

УДК 621.743.06

СУШКА ЛИВАРНИХ СТРИЖНІВ В ПОЛІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

Є.О. Волченков, А.О. Кусінь, М.І. Прилуцький

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

У роботі розглянуто метод сушки ливарних стрижнів у полі електричного струму високої частоти. Проведено аналіз процесу сушки в полі СВЧ. Розглянуто процес тепло- і масопереносу при сушці ливарних стрижнів в полі СВЧ.

В работе рассмотрен метод сушки литейных стержней в поле электрического тока высокой частоты. Проведён анализ процесса сушки в поле ТВЧ. Рассмотрен процесс тепло- и массопереноса при сушке литейных стержней в поле ТВЧ.

Considered a method of drying cores in the field of electric current of high frequency. The analysis of the drying proces. The process of heat- and masstransfer in drying cores n the field of electric current of high frequency.

Метод сушки (під сушкою розуміється не тільки процес видалення вологи, але й процес твердіння зв'язуючого) ливарних стрижневих сумішей в електричному полі струму високої частоти заснований на явищі нагріву діелектриків і напівпровідників в електричному полі СВЧ; при цьому внутрішні більш вологі шари матеріалу нагріваються швидше за зовнішні. Нагрів матеріалу здійснюється за рахунок явища дипольної поляризації, протікання струмів провідності та різниці значень тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ речовин, які піддають сушці в полі струму ВЧ. Основні переваги методу: високі інтенсивність і швидкість процесу; висока якість готового продукту; високе значення ККД сушарок (до 62% замість 20-25% при конвективній сушці); можливість регулювання температури внутрішнього об'єму матеріалу не-

залежно від температури поверхні; можливість використовувати сушарки в автоматизованих поточних лініях; екологічність сушки. До головних недоліків методу відносяться: необхідність використовувати кошову оснастку (сушильні плити – «драйєри», які виготовляються з пластмас або зі спеціально підготовленої деревини – висока вартість і недоступність цих драйєрів є головною причиною, що стримує розвиток сушки в полі струму ВЧ) для сушки; складне обладнання для сушки та його обслуговування; необхідність виконання персоналом більш суворих правил охорони праці у зв'язку з роботою установки під струмом високої частоти.

При сушці ливарних форм і готових стрижнів використовують високочастотні установки потужністю 5...250 кВт і продуктивністю 20 кг зневоленого матеріалу за годину на 1 кВт встановленої потужності. Питома потужність при високочастотній сушці знаходиться за формулою:

$$p = 0,55 \cdot \varepsilon_{\text{омн}} \cdot \text{tg}\theta \cdot f \cdot E^2 \cdot 10^{-12}, \left[\text{Вт} / \text{см}^3 \right]$$

(1)

Зв'язок питомої потужності, що підводиться до матеріалу, із швидкістю сушки:

$$p = \frac{4,18}{\eta_T} \cdot \left(\gamma \cdot c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta \tau} + r \cdot \frac{\Delta M}{\Delta \tau} \right), \left[\text{Вт} / \text{см}^3 \right],$$

(2)

де γ – густина матеріалу, $\text{г}/\text{см}^3$;

c – питома теплоємність матеріалу, $\text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{град})$;

$\Delta t/\Delta \tau$ – швидкість нагріву матеріалу, $\text{град}/\text{с}$;

Δt – приріст температури в град за Δt с;

r – прихована теплота випаровування в $\text{Дж}/\text{г}$;

$\Delta M/\Delta \tau$ – швидкість сушки, $\text{г}/(\text{см}^3 \cdot \text{с})$;

η_T – термічний ККД процесу сушки.

В якості джерела струму використовують лампові генератори, які здатні генерувати електричний струм із частотою 1...50 МГц. На основі експериментальних даних встановлено, що стрижневі суміші краще за все сушити в полі СВЧ із частотою 27 МГц. Витрати електроенергії на сушку 1 кг стрижнів із початковою вологістю 2-4% складають 0,29-0,36 МДж (0,08-0,1 кВт*ч).

Усі зв'язуючі матеріали для виготовлення стрижнів можна розділити на 4 групи [1]: А (фуранові і січовиноформальдегідні смоли), В (резол, водний розчин фенольноволачної смоли та рідке скло), С (фенольноволачна і фенольнорезолова смоли) і D (рослинно-мастильні та сахаридні зв'язуючі). При сушці в полу струму ВЧ використовують фенольні, січовиноформальдегідні та карбамідні смоли, а також кріпителі ГТФ, сульфітно-спиртова барда, декстрин, рідке скло, КБР та інше. Аналіз рівняння (2) та експериментальні дослідження показали, що для зменшення витрат теплоти необхідно застосовувати зв'язуючі, що твердіють за низьких температур – краще за все цьому відповідають зв'язуючі груп А, В і С, тоді як використання групи D недоцільне з-за малих значень тангенса кута діелектричних втрат.

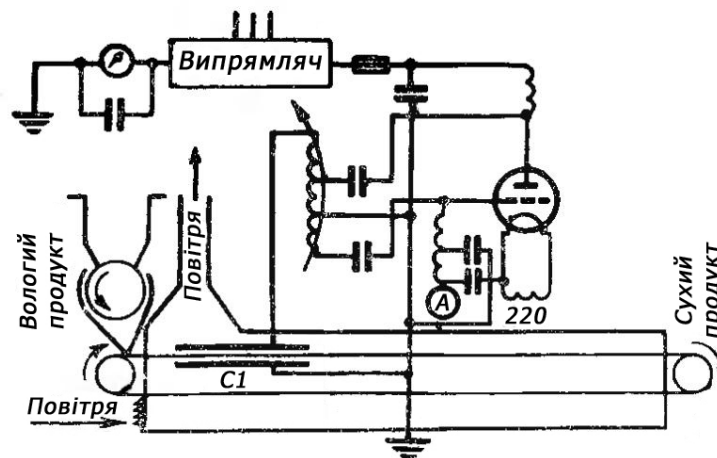


Рисунок 1. Принципова схема стрічкової сушарки для сушки струмом ВЧ порошкоподібних матеріалів

Сушка в полі струму ВЧ, як і при інших методах сушки, проходить у три стадії.

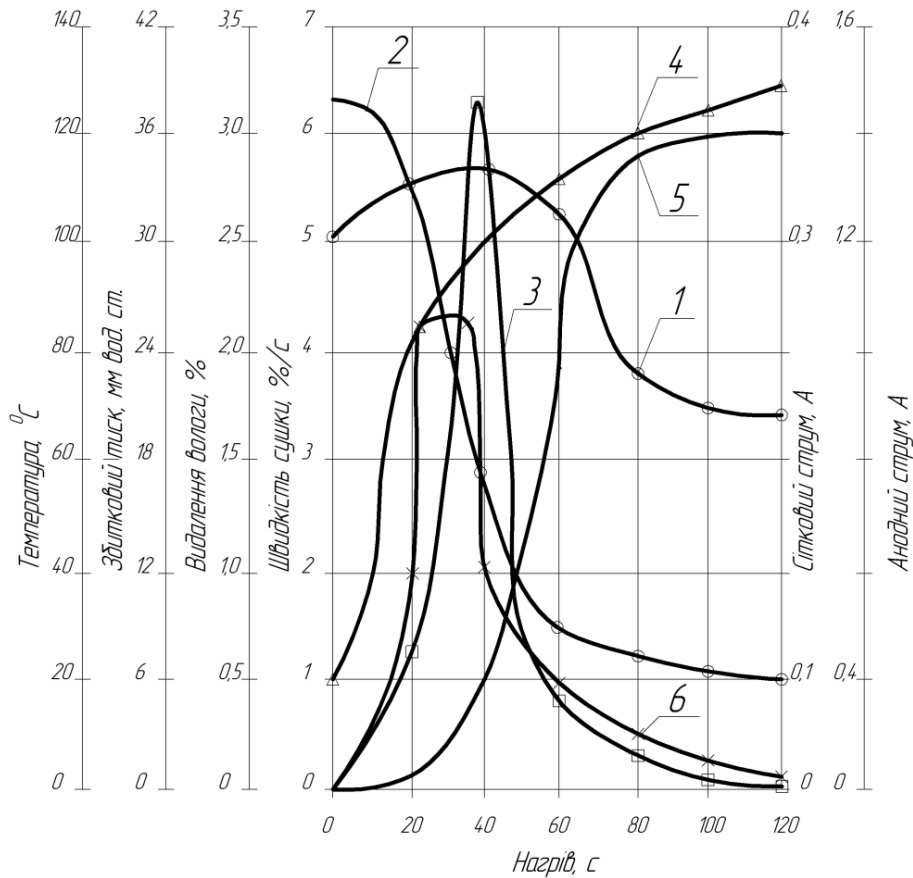


Рисунок 2. Кінетика твердіння стрижневої суміші:

1- анодний струм, А; 2 – видалення вологи, %; 3 – надлишковий тиск у центрі зразка, мм вод. ст.; 4 – температура, °С; 5 – сітковий струм, А; 6 – швидкість твердіння, %/с.

У роботі [2] було досліджено процес твердіння в полі струму ВЧ стрижневої суміші зі сульфідно-дріжджевою бражкою (СДБ). Встановлено, що у перший період сушки (нагрів центру матеріалу до температури випаровування вологи) внаслідок стрімкого зростання температури стрижня відбувається видалення вільної вологи і зростання швидкості гелеутворення, що обумовлює зростання міцності суміші; максимальна міцність досліджуваної суміші відповідає 35-45 с нагріву. Протягом другого періоду подальший нагрів матеріалу призводить до видалення вологи з гелю (при цьому тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$, який до того зростав з-за утворення водяної пари, тепер внаслідок стрімкого випаровування вологи майже миттєво зменшується), що

призводить до різкого зниження міцності і може викликати окрихчування суміші. Для уникнення цього в суміш вводили глину. Якщо кріпителі не встигають затвердіти, використовую спеціальні добавки (до 5% від ваги суміші) для зниження температури та збільшення швидкості твердіння. Волога в суміші є регулятором процесу сушки: по мірі видалення вільної вологи анодний струм зменшується, а сітковий збільшується. Третя стадія (подальший нагрів матеріалу) при сушці в полі струму ВЧ майже відсутня внаслідок малого значення $\text{tg}\delta$ у сухого піску – температура майже не підвищується, завдяки чому стає неможливим перепад стрижня. Експериментальним шляхом було встановлено, що максимальні значення міцності і газопроникності стрижневої суміші досягаються при 90-100 с нагріву.

Стрижнева суміш являє собою капілярно-пористе тіло, капіляри якого заповнені рідиною (водою) і газом (атмосферне повітря). Так як звичайно використовують суміші з вологістю до 5%, то вода в порах знаходиться у вигляді окремих крапель, які можуть переміщуватись в об'ємі стрижня тільки у вигляді пари. Водяна пара і повітря утворюють термофільтраційну пару, в якій різниці температури і тиску викликають кругову циркуляцію. В гарячій зоні (осьовий шар) піску тиск насиченої пари значно вищий, ніж у холодній (пристінний шар), тому при круговій циркуляції осьовий шар безперервно виносить із гарячої зони в холодну газ із підвищеним вмістом вологи, а пристінний за рахунок градієнта тиску подає з холодної зони в гарячу газ пониженим вмістом вологи. В результаті цього волога інтенсивно переміщується до поверхні. Таким чином, во внутрішніх шарах суміші, де тиск водяної пари значно менше насиченого, волога інтенсивно випаровується, а в зовнішніх шарах, де тиск більше насиченого, волога конденсується, що може призвести до нерівномірного кінцевого розподілу вологи в об'ємі зразка. Щоб уникнути цього, необхідна безперервна циркуляція в робочому просторі сушарки попередньо висушеного агента сушки. Застосування спеціальних драйерів також сприяє постійному рівномірному видаленню вологи з поверхні матеріалу. Швидкість перенесення пари з гарячої зони в холодну збільшується завдяки накладенню на процес фільтрації процесу дифузії пари під дією градієнтів тиску. При досягненні відповідних значень градієнтів тиску і температури (для кожної суміші вони свої) у виробі можуть виникнути тріщини. Щоб цього

уникнути, необхідно контролювати величину надлишкового тиску пари і швидкість видалення вологи при сушці. Для цього використовують спеціальні установки, описані в роботах [3] і [4] відповідно:

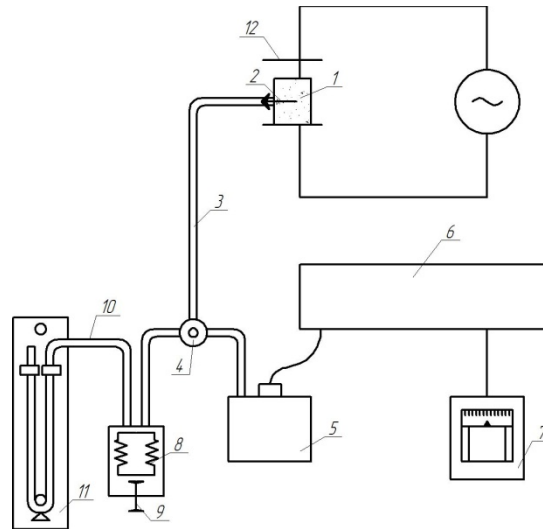


Рисунок 3. Принципова схема установки для виміру та запису надлишкового тиску пари:

1 – зразок; 2 - медична гла; 3 – з’єднальні шланги; 4 – трьохходовий шланг; 5 – тензOMETричний датчик; 6 – тензостанція; 7 - потенціометр; 8 – сільфон; 9 – шток; 10 – з’єднальні гумові шланги; 11 – V-подібний манометр; 12 – пластини робочого конденсатора.

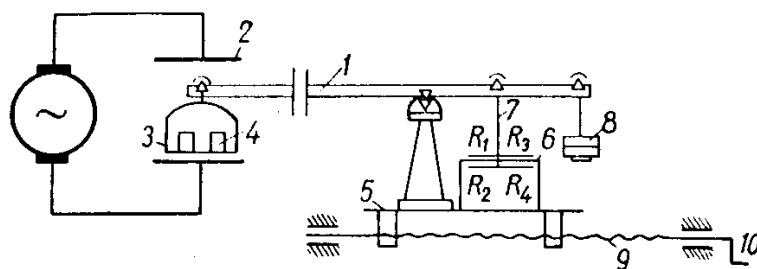


Рисунок 4. Принципова схема установки для виміру видалення вологи:

1 – коромисло; 2 – пластини конденсатора; 3 – підвіска; 4 – зразки; 5 – монтажна плита; 6 – пружна пластина; 7 – тяга; 8 – противовіс; 9 – ходовий гвинт; 10 – рукоятка.

Література

1. Вейник А.И. Термодинамика литейной формы [Текст] – М.: Машиностроение, 1968.: ил.
2. Глуханов Н.П., Федорова И.Г. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении [Текст] – Л.: Машиностроение, 1972.
3. Прилуцкий М.И. Исследование процесса твердения стержневой смеси в электрическом поле токов высокой частоты [Текст] / М.И. Прилуцкий, С.П. Дорошенко, К.И. Ващенко, В.Н. Елтышов, А.Ф. Чижский // Формовочные материалы и формообразование. – 1975. – С.93 – 97.: ил.
4. Прилуцкий М.И. Определение избыточного давления пара при высокочастотной сушке формовочных материалов [Текст] / М.И. Прилуцкий, К.И. Ващенко, А.Ф. Чижский // Вестник Киевского политехнического института, серия машиностроение. – 1972. – №9. – С.85 – 87.: ил.
5. Ващенко К.И. О непрерывном автоматическом измерении убыли влаги при сушке формовочных материалов в поле токов высокой частоты [Текст] / К.И. Ващенко, М.И. Прилуцкий, А.Ф. Чижский // Вестник Киевского политехнического института, серия машиностроение. – 1971. – №8. – С.131 – 133.: ил.