

Кобець О.В., к. техн. н., доцент, Загребельна Л.І., к. техн. н., доцент

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕАКТИВНОГО ПАЛЬНИКА, ЩО ПРАЦЮЄ НА КОКСОВОМУ ГАЗІ ТА СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Українська інженерно-педагогічна академія, Харків*

Ключові слова: реактивний пальник, сопло, горіння, надзвукова швидкість, швидкість витікання, теплотворність газу, температура згорання.

У коксовій промисловості впроваджено безперервні процеси переробки хімічних продуктів коксування вугілля. Комбінування коксохімічних заводів з металургійними та хімічними заводами забезпечує більш раціональне використання коксового газу.

Одним зі способів одержання порошків у порошковій металургії є спосіб газодинамічного розпилування рідкого металу або сплаву газовим струменем реактивного пальника за рахунок кінетичної енергії струменя газу, що рухається з надзвуковою швидкістю.

Реактивний пальник, залежно від призначення, повинен забезпечувати певну теплову ефективність газового струменя на виході з реактивного сопла з оптимальним розподілом наявної енергії на теплову й кінетичну.

Термодинамічні параметри робочого тіла реактивного пальника, що працює на коксовому газі, досліджуються за тими ж значеннями коефіцієнта надлишку повітря та тиску у камері згорання, що й у випадку роботи пальника на шебелинському газі.

У роботі наведено результати теоретичних досліджень температури газу в камері згорання T_k і на виході із сопла T_a , а також швидкості його витікання W_a залежно від тиску в пальнику P_k і коефіцієнта надлишку повітря α_t . Тиск у камері згорання змінювався від $T_{k\text{ хв}}$ (~0,18 МПа), за якого на зрізі сопла досягається швидкість звуку, і досягав 2,5 МПа. Коефіцієнт надлишку повітря змінювався від 0,7 до 3,0. Термодинамічний розрахунок пальника проводився без обліку дисоціації. Деякі результати наведено в табл. 1, 2 і на рисунку.

Характер зміни температури газу на зрізі сопла T_a і швидкості витікання газу W_a , залежно від коефіцієнта надлишку повітря α_t (див. рисунок) у разі спалювання коксового газу, є такими ж як у випадку спалювання природного газу або бензину (гасу) і пояснюється тими ж факторами [1]. Однак є й деякі особливості, які зводяться до такого. Теплотворність коксового газу $H = 14\div 18$ МДж/м³ суттєво менше теплотворності бензину (гасу) або шебелинського газу. Однак температури згорання коксового газу, бензину та шебелинського газу практично однакові (див. табл. 1). Це, в першу чергу, пояснюється тим, що у разі спалювання коксового газу кількість повітря, що припадає на одиницю палива, є значно меншою.

Температура газу на зрізі сопла та швидкість його витікання у разі використання коксового газу трохи вище. Збільшення швидкості витікання газу тут пояснюється не тільки деяким підвищенням температури згорання, але й збільшенням газової постійної R (див. табл. 1) за рахунок меншої молекулярної маси продуктів згорання.

Таблиця 1 – Параметри газу в камері згоряння реактивної горілки

| $P_{кв}$ МПа | Коксовий газ | | | | Шебелинський газ | | | | Бензин (керосин) | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|------|----------------|---------------------|-------------------|--------------|------|------------------|---------------------|-------------------|--------------|------|----------------|---------------------|
| | $T_{г}$, К | R , Дж/кгК | K | $P_{кв}$, МПа | M , кг пов/кг пал | $T_{г}$, град. К | R , Дж/кгК | K | $P_{кв}$, МПа | M , кг пов/кг пал | $T_{г}$, град. К | R , Дж/кгК | K | $P_{кв}$, МПа | M , кг пов/кг пал |
| 0,7 | 2094 | 0,35 | 1,27 | 0,181 | 8,52 | 1959 | 0,33 | 1,27 | 0,181 | 12,60 | 2016 | 0,31 | 1,27 | 0,181 | 11,30 |
| 1,0 | 2400 | 0,32 | 1,25 | 0,180 | 11,75 | 2328 | 0,20 | 1,24 | 0,179 | 17,58 | 2391 | 0,29 | 1,25 | 0,180 | 15,70 |
| 1,5 | 1890 | 0,31 | 1,27 | 0,181 | 17,12 | 1788 | 0,30 | 1,27 | 0,181 | 25,86 | 1812 | 0,29 | 1,28 | 0,182 | 23,05 |
| 3,0 | 1190 | 0,31 | 1,32 | 0,181 | 33,24 | 1137 | 0,29 | 1,32 | 0,184 | 50,73 | 1146 | 0,29 | 1,32 | 0,184 | 45,10 |

Таблиця 2 – Параметри газових струменів на виході зі сопла реактивного палиника

| $P_{кв}$ МПа | Коксовий газ | | | | Шебелинський газ | | | | Бензин (керосин) | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-----------------|-------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|------|------|------|
| | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | $T_{г}$, К | $W_{г}$, м/сек | | | |
| α_1 | 5 | | | | 25 | | | | 5 | | | | 25 | | | | |
| | 1487 | 1407 | 1177 | 1730 | 1056 | 1841 | 1391 | 1325 | 1101 | 1628 | 988 | 1425 | 1318 | 1126 | 1601 | 1013 | 1707 |
| | 1739 | 1446 | 1396 | 1783 | 1261 | 1899 | 1704 | 1395 | 1378 | 1721 | 1249 | 1726 | 1378 | 1382 | 1687 | 1240 | 1789 |
| | 1342 | 1266 | 1063 | 1555 | 953 | 1655 | 1269 | 1202 | 1005 | 1477 | 901 | 1280 | 1197 | 996 | 1481 | 886 | 1553 |
| 3,0 | 805 | 983 | 617 | 1200 | 545 | 1273 | 769 | 941 | 589 | 1149 | 773 | 942 | 581 | 1146 | 507 | 1213 | |

Незважаючи на те, що у разі спалювання коксового газу термодинамічні параметри газового струменя практично такі ж, як і у разі спалювання природного газу або бензину (гасу), слід пам'ятати, що кількість робочого тіла в першому випадку значно менша.

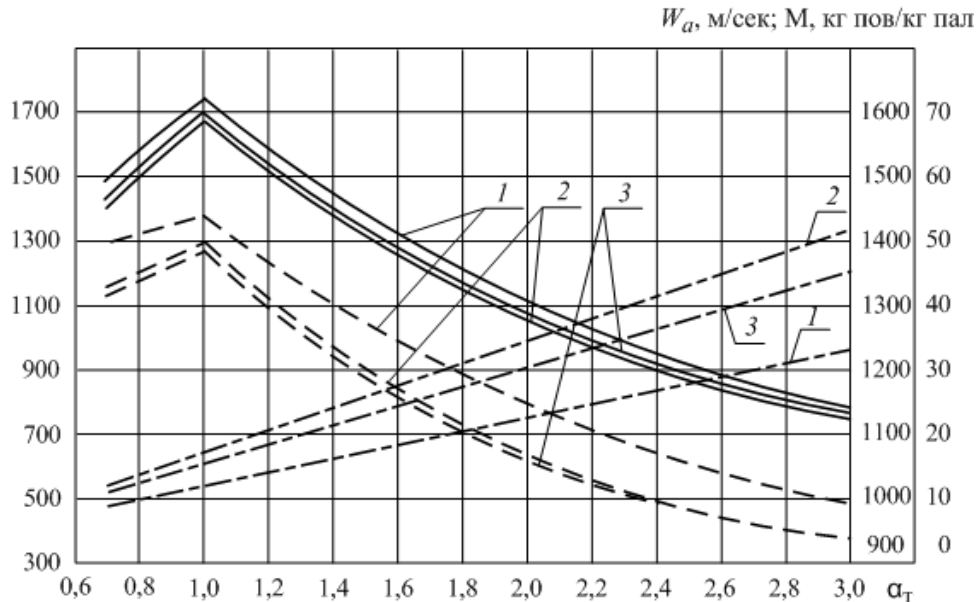


Рисунок 3 – Залежність T_a, W_a, M від α_T за $P_k = 0,5 \text{ МПа}$:
 1 – коксовий газ, 2 – шебелинський газ; 3 – бензин (керосин)
 — T_a — — W_a — — — M

Як видно з табл. 1, показники адіабати K та тиск у пальнику $P_{к хв}$ залежно від коефіцієнта надлишку повітря α_T змінюються в дуже вузьких межах і в розглянутому випадку мало залежать від виду застосовуваного палива.

Зі сказаного випливає, що використання в повітряно-реактивному пальнику коксового газу, що є невід'ємною частиною металургійного виробництва, дозволяє набагато знизити собівартість виконаних робіт.

Крім того, термодинамічні параметри газових струменів реактивних пальників, що працюють на стисненому повітрі й коксовому газі, практично такі ж, як параметри газу пальників, що працюють на природному газі або бензині (гасі). Кількість робочого тіла, що припадає на одиницю палива, у разі спалювання коксового газу значно менша, ніж при спалюванні природного газу або бензину (гасу).

Висновки. Характер зміни термодинамічних параметрів робочого тіла, що залежать від коефіцієнта надлишку повітря α_T , і тиску P_k у пальнику для реактивних пальників, що працюють на коксовому й шебелинському газі, аналогічний.

Основні термодинамічні параметри робочого тіла реактивних пальників, що працюють на коксовому й шебелинському газі практично однакові.

Енергетичні можливості газових струменів у разі використання в пальниках коксового газу нижче, тому що в цьому випадку, незважаючи на деяке підвищення температури й швидкості витікання, кількість робочого тіла на 1 кг пального на 33–35 % менше, ніж у разі використання шебелинського газу.

Література

1. Загребельна Л.І. Джерело енергії для руйнування мінеральних середовищ / Л.І. Загребельна, О.В. Кобець // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – №1. – с. 10–13.
2. Загребельна Л.І. Дослідження термодинамічних параметрів газострумного генератора з попереднім підігрівом повітря / Л.І. Загребельна, О.В. Кобець // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – №1. – с. 46–52.
3. Zagredtlaj L.I. Reactive burner as power in the technological processes of hard rock dislocation / L.I. Zagredtlaj // Annals of University of Petrosani – Romania. Mechanical Engineering. – 2002. – vol 1.
4. Кириллов В.В. Метод расчета течения газа в каналах газоструйных систем / В.В. Кириллов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014, том 14, №2.
5. Квасников И.А. Термодинамика и статическая физика / И.А. Квасников. – М. : – МГУ, 2016. – 430 с.
6. Загребельная Л.И. Теоретическое исследование термодинамических параметров газоструйного генератора, работающего на сжиженном газе и воздухе / Загребельная Л.И. Кобець Е.В., Мироненко А.Л. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – №1.
7. Иванов Ю.В. Основы расчета и проектирования газовых горелок / Ю.В. Иванов. – М. : Гостоптехиздат, 1968.
8. Льюис Б., Горение, пламя и взрывы в газах / Льюис Б., Эльбе Г. – М. : Изд. «Мир», 1968.
9. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей / Гахун Г.Г. , Баулин В.И. и др. – М. : Машиностроение, 1989.
10. Палеев И.А. Теория и практика сжигания газа / И.А. Палеев, А.С. Иссерлин. – М. : Изд. «Недра», 1968.
11. Раушенбах Б.В. Физические основы процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей / Б.В. Раушенбах, С.А. Белый. – М. : Машиностроение, 1964.
12. Загребельная Л.И. Теоретическое исследование параметров рабочего тела реактивных горелок, работающих на природном газе и газообразном окислителе / Л.И. Загребельная, Л.Ф. Яльницкий // Самолетостроение и техника воздушного флота. – Харків : ХГУ, 1969. – №15.

Bibliography (transliterated)

1. Zagrebelna L.I. Dzherelo energiyi dlya ruynuvannya mineralnih seredovisch / L.I. Zagrebelna, O.V. Kobets // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – Harkiv : NTU «HPI», 2011. – #1. – p. 10–13.
2. Zagrebelna L.I. Doslidzhennya termodinamichnih parametriv gazostruminnogo generatora z poperednim pidigrivom povitrya / L.I. Zagrebelna, O.V. Kobets // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – Harkiv : NTU «HPI», 2017. – #1. – p. 46–52.
3. Zagredtlaj L.I. Reactive burner as power in the technological processes of hard rock dislocation / L.I. Zagredtlaj // Annals of University of Petrosani – Romania. Mechanical Engineering. – 2002. – vol 1.
4. Kirillov V.V. Metod rascheta techeniya gaza v kanalah gazostruynyih sistem / V.V. Kirillov // Vestnik YuUrGU. Seriya «Energetika». – 2014, tom 14, #2.

5. Kvasnikov I.A. Termodinamika i staticheskaya fizika / I.A. Kvasnikov. – M. : – MGU, 2016. – 430 p.
6. Zagrebelnaya L.I. Teoreticheskoe issledovanie termodinamicheskikh parametrov gazostruynogo generatora, rabotayuschego na szhizhenom gaze i vozduhe / Zagrebelnaya L.I. Kobets E.V., Mironenko A.L. // Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – Harkiv : NTU «HPI», 2019. – #1.
7. Ivanov Yu.V. Osnovyi rascheta i proektirovaniya gazovyih gorelok / Yu.V. Ivanov. – M. : Gostoptehizdat, 1968.
8. Lyuis B., Gorenje, plama i vzryivyi v gazah / Lyuis B., Elbe G. – M. : Izd. «Mir», 1968.
9. Konstruktsiya i proektirovanie zhidkostnyih raketnyih dvigateley / Gahun G.G., Baulin V.I. i dr. – M. : Mashinostroenie, 1989.
10. Paleev I.A. Teoriya i praktika szhiganiya gaza / I.A. Paleev, A.S. Isserlin. – M. : Izd. «Nedra», 1968.
11. Raushenbah B.V. Fizicheskie osnovyi protsessa v kamerah sgoraniya vozdušno-reaktivnyih dvigateley / B.V. Raushenbah, S.A. Belyiy. – M. : Mashinostroenie, 1964.
12. Zagrebelnaya L.I. Teoreticheskoe issledovanie parametrov rabocheho tela reaktivnyih gorelok, rabotayuschih na prirodnom gaze i gazoobraznom oksilite / L.I. Zagrebelnaya, L.F. Yalnitkiy // Samoletostroenie i tehnika vozdušnogo flota. – Harkiv : HGU, 1969. – #15.

УДК 629.7.036.22

Кобец Е.В., к. техн. н., доцент, Загребельная Л.И., к. техн. н., доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕАКТИВНОЙ ГОРЕЛКИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА КОКСОВОМ ГАЗЕ И СЖАТОМ ВОЗДУХЕ

При получении порошков в порошковой металлургии используется способ газодинамического распыления жидкого металла или сплава газовой струей реактивной горелки за счет кинематической энергии струи газа, движущегося со сверхзвуковой скоростью.

При проектировании и выборе режимов работы реактивной горелки необходимо знать термодинамические параметры рабочего тела. Аналитически определены и теоретически исследованы параметры рабочего тела внутри горелки и на выходе из нее.

Термодинамические параметры рабочего тела реактивной горелки, работающей на коксовом газе, исследуются при тех же значениях коэффициента избытка воздуха и давлениях в камере сгорания, что и в случае работы горелки на шебелинском газе. Термодинамический расчет выполнен без учета диссоциации продуктов сгорания.

Максимальная температура сгорания газа в атмосфере сжатого воздуха в камере сгорания горелки при стехиометрических соотношениях топливных компонентов не превышает $T_a = 2300\text{--}2400$ °С. При таких значениях температуры диссоциация продуктов сгорания невелика и ею можно пренебречь. В состав продуктов сгорания, помимо основных компонентов CO_2 , H_2O , SO_2 и N_2 , при недостатке воздуха входят продукты реакции газа CO и H_2 , а при избытке воздуха – свободный кислород O_2 . Следовательно, состав продуктов сгорания зависит от соотношения топливных компонентов перед сгоранием.

Характер изменения температуры газа на срезе сопла T_a и скорости истечения газа W_a в зависимости от коэффициента избытка воздуха α_t при сжигании коксового газа аналогичен случаю сжигания природного газа или бензина.

Энергетические возможности газовых струй при использовании в реактивных горелках коксового газа ниже, т.к. количество рабочего тела, приходящегося на один килограмм горючего меньше, чем при использовании шебелинского газа.

Ключевые слова: реактивная горелка, коэффициент избытка окислителя, камера сгорания, соотношение топливных компонентов, коэффициент избытка воздуха.

Кобець О.В., к. техн. н., доцент, Загребельна Л.І., к. техн. н., доцент

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕАКТИВНОГО ПАЛЬНИКА, ЩО ПРАЦЮЄ НА КОКСОВОМУ ГАЗІ ТА СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ

Під час одержання порошків у порошковій металургії використовується спосіб газодинамічного розпилення рідкого металу або сплаву газовим струменем реактивного пальника за рахунок кінематичної енергії струменя газу, що рухається з надзвуковою швидкістю.

Під час проектування та вибору режимів роботи реактивного пальника необхідно знати термодинамічні параметри робочого тіла. Аналітично визначено та теоретично досліджено параметри робочого тіла усередині пальника та на виході з нього.

Термодинамічні параметри робочого тіла реактивного пальника, що працює на коксовому газі, досліджуються за тих же значеннях коефіцієнта надлишку повітря та тисках у камері згоряння, що й у випадку роботи пальника на шебелинському газі. Термодинамічні розрахунки виконано без обліку дисоціації продуктів згоряння.

Максимальна температура згоряння газу в атмосфері стисненого повітря в камері згоряння пальника у разі стехіометричних співвідношень паливних компонентів не перевищує $T_a = 2300\text{--}2400$ °С. За такими значеннями температури дисоціація продуктів згоряння невелика й нею можна знехтувати. До складу продуктів згоряння, крім основних компонентів CO_2 , H_2O , SO_2 і N_2 , у разі нестачі повітря входять продукти реакції газу CO і H_2 , а у разі надлишку повітря – вільний кисень O_2 . Отже, склад продуктів згоряння залежить від співвідношення паливних компонентів перед згорянням.

Характер зміни температури газу на зрізі сопла T_a та швидкості витікання газу W_a залежно від коефіцієнта надлишку повітря α_t у разі спалювання коксового газу такий же як у випадку спалювання природного газу або бензину.

Збільшення швидкості витікання газу слід пояснити не тільки підвищенням температури згоряння T_k на 3–7 %, але й збільшенням газової постійної на 4–5% за рахунок меншої молекулярної ваги продуктів згоряння внаслідок наявності в них великої кількості пари води, що має меншу молекулярну масу, ніж вуглекислий газ.

Енергетичні можливості газових струменів у разі використання в реактивних пальниках коксового газу є меншими, тому що кількість робочого тіла, що припадає на один кілограм пального, менше ніж у разі використання шебелинського газу.

Ключові слова: реактивний пальник, коефіцієнт надлишку окиснювача, камера згоряння, співвідношення паливних компонентів, коефіцієнт надлишку повітря.

Kobets E.V., Zagrebelnaja L.I.

RESEARCH OF THE WORK OF A JET BUSNER, RUNING OF CORE GAS AND COMPRESSED AIR

At the receipt of powders in powder-like metallurgy the method of gas-dynamic dispersion of liquid metal or alloy is used by the gas stream of reactive gas-ring due to kinematics energy of stream of gas locomotive with supersonic speed. At planning and choice of the modes of operations of reactive gas-ring it is necessary to know the thermodynamics parameters of working body. Analytically certain and in theory the parameters of working body are investigational into a gas-ring and on an exit from her. The thermodynamics parameters of working body of reactive gas-ring working on coke gas are investigated at the same values of coefficient of surplus of air and pressures in a combustion chamber, what in case of work of gas-ring on Shebelinsky gas. Thermodynamics a calculation is executed case-insensitive dissociation of products of combustion. The maximal temperature of combustion of gas in the atmosphere of the compressed air in a combustion of gas-ring chamber at stoichiometrical correlations of fuel components does not exceed $T_a = 2300\text{--}2400$ °C.

At such values of temperature dissociation of products of combustion is small and her it is possible to ignore. In the complement of products of combustion, besides the basic components of CO_2 , H_2O , SO_2 and N_2 , the products of reaction of gas of CO and H_2 enter at the lack of air, and at surplus of air is free oxygen of O_2 . Consequently, composition of products of combustion depends on correlation of fuel components before combustion. Character of change of gas temperature on the cut of nozzle T_a and speeds of expiration of gas of W_a depending on the coefficient of surplus of air α_r of ton at incineration of coke gas is analogical to the case incinerations of natural gas or petrol.

Power possibilities of gas streams at the use in the reactive gas-rings of coke gas below, as an amount of working body, being on one kilogram of fuel less than, than at the use of Shebelinsky gas.

Keywords: reactive gas-ring, coefficient of surplus of oxidant, combustion chamber, correlation of fuel components, coefficient of surplus of air.