

можно отметить, что потери в местных сопротивлениях и на трение в каналах гидрролинии составляют 53% от гидравлических потерь в системе, из них 94% приходится на потери в местных сопротивлениях.

Список литературы

1. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов.- М.: Машиностроение.- 1967.- 468с.
2. Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. –М. : Машиностроение, 1982. -286 с.
3. Некоторые вопросы расчета и конструирования авиационных гидравлических систем. Под ред. С.Н. Рождественского. М., Оборонгиз. 1962. 231с.
4. Бредов В.И. Об определении величин местных гидравлических сопротивлений в трубопроводах. Гидравлика однородных и неоднородных жидкостей, 1972. с. 44-51 (МИСИ, Тр., вып. 89).
5. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – Київ: Техніка, 1977. -322с.
6. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М., Недра, 1982.-226с.

УДК 532.529

В.Н.Марченко канд.техн.наук, Н.А.Жиленко
Сумской государственной университет г.Суммы, Украина

ТЕРМОЭЖЕКТОРНАЯ УСТАНОВКА В СИСТЕМАХ ВАКУУМИРОВАНИЯ

У статті розглянута ефективність використання принципу струминної термокомпресії в пароежекторних установках вакуумних печей металургійної промисловості. Показані переваги запропонованої термoeжекторної установки для отримання високого вакууму порівняно з пароежекторними установками, що виготовляються. Представлені узагальнені результати дослідження процесу паротворення в активному соплі термoeжектора.

The effectiveness of the stream thermo-compression principle in steam-ejector plants of vacuum furnace in steel industry is considered in this article. The advantages of the offering thermo-ejector plant in comparison with producing steam-ejector plants for deep vacuum getting are shown. Results of the researching of steaming processes in the active nozzle of the thermo-ejector are shown.

Вступление

Металлургическая отрасль Украины, как и металлургическая промышленность всего мира в последние годы стоит перед серьезной проблемой – превышением мощностей производства стали над мощностями ее использования. Поэтому на многих металлургических предприятиях вынуждены тратить значительные средства на исследования и внедрение новых технологий, которые, в свою очередь, развиваются в том числе и по таким направлениям: снижение себестоимости уже выпускаемой продукции и разработка технологий, которые позволят при стабильной себестоимости выпускать продукцию высокого качества.

Сталеплавильное производство является вторым звеном в общем производственном цикле черной металлургии. В современном производстве

интенсивно используется и совершенствуется т.н. спецэлектрометаллургия, которая включает, в том числе, выплавку стали в дуговых и индукционных вакуумных печах, внепечное вакуумирование в ковше, в установках циркуляционного и порционного вакуумирования, вакуум-шлаковую переработку. В результате рафинирующей вакуумной переплавки исходный металл эффективно очищается от неметаллических включений и нежелательных примесей, повышается однородность и плотность стали.

Важным элементом вакуумной печи является вакуум-насос, который зачастую представляет собой многоступенчатую парожекторную установку. Повышая эффективность и производительность этой установки можно добиться более качественного химического состава стали, уменьшить время полного производственного цикла, повысить производительность печи, что понизит себестоимость и повысит качество продукции. [1, 2]

Целью данной статьи является показ эффективности предлагаемого термоэжектора в установках вакуумирования, обобщение результатов расчетных и физических экспериментов и представление зависимостей для будущего построения методики расчета термоэжекторной установки вакуумных печей сталелитейной промышленности.

1. Принцип струйной термокомпрессии.

В настоящее время на металлургических предприятиях страны используются парожекторные установки зарубежных производителей: ОАО «Вакууммаш», где производятся пароводяные вакуумные насосы типа НВЭ (от 1 до 1250 кг/ч, входное давление от 1 до 160 мм рт.ст.); фирма «ВОС Edwards» изготавливает парожекторные насосы и многоступенчатые промышленные парожекторные системы с рабочим вакуумом до 10 Па; ООО «Эжектор» – многоступенчатые парожекторные установки для использования в том числе и в металлургической промышленности; ООО «Техновакуум» – парогазовые струйные аппараты; ООО «Кварк ПромЭнергоСистемы» – пароструйные эжекторы ЕПС (0,01-1000 кг/ч, до 65 Па).

К преимуществам парожекторных систем относятся малые капитальные затраты на изготовление и установку, отсутствие движущихся частей, относительно малый объем обслуживания, возможность большой производительности, невысокая чувствительность к температуре откачиваемых газов и присутствию капель жидкости. Недостатками парожекторов являются высокие в сравнении с расходом откачиваемой среды затраты высокоэнтальпийного рабочего пара, который требует предварительной подготовки, и значительные потери энтальпии рабочей среды на удар.

От перечисленных недостатков помогает избавиться предложенный к использованию в парожекторных установках принцип струйной термокомпрессии (СТК), предусматривающий использование в качестве активной среды насыщенной или недогретой до насыщения воды, испаряющейся в процессе истечения из активного сопла струйного вакуумного насоса. [3]. Энергетическая эффективность струйного агрегата, использующего этот принцип значительно повышается, потому что понижаются потери на удар и затраты энергии на подачу малосжимаемой жидкости в сравнении с паром; упрощается конструкция и обслуживание агрегата, включающего

жидкостной насос, а не паровой компрессор, без затратного процесса подготовки рабочего пара снижается себестоимость изготовления и эксплуатации струйной установки. [4]

Аппарат, конструкционно основанный на парожекторе, и близкий к нему по рабочим параметрам (степень сжатия и разрежения), использующий для формирования струи рабочего пара описанный выше принцип, был назван термоэжектором. Двухфазное течение в каналах термоэжектора сопровождается неравновесными фазовыми переходами и выраженной метастабильностью состояний, скольжением фаз, интенсивными теплообменными процессами – то есть определяющими для конечного эффекта (компрессии) являются термодинамические явления. Отсюда приставка «термо-» в названии струйного аппарата и его рабочего процесса.

Анализ экспериментальных данных, полученных при исследовании истечения вскипающих жидкостей [5, 6, 7, 8, 9], а также материалы испытаний и опыт эксплуатации струйных насосов, работающих в кавитационном режиме [10, 11], приводят к следующей модели истечения и формирования рабочей струи (рис. 1). [12]

В канале активного сопла I перед выходным сечением формируется спутное течение двух потоков [13, 14]: пристенного двухфазного слоя и центрального ядра метастабильно перегретой жидкости. Фронт интенсивного объемного вскипания располагается вблизи выходного среза в начале формирующейся рабочей струи.

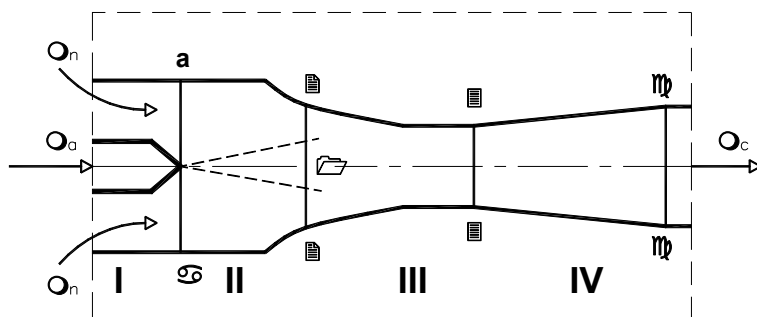


Рис. 1. Схема проточной части термоэжектора: I – активное сопло; II – приемная камера; III – камера смешения; IV – диффузор

Давление p_f начала парообразования в канале близко к давлению насыщения $p_s(t_a)$ при температуре подаваемой жидкости t_a , а давление в выходном сечении p_a равно критическому: $p_a = p^* < p_f$. Так как давление p_a превышает давление p_n в приемной камере II, то струя продолжает расширяться до входного сечения (2–2) камеры смешения III. В объеме струи происходят интенсивные обменные процессы, перестройка структуры потока, испарение жидкой фазы, сопровождающиеся падением давления до величины p_n и ростом скорости до значения $w_1 > w_a = w^*$. Таким образом формируется рабочая струя влажного пара парок капельной структуры с высоким объемным паросодержанием (например, при давлениях водяного пара $p_n \ll p_{кр}$ (по состоянию) значениям массовой концентрации пара $x \sim 0,05$ соответствуют объемные концентрации $\beta \sim 0,95$). В камере смешения III протекают процессы выравнивания давлений, скоростей, температур рабочего и инжектируемого потоков,

сопровождающиеся ростом статического давления и температуры. В диффузоре IV давление и температура установившегося потока с равномерным полем скорости повышаются до требуемых величин p_c и t_c .

В описанном процессе диссипативные потери струи формирующегося пара частично восстанавливаются, способствуя добавочному увеличению эффективности термоэжекторной установки.

2. Формирование расчетной методики

Критический режим в канале сопла (процесс расширения) полностью определяется условиями выхода (резкое падение давления), что доказывает анализ экспериментальных данных [15], так же от условий выхода зависит и импульс (сила реакции) активной струи – важнейший для эффективности параметр. Поэтому эффективность принципа струйной термокомпресии в первую очередь определяется совершенством процессов истечения и формирования рабочей струи влажного пара.

При отсутствии общепринятой методики расчета критического истечения двухфазной смеси позволяющей определять ее параметры на срезе активного сопла, возникла необходимость создания физически обоснованной модели на основе наиболее достоверных экспериментальных данных и приближенных расчетных методов. [15]

Согласно многочисленным опытным данным парообразование начинается на стенке канала вблизи выходного среза, где при недогревах $\Delta t_n \geq 200\text{C}$ формируется дисперсно-кольцевой режим. По одномерной модели спутного течения [6], в центре движется метастабильно перегретая жидкость с неизменными параметрами, а вблизи стенки – мелкодисперсная двухфазная среда пенной или парокапельной структуры. Образование пара происходит за счет той части жидкостного потока у стенки, который образует гомогенную смесь. Из этого утверждения следует постоянство площадей сечения спутных потоков, а значит и удельных расходов

$$j = \frac{w_f}{v_f} = \frac{w_*}{v_*} = \text{const}$$

где w_f, w_* – скорость метастабильного ядра и двухфазной среды; v_f, v_* – удельный объем метастабильного и двухфазного потоков.

В данной работе были приняты следующие обозначения: относительное давление

$\varepsilon_f = \frac{P_f}{P_0}$, $\varepsilon_* = \frac{P_*}{P_0}$; где P_0, P_f, P_* – давление на входе в канал, в сечении начала

парообразования, критическое давление в выходном срезе; $\gamma_* = \frac{w_*}{w_f} = \frac{v_*}{v_f}$ –

относительная скорость истечения двухфазной среды. C_m – степень завершенности обмена количеством движения в звуковой волне.

Нижними индексами f и * отмечены соответственно параметры начала парообразования и параметры критического истечения.

Относительное критическое давление ε_* является определяющим процесс критического истечения фактором [6, 7].

Это подтверждается материалами обработки опытных данных, приведенными на рис. 2 и рис. 3. Условные обозначения на всех рисунках одинаковы.

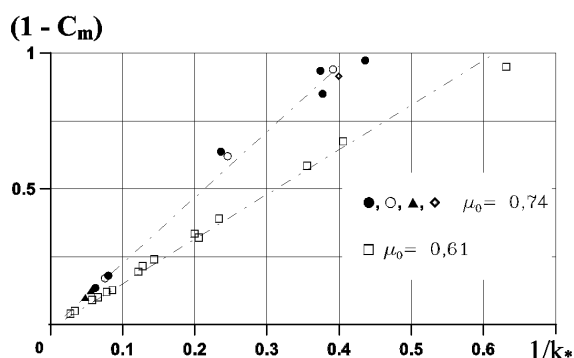


Рис. 2. Зависимость степени завершения обмена количеством движения от показателя адиабаты двухфазной смеси при течении потока в цилиндрическом активном сопле

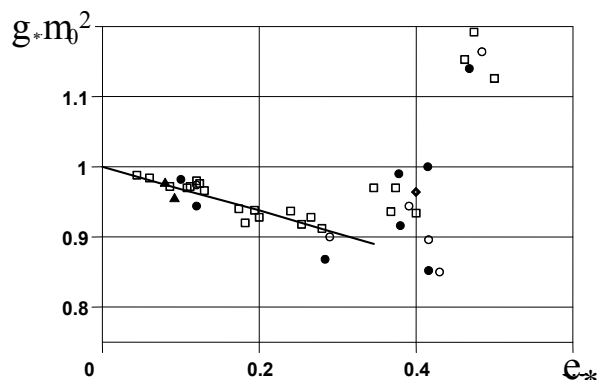


Рис. 3. Зависимость показателя геометрии цилиндрического канала для области значительных недогревов $\gamma_* \cdot \mu_0^2 \approx 1 - 1/3 \cdot \epsilon_*$ (сплошная линия)

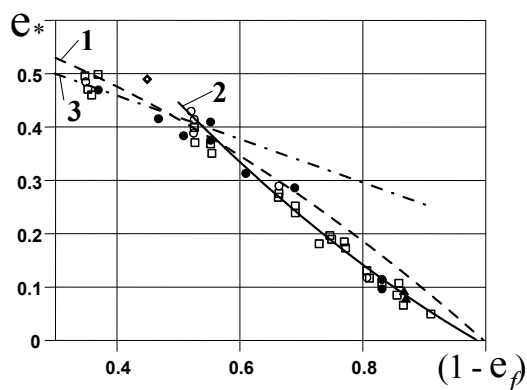


Рис. 4. Обобщенная зависимость для расчета относительного критического давления.

$1 - \epsilon_* = \epsilon_f(1 - 0,356\epsilon_f)$ по [17]; 2 – обобщающая зависимость для значительных недогревов (см. рис. 2); 3 – гомогенная модель критического истечения ($C_m = 0$).
обмена количеством движения в звуковой волне $C_m = 0$ [6] и приближенностью гомогенной модели.

3. Геометрические характеристики активного сопла.

Обобщая данные проведенного эксперимента [15], можно сказать, что во-первых наблюдается различие расходов при истечении через суживающееся цилиндрическое сопло ($l_f \approx d_f$) и расширяющееся коническое сопло с той же самой суживающейся входной частью, что свидетельствует о различном характере течения на участке с

Сопоставление полученных из примененной модели расчетных соотношений с экспериментальными данными [6, 16] доказывает, что при погрешности измерения давления в выходном срезе в 10 % (оценка авторов эксперимента), для небольших недогревов рассчитанные на основе гомогенной модели кривые удовлетворительно согласуются с экспериментом (рис. 4)

В области значительных недогревов ($\Delta t_H > 50^\circ C$) наблюдается расхождение, увеличивающееся с ростом недогрева. Это обусловлено прежде всего незавершенностью

минимальным сечением. Экспериментальные значения расходов m_a в суживающемся цилиндрическом канале с точностью 3% совпадают с расчетными значениями расходов при принятии условия о начале парообразования в сечении, где локальное давление равно давлению насыщения при начальной температуре жидкости t_0 ; т.е. $P_f = P_{s0}$. В соплах с расширяющейся конической частью экспериментальные значения расходов с указанной точностью всегда выше расчетных. Этот факт можно объяснить эжектирующим влиянием ускоряющегося пристенного слоя пенной структуры, формирующегося непосредственно за минимальным сечением. За счет этого критическое сечение (первый кризис течения) смещается в расширяющуюся часть канала.

Во-вторых, увеличение угла конусности α_k каналов и степени геометрического расширения f_k приводит к смещению критического сечения против потока вглубь



Рис. 5. Истечение вскипающей жидкости из конического канала активного сопла

сопла – третий кризис течения. Существует предельное минимальное значение геометрического параметра $(f_k)_{пр}$, когда в выходном сечении канала расширяющегося сопла формируется сверхзвуковой поток парок капельной мелкодисперсной структуры, а паровая струя имеет четко очерченные границы с углом конусностью примерно равным величине α_k (рис. 5). Переход к режимам полного расширения потока, когда давление в выходном срезе канала P_a становится равным давлению окружающей среды P_n , характеризуется ростом эффективности сопла.

Выводы

Таким образом правомерность динамической схемы парообразования при критическом истечении доказана и предложенные в работе [15] зависимости на основе модели термической метастабильности пристенного двухфазного слоя могут служить основой расчетной методики для определенных областей рабочих параметров термоэжектора.

Так как процесс парообразования в цилиндрическом канале реализуется только на очень небольшой длине ($l \sim d$) вблизи выходного среза, то трудно заметно повысить эффективность цилиндрических сопел в СТК.

Существуют оптимальные значения геометрических параметров активных сопел, обеспечивающие достижение максимальных значений коэффициента импульса φ_a при заданных режимных параметрах (P_0, t_0, P_n)

В дальнейшем предполагается разработать методику инженерного расчета термоэжекторной установки для систем вакуумирования и экспериментально обосновать оценку энергоэкономической эффективности использования такой установки в металлургической промышленности.

Список литературы

1. Калинин Е. С., Черная металлургия: реальность и тенденции, М., 1975
2. Повышение качества и улучшение сортамента подшипниковой стали в странах-членах СЭВ–М.: Ин-т «Черметинформация». 1979г., ч. 1

3. Деклараційний патент № 59207, Україна, кл. F 04 F 5/24. Спосіб стиснення парорідинного середовища і пароструминна компресорна установка для його здійснення. Опубл. 2002.
4. Марченко В.Н., Жиленко Н.А. Струйная термокомпрессорная установка: назначение, принцип действия, термодинамическая модель и результаты расчетных исследований рабочего процесса // Вісник Сумського державного університету, 2004, №13(72), с. 50 – 60.
5. Дейч М. Е., Филиппов Г. А. Газодинамика двухфазных сред. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
6. Фисенко В. В. Критические двухфазные потоки. – М.: Атомиздат, 1978. – 160 с.
7. Истечение теплоносителя при потере герметичности реакторного контура / В. В. Арсентьев, Ю. А. Калайда, В. В. Фисенко, Б. М. Цизин – М.: Атомиздат, 1977. – 123 с.
8. Лабунцов Д. А., Авдеев А. А. Обобщение опытных данных по критическому истечению вскипающих жидкостей. – Теплоэнергетика, 1978, № 9, с. 71 – 75.
9. Мамедов И. С. Определение пропускной способности сопла при истечении воды, частично меняющей агрегатное состояние // Водоснабжение и санитарная техника, 1970, № 2, с. 32 – 36.
10. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
11. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
12. Марченко В.Н., Жиленко Н.А. Струйная термокомпрессорная установка: назначение, принцип действия, термодинамическая модель и результаты расчетных исследований рабочего процесса.// Вісник Сумського державного університету, 2004, №13(72), с. 50 – 60.
13. Зысин В. А., Китанин Э. Л. Гидравлика парожидкостных потоков: Учебное пособие. – Л.: ЛПИ, 1973. – 76 с.
14. Вскипающие адиабатные потоки / В. А. Зысин, Г. А. Баранов, Б. А. Барилевич, Т. Н. Парфенова. – М.: Атомиздат, 1976. – 152 с.
15. Марченко В.Н., Жиленко Н.А. О закономерностях критического истечения вскипающей воды через цилиндрические каналы // Вісник Сумського державного університету, 2006, №5(89), с. 53 – 60.
16. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие.– М.: Энергоатомиздат, 1990.– 367 с.
17. Вайсман М.Д. и Поляков К.С. К вопросу об адиабатическом истечении испаряющейся жидкости // Инженерно-физический журнал, 1964, № 8

УДК 621.923.6

**В.И.Лавриненко, д-р.техн.наук, О.О.Пасичный, канд.техн.наук,
Б.В.Сытник., вед.инж.
ИСМ НАН Украины, г. Киев**

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СПЕЧЕННОГО КОМПОЗИТА С УПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

У статті розглянуті питання доцільності вивчення структурної орієнтації робочого шару шліфувального інструменту з НТМ. Розглянуто особливості шліфувального композита з упорядкованим розташуванням зерен алмазу і виявлені характерні для процесу обробки таким композитів закономірності.

The problem on importance of the count of structural orientation in a working layer of abrasive wheels from SHM surveyed. Technological aspects with reference to requirements of a molding and sintering of a working layer of circles are shown at which it is possible to implement requirements of change of structural orientation of such layer. Features of a grinding composite with diamond around surveyed.

Для современного инструментального производства характерно постоянное обновление технологического процесса изготовления инструмента с целью повышения его конкурентоспособности. В настоящее время доля использования инструмента из