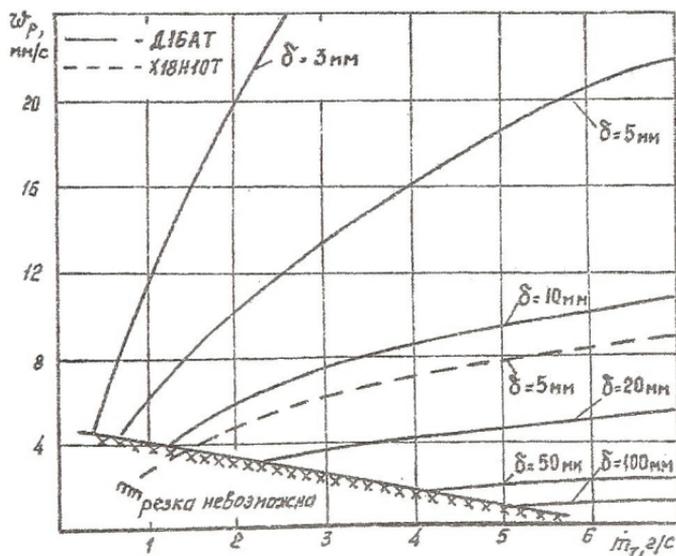


Рисунок 1 - Зависимость скорости резки от толщины материала и расхода топлива

Учитывая относительную простоту измерения предложенного критерия, он может быть использован для определения к.п.д. при превращении химической энергии топлива в полезную работу технологического

процесса, в частном случае в теплоту плавления материала в зоне реза в процессе его разрушения (K_p в уравнении(1)). Другими способами определение этого важнейшего параметра весьма затруднительно.

Следующим важнейшим применением критерия является возможность переноса результатов экспериментов конкретного ГСС на другие топлива по виду и составу, на иные преграды по форме и теплофизическим свойствам материала, иные параметры окружающей среды и т.п.

И наконец, при серийном изготовлении ГСС этот критерий позволяет достаточно просто экспериментально оценить качество их изготовления.

Таким образом, полученный критерий позволяет значительно сократить временные и материальные затраты при проектировании, доводке и серийном изготовлении генераторов, основанных на использовании сверхзвуковых струй продуктов сгорания.

Список литературы

1. Первышин А.Н. Энергетика струйных технологий. //Проблемы и перспективы развития двигателестроения в поволжском регионе.//Доклады междунар. науч.-техн. конференции. -Самара: СГАУ, 1997. -Вып. 1. с.134-142.
2. Первышин А.Н. Разрушение подвижной преграды сверхзвуковой струей продуктов сгорания. //Теплоэнергетика. -Воронеж: ВПИ, 1997. с.128-131.
3. Первышин А.Н. Особенности нагрева преграды сверхзвуковой струей продуктов сгорания. //Актуальные проблемы производства. -Самара: СГАУ, 1995. с.57-64.
4. Устройство для разделительной резки материалов. / А.Н. Первышин, В.С. Егорычев, А.И. Косенко, Л.С. Должиков, В.М. Ищенко // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в поволжском регионе.//Доклады междунар. науч.-техн. конференции. -Самара: СГАУ, 1997. -Вып. 1. с.142-148.
5. Первышин А.Н., Блохин И.В. Расчетно-экспериментальное исследование влияния параметров сверхзвуковой струи на геометрию отверстия, выплавляемого в преграде. //Вестник СГАУ //Проблемы и перспективы развития двигателестроения. -Самара: СГАУ, 1998. -Вып. 1, часть 2 с.55-60.
6. Поляев В.М., Александренков В.П. Аппараты для термогазоструйной обработки материалов и поверхностей. //Химическое и нефтяное машиностроение, №4, 1995. с.38-39
7. Первышин А.Н. Методы расчета мощности источника тепла, необходимого для разрушения преграды. //Труды второй Российской национальной конференции по теплообмену. -Москва: МЭИ, 1998. -том 2, с.208-211.