

© Рябчиков Н. Л., Оболенская Т. А., Страшко Т. И.

РЕЖИМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ЖИДКООХЛАЖДАЕМЫХ ВАЛАХ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

1. Введение

Основанием для разработки темы статьи является необходимость внедрения в реальные машины новейших физико–химических технологических процессов, которые способны создавать высококачественную конкурентноспособную продукцию, обязательными элементами которых должны быть валы, качество поверхности которых определяется параметрами жидкости, которая подается вовнутрь.

Создание новых машин, которые отвечали бы современным требованиям и использовали новейшие технологические процессы, невозможно без разработки теоретических основ расчета и конструирования жидконаполненных валов, которые бы наилучшим образом обеспечивали работу этих устройств в соответствии с поставленными перед ними задачами.

Теория создания подобных валов приведена в ряде работ [1-3], в которых обоснованы требования к созданию валов, выведены основные зависимости для их деформаций и температур. Недостаточно отражены процессы работы подобных систем в переходных режимах, когда требуются дополнительные затраты на подачу жидкости.

Типичные валы с охлаждением жидкостью, могут иметь вид рис.1,2

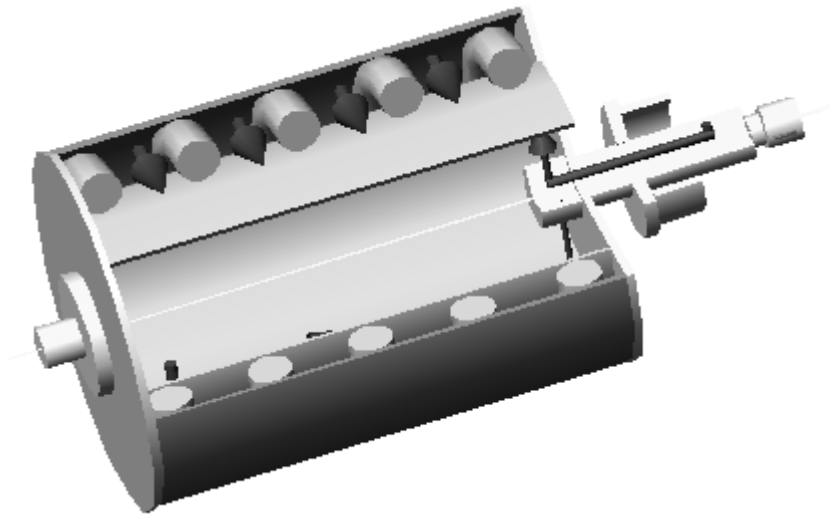


Рис. 1 – Вал с возможностью охлаждения криогенными жидкостями

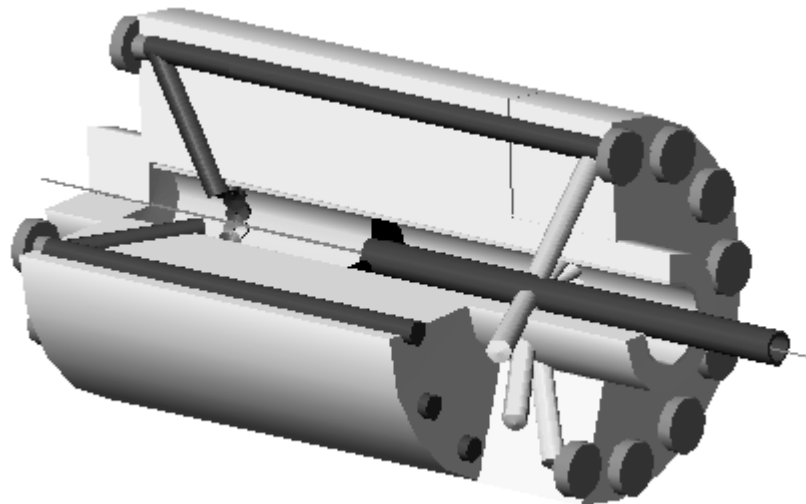


Рис. 2 – Вал с жидкостным охлаждением для высоких удельных давлений

В некоторых случаях может быть полезным иметь переменную температуру поверхности вала по его длине.

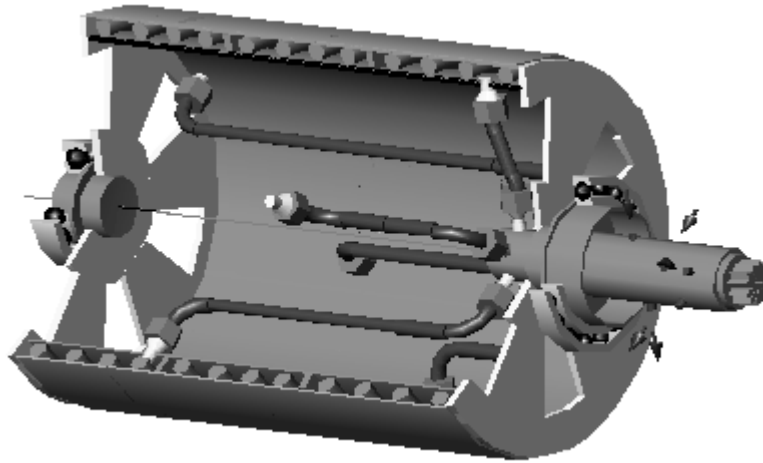


Рис. 3 – Вал с переменной температурой по длине

Как уже было указано, для создания эффективных систем управления подобными объектами необходимо изучение переходных процессов, то есть поведение их при дополнительных подачах тепловых потоков и расходов жидкости.

Цель работы – решить задачу определения расходов охлаждаемой жидкости в переходных режимах, при увеличении тепловых потоков от обрабатываемого материала.

2. Описание переходных процессов

Жидкоохлаждаемые валы широко используются для отведения тепла в процессе обработки материалов. В валах протекает охлаждающая жидкость с температурой t_0 под внешней оболочкой вала с толщиной δ . В технологических процессах извне на материал, который находится на внешней поверхности оболочки вала падает тепловой поток, в существующих экспериментальных установках он достигает $30 - 50 \text{ кВт/м}^2$. В ряде случаев [3] оптимальные параметры протекания технологического процесса требуют конкретного достаточно узкого диапазона рабочих температур.

В то же время требования производства могут реализовать достаточно резкие изменения внешних тепловых потоков. Практика работы на экспериментальных установках показала, что именно в этих переходных режимах оказываются наиболее серьезные дефекты.

В принципе эти потоки можно компенсировать достаточно быстрым снижением температуры рабочей жидкости, однако очень быстрое снижение может привести к изменению структуры материала, который обрабатывается.

Для создания системы управления охлаждающей жидкостью нужно решить уравнение распространения температуры в оболочке вала при изменении режимов обработки.

Температура по толщине оболочки вала определяется дифференциальным уравнением теплопроводности:

$$K^2 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{\partial t}{\partial \tau},$$

где $K^2 = \frac{\lambda}{C\rho}$, λ – теплопроводность материала оболочки, C – теплоемкость, ρ – плотность

Нагревание извне реализуется в виде предельного условия: $\frac{\partial t}{\partial x} = -\frac{q}{\lambda}$ при $x=0$,

причем q – тепловой поток, который может изменяться во времени.

На внутренней поверхности оболочки действует охлаждающий эффект со стороны рабочей жидкости. Температура на внешней поверхности оболочки определяется условием:

$$\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + t = t_0,$$

где t_0 – температура жидкости, в общем случае переменная во времени, α – коэффициент теплоотдачи от стенки оболочки к охлаждающей жидкости.

Переходя к изображениям с помощью преобразования Лапласа, получаем обычное дифференциальное уравнение в изображениях U :

$$\frac{d^2U}{dx^2} - \frac{1}{k^2} \cdot \frac{U}{p} = 0,$$

решение которого имеет вид:

$$U = C_1 \exp\left(\frac{x\sqrt{p}}{k}\right) + C_2 \exp\left(-\frac{x\sqrt{p}}{k}\right).$$

Учитывая, что температура уменьшается от внешней поверхности оболочки к внутренней, считаем, что действует только второе слагаемое:

В случае нагревания тепловым потоком извне предельное условие в изображениях принимает вид:

$$\frac{dU}{dx} = \frac{Q(p)}{\lambda},$$

где $Q(p)$ – изображение функции теплового потока.

В этих условиях решение в изображениях имеет вид

$$U = \frac{Q(p) \cdot k}{\sqrt{p} \cdot \lambda}.$$

При охлаждении внутренней поверхности оболочки предельное условие в изображениях имеет вид:

$$\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{dU}{dx} + \frac{U}{p} = T(p) \text{ при } x=\delta,$$

где $T(p)$ – изображение функции температуры охлаждающей жидкости.

При таком условии решения в изображениях на внешней поверхности вала будет таким:

$$U = \frac{T(p)}{1 - \frac{\sqrt{p}\alpha}{k\lambda}} \cdot \exp\left(\frac{\delta\sqrt{p}}{k}\right).$$

В полученных решениях величина Q характеризует эффект возмущения, который действует на вал, а T - управляющий эффект.

Наилучшими условиями работы вала были бы такие, которые обеспечивали неизменную температуру внешней поверхности. Это условие требует одинаковых режимов повышения и снижения температуры поверхности оболочки, что предусматривает сравнение значений температур, полученных из двух условий.

Из этого условия вытекает значение функции температуры жидкости, необходимое для обеспечения постоянной температуры поверхности.:

$$T(p) = Q(p) \exp\left(-\frac{\delta \sqrt{p}}{k}\right) \cdot \frac{k \sqrt{p} / \lambda}{1 - \alpha \sqrt{p} / k \lambda}.$$

Обычно, после нахождения значения $T(p)$ нужно перейти к оригиналам для обеспечения информации, необходимой для работы системы управления.

Рассмотрим конкретный пример ступенчатого изменения мощности излучаемого теплового потока на величину q_0 . Изображение такой функции в случае использования преобразования Лапласа имеет вид:

$$Q(p) = \frac{q}{p}.$$

Тогда изображение функции температуры жидкости, необходимой для обеспечения заданной температуры поверхности жидкоохлаждаемого вала и обрабатываемого материала:

$$T(p) = -\frac{qk^2}{\alpha} p^{-1/2} \left(p^{1/2} - \frac{k\lambda}{\alpha}\right)^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{\delta}{k} p^{1/2}\right).$$

Оригинал этой функции можно представить в виде :

$$t_0 = -\frac{qk^2}{\alpha} \exp\left(\frac{k^2 \lambda^2}{\alpha^2} \tau - \frac{\delta \lambda}{\alpha}\right) \cdot \operatorname{Erfc}\left(\frac{\delta}{2k\sqrt{\tau}} - \frac{k\lambda}{\alpha} \sqrt{\tau}\right),$$

где $\operatorname{Erfc}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} e^{-v^2} dv = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(z - \frac{z^3}{3} + \frac{1}{2!} \frac{z^5}{5} - \frac{1}{3!} \frac{z^7}{7} + \dots\right),$

$$z = \frac{\delta}{2k\sqrt{\tau}} - \frac{k\lambda}{\alpha} \sqrt{\tau}.$$

Полученная функция управления температуры охлаждающей жидкости позволяет обеспечить постоянную температуру поверхности охлаждающего вала при изменении мощности излучателей тепла. Этот факт позволяет правильно спроектировать систему управления охлаждением вала.

На рис. 4. показана зависимость необходимой температуры охлаждающей жидкости от времени для разных толщин стенки охлаждающего вала

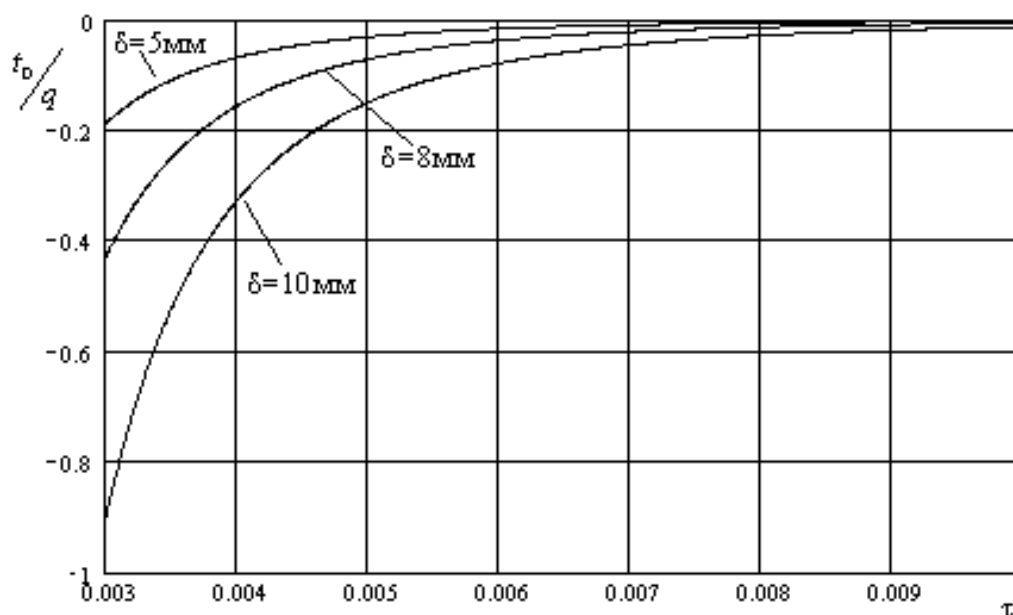


Рис. 4. Необходимая температура охлаждающей жидкости в зависимости от времени

Из графиков следует, что для достаточно больших толщин стенки вала требуется сложный закон управляющей температуры и очень низкие температуры охлаждающей жидкости. Напомним [1], что в стационарном случае, который используется традиционно, работа вала по охлаждению практически не зависит от толщины стенки вала.

3. Заключение

Таким образом, из условий динамического управления температурой в условиях переходных процессов нагревания внешней поверхности вала

желательно его толщину делать как можно меньше, что вступает в противоречие с требованиями стоимости вала из условий его изготовления, его жесткости и прочности. Возможным путем повышения эффективности работы охлаждающего вала в переходных режимах может быть увеличение коэффициента теплоотдачи от внутренней стенки вала к охлаждающей жидкости. На рис.5 показаны зависимости температуры охлаждающей жидкости для разных значений коэффициентов теплоотдачи.

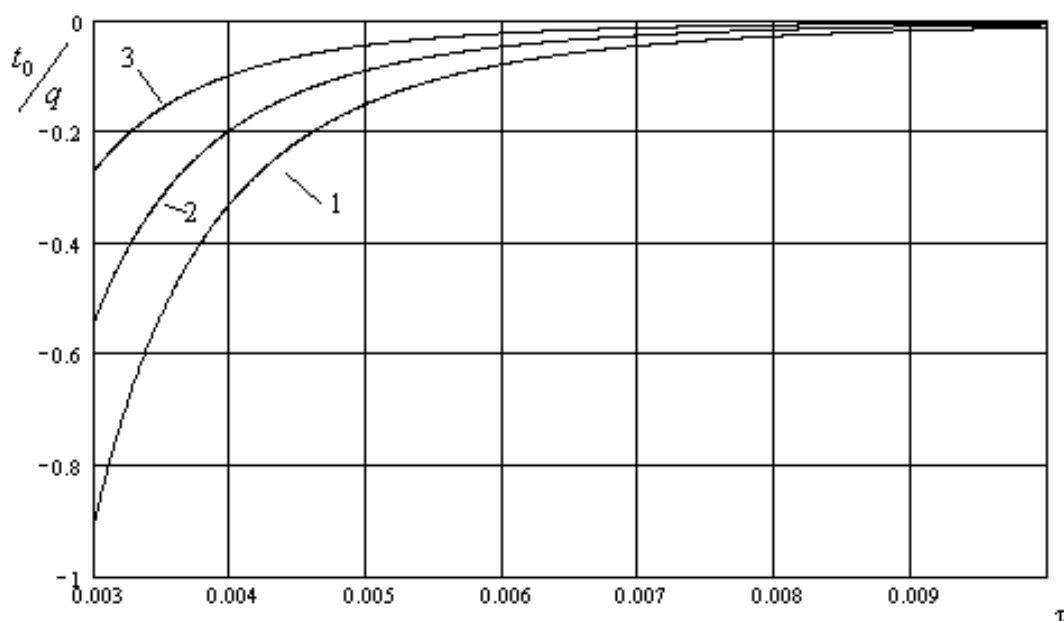


Рис. 5. Необходимая температура охлаждающей жидкости в зависимости от времени для разных значений коэффициенту теплоотдачи
 1 $\alpha=1000$ Дж/м град, 2 $\alpha=2000$ Дж/м град, 3. $\alpha=3000$ Дж/м град

Конструктивным путем повышения коэффициента теплоотдачи может быть установление в канале для прохождения жидкости препятствий для создания завихрений, а также повышения скорости жидкости.

Список использованных источников

1. Рябчиков М. Л. Побудова загальної теорії рідинонаповнених валів на основі системи морфологічних ознак / М. Л. Рябчиков // Вестн. нац. техн. ун-та "ХПИ". – Х., 2003. – Т. 1, № 9. – С. 57–64.

2. Рябчиков М. Л. Перспективи та реальність комп'ютерного моделювання рідинонаповнених валів / М. Л. Рябчиков, О. М. Бірюкова // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2005. – №. 2/2 (14). – С. 59–63.

3. Рябчиков М. Л. Засоби подавання рідини в обертальні елементи машин в умовах вакуумної металізації / М. Л. Лябчиков, А. Л. Матюхова // Наукові нотатки / Луцьк. держ. техн. ун-т. –Луцьк, 2000. – С. 214–219.

Рябчиков Н.Л., Оболенская Т.А., Страшко Т.И. “Режимы охлаждения материалов на жидкоохлаждаемых валах в переходных режимах”.

Рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением заданных температурных режимов при обработке нагретых материалов. Описаны переходные процессы, происходящие в охлаждающих системах при изменении внешних тепловых потоков. Приведены рекомендации по конструкции охлаждающих систем и системам управления, обеспечивающих правильное прохождение технологических процессов.

Рябчиков М.Л., Оболенська Т.О., Страшко Т.І. “Режими охолодження матеріалів на жидкоохлаждаемых валах в перехідних режимах”.

Розглянуті питання, пов'язані із забезпеченням заданих температурних режимів при обробці нагрітих матеріалів. Описані перехідні процеси, що відбуваються в системах, що охолоджують, при зміні зовнішніх теплових потоків. Приведені рекомендації по конструкції систем, що охолоджують, і системам управління, що забезпечують правильне проходження технологічних процесів.

Ryabchikov N.L., Obolenskaya T.A., Strashko T.I. “Modes of cooling of materials on liquid cooled billows in transient behaviors”.

Questions, related to providing of the set temperature conditions at treatment of the heated materials, are considered. Transients, what be going on in the cooling

systems at the change of external thermal streams, are described. Resulted recommendation on the construction of the cooling systems and control the system, providing the correct passing of technological processes.