

УДК 685.31-83

О.Г. МЕДВІДЬ, В.В. ОЛІЙНИКОВА

Київський національний університет технологій та дизайну

**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАГРІВУ В ДІАПАЗОНІ НВЧ**

*В роботі розглянуто особливості НВЧ – нагріву, надчистого нагріву, саморегульованого нагріву, вивчені резонаторні камери для установок НВЧ – нагріву діелектриків. При цьому розглянуто рівень завантаження резонаторних камер.*

**Ключові слова:** *хвилеводи, частота коливань, теплопровідність, випромінювання, резонаторні камери, поля, амплітуда, електромагнітні коливання, анодний блок, нагрівач, магнітне поле, магнетрон, коаксіальний кабель.*

Сьогодні більшість технологічних процесів переробки будь-яких матеріалів пов'язані з нагріванням. Одним з найперспективніших видів термічної обробки є нагрів матеріалів в електромагнітних полях.

Розповсюдження високочастотного методу нагрівання пояснюється цілим рядом його особливостей. Перш за все, при високочастотному нагріванні з'являється можливість забезпечення високих швидкостей підвищення температури в матеріалі. Це дозволяє виконувати вибірковий нагрів при обробці неоднорідних матеріалів, що понижує енергетичні витрати процесу в цілому. Це явище використовується, наприклад, у процесах склеювання, вирівнювання вологості та ін.

При сушінні, очищенні, полімеризації у зв'язку зі зменшенням коефіцієнта втрат матеріалу, що нагрівається, швидкість підняття температури автоматично знижується до кінця процесу, при цьому зменшується можливість недопустимого перегрівання продукту. Процес без інерційний і зупиняється зі зняттям напруги з робочого конденсатора. Технологічні процеси з використанням швидкісного високочастотного нагріву легко механізувати і автоматизувати.

Впровадження високочастотного методу нагріву значно покращує санітарно – гігієнічні умови праці.

**Об'єкти та методи дослідження**

Розвиток потужних магнетронів і наукові дослідження впливу мікрохвильової енергії відкрили широкі перспективи для промислового застосування НВЧ – енергії та розвитку техніки і технології. [3]

Високочастотний нагрів діелектричних(не провідникових) матеріалів знайшов широке застосування в промисловості. Ряд технологічних процесів, таких, як сушіння, склеювання деревини, зварювання пластмас, нагрів таблетованих прес – матеріалів перед пресуванням, успішно застосовується на багатьох підприємствах. З розвитком хімічної промисловості з'явився цілий ряд нових матеріалів, що також потребують переробки із застосуванням НВЧ – нагріву. Освоєна технологія і серійний випуск високочастотного обладнання для отримання виробів з пінополістиролу, нагріву смол і компаундів, сушіння порошкових матеріалів та ін.

НВЧ – обладнання крім джерел живлення (лампових генераторів) має технологічні пристрої – робочі камери, виконані таким чином, що вони можуть бути використані для нагріву широкого кола виробів і матеріалів.

Застосування НВЧ нагріву у процесах сушіння дає дуже хороші результати.

Характерна особливість НВЧ – сушіння полягає в тому, що ефективність цього процесу залежить від електрофізичних параметрів продукту і, перш за все, від його вологості.

При високочастотному способі нагрівання температура всередині тіла, що нагрівається, виявляється вищою, ніж у поверхневих шарах, з яких відбувається видалення вологи. Сумісний вплив градієнтів температури, вологовмісту і тиску є дуже важливою перевагою високочастотного сушіння, що забезпечує скорочення тривалості сушіння інколи в десятки разів.

Можливість швидкого прогріву матеріалу великої товщини забезпечує створення дуже високих градієнтів температур, що також прискорює процес сушіння. Високочастотне сушіння є легко регульованим та керованим процесом. Можливість застосування високочастотного нагріву в вакуумних камерах, в камерах з підвищеним тиском, а також у поєднанні з сублімаційним сушінням дає можливість досягнення позитивних результатів при сушінні різних речовин. [1]

#### **Постановка завдання**

Детально вивчити вплив НВЧ – енергії на властивості матеріалів і виробів.

#### **Результати та їх обговорення**

**Особливості НВЧ – нагріву.** У більшості випадків нагрів будь-яких фізичних тіл виконується шляхом передачі тепла із зовні всередину за рахунок теплопровідності.

На НВЧ при раціональному підборі частоти коливань та параметрів камер, де відбувається перетворення НВЧ – енергії в теплову, можна отримати відносно рівномірне виділення тепла по об'єму тіла.

Ефективність перетворення енергії електричного поля в тепло виростає прямо пропорційно частоті коливань та квадрату напруженості електричного поля. При цьому слід відмітити простоту подачі НВЧ – енергії практично до будь-якої частини тіла, що нагрівається.

Важлива перевага НВЧ – нагріву – теплова без інерційність, тобто, можливість практично моментального увімкнення та вимкнення теплового впливу на оброблюваний матеріал. Звідси висока точність регулювання процесу нагрівання та його відтворюваність.

Перевагою НВЧ – нагріву є також принципово високий к. к. д. перетворення НВЧ – енергії в теплову, яка виділяється в об'ємі тіл, що нагріваються. Теоретичне значення цього к. к. д. близько 100 %. Теплові втрати в провідних трактах звичайно невеликі, і стінки хвилеводів і робочих камер залишаються практично холодними, що створює комфортні умови для обслуговуючого персоналу.

Важливою перевагою НВЧ – нагріву є можливість виконання і практичного застосування нових незвичайних методів нагріву, наприклад, вибіркового, рівномірного, надчистого і саморегульованого.

Вибірковий нагрів заснований на залежності втрат в діелектрику від довжини хвилі, тобто залежності тангенса кута діелектричних втрат  $\sigma$  як функції довжини хвилі  $\gamma$ . При цьому в багатокомпонентній суміші діелектриків будуть нагріватися тільки ті частини, де високий  $tg\delta$ .

**Рівномірний нагрів.** Звичайно передача тепла виконується за рахунок конвекції, теплопровідності та випромінювання. Звідси неминучий температурний градієнт (перепад) від поверхні на глибину матеріалу, причому, тим більший, чим менша теплопровідність. Зменшити або повністю усунути великий градієнт температур можна за рахунок збільшення часу обробки. В багатьох випадках тільки за рахунок повільного нагріву вдається запобігти перегріву поверхневих шарів оброблюваного матеріалу. Прикладами таких процесів є випалювання кераміки, отримання полімерних з'єднань та ін.

За допомогою НВЧ – енергії можна не тільки рівномірно нагрівати діелектрик по всьому його об'єму, а й отримувати за бажанням будь-яке задане розподілення температур. Тому при НВЧ – нагріві відкриваються можливості багаторазового усунення ряду технологічних процесів.

**Надчистий нагрів.** Якщо про нагріванні газовим полум'ям, а також за допомогою дугових горілок відбувається забруднення матеріалів, то НВЧ – енергію можна підводити до оброблюваного матеріалу через захисні оболонки з твердих діелектриків з малими втратами.

В результаті забруднення практично повністю усувається. Крім того, переміщуючи матеріал, що нагрівається, в викачаний об'єм або інертний газ, можна усунути окислення його поверхні. Забруднення від діелектрика, через який підводиться НВЧ – енергія, досить малі, так як у випадку малих втрат навіть при пропусканні великої НВЧ – потужності цей діелектрик залишається практично холодним.

**Саморегульований нагрів.** При нагріві з метою сушіння якості отриманого матеріалу значно покращується за рахунок того, що нагрів висушених місць автоматично зупиняється.

Пояснюється це тим, що тангенс кута діелектричних втрат таких матеріалів, як, наприклад, дерево, прямо пропорційний вологості. Тому зі зменшенням вологості в процесі сушіння втрати НВЧ – енергії зменшуються, а нагрівання продовжується тільки на тих ділянках оброблюваного матеріалу, де ще збереглася підвищена вологість.

#### **Резонаторні камери для установок НВЧ – нагріву діелектриків**

Конструкція резонаторних камер повинна бути такою, щоб всередині них нагрів нагрівання було однаковим в будь-якій частині внутрішнього об'єму, зайнятого оброблюваним діелектриком. З іншого боку, об'єм камер має бути досить великим, щоб протягом кожного циклу обробляти значну кількість матеріалу і повністю використовувати потужність НВЧ – генератора.

Для промислового застосування виділені невеликі частини спектру електромагнітних випромінювань, тому довільно обирати робочу довжину хвилі не можна. Одним з найбільш зручних діапазонів для нагріву діелектриків є діапазон хвиль біля 12,6 см ( $2375 \pm 50$  МГц).

Виходячи з приведених вимог, у приладах НВЧ – нагріву знаходять застосування резонаторні камери у вигляді прямокутних об'ємних резонаторів, лінійні розміри яких в 5 – 6 разів перевищують довжину хвилі генератора. В такому резонаторі може існувати кілька різних видів коливань (більше десяти), в кожного з яких свій розподіл електричного та магнітного полів всередині об'єму резонатора. Такі резонатори називаються багатоходовими, тобто в них може бути одночасно збуджено кілька видів коливань.

Поля різних видів коливань, якщо вони збуджені від одного генератора з фіксованою довжиною хвилі, можуть в різних точках внутрішнього об'єму резонатора інтерферувати, тобто додаватися або відніматися. В результаті в деяких точках можуть бути більш сильні поля (від додавання полів кількох видів коливань), а в інших – більш слабкі (внаслідок віднімання). Тому сумарне поле може бути суттєво нерівномірним.

Розміри та параметри об'ємних резонаторів можуть бути розраховані на ЕВЦМ та оптимізовані. Задача оптимізації в тому, щоб обрати такі розміри резонатора, при яких в ньому можна було б збуджувати тільки певні види коливань, а інтерференція між ними давала б можливо більш рівномірне поле по об'єму.

При цьому збуджуючі коливання пристрою мають встановлювати строго визначені співвідношення між амплітудами тих видів коливань, які дають сумарне рівномірне поле.

Дещо інший спосіб отримання рівномірності нагріву – це застосування двох чи більше генераторів, що працюють на різних, але звичайно близьких, частотах, або введення зміни в часі генерованої довжини хвилі в деяких можливих межах  $\pm\Delta\gamma$ .

Чим ближче за шкалою довжин хвиль розміщені види коливань багато модового резонатора, тим менший вимір довжини хвилі генератора виявляється достатнім для покращення рівномірності нагріву і отримання рівномірного електромагнітного поля в ньому навіть при слабкому навантаженні резонатора оброблюваним діелектриком.

Для НВЧ – нагріву найбільш придатні такі багатоходові резонатори, у яких резонансні довжини хвиль різних видів коливань розміщені за шкалою довжин хвиль не згустками, а максимально рівномірно. Це вдається, коли розміри резонатора  $a$ ,  $b$  і  $l_{рез}$  співрозмірні, але не рівні, тобто, коли резонатор являє собою паралелепіпед, близький до куба, але не куб.

**Рівень завантаження резонаторних камер.** Тут необхідно розрізнити два випадки. Якщо резонатор повністю заповнений діелектриком, з високим значенням діелектричної проникності та великими втратами, то різко падає його навантажена добротність, і узгодити введення енергії, що забезпечує повну передачу НВЧ – енергії від генератора в об'єм діелектрика відносно просто.

Складніше, коли резонатор завантажений діелектриком слабо або коли в резонаторі присутній значний об'єм діелектрика з малим  $\epsilon$  (менше 2) або малий об'єм діелектрика з високим значенням  $\epsilon$ . При цьому добротність резонатора для цих видів коливань понижується незначно. Тому такий резонатор у першому наближенні можна розраховувати без урахування втрат.

**Збудження робочих камер.** Так як у промислових установках необхідно передавати в робочу камеру НВЧ потужність високого рівня, яка вимірюється кіловатами в безперервному режимі, то з багатьох типів збуджуючих пристроїв придатні тільки такі, які мають достатню електричну міцність. До даних збуджуючих пристроїв, наприклад, відноситься відкритий кінець прямокутного хвилевода, розміщений у відповідному місці стінки робочої камери.

Відкритий кінець хвилевода розміщується там, де у потрібних видів коливань у резонаторі розміщується магнітне поле, причому напрямок силових ліній магнітних полів має бути паралельним як у збуджуючому хвилеводі з хвилею  $H_{10}$ , так і для робочого виду коливань в камері. Навпаки, для тих видів коливань, збудження яких небажано, в цьому місці має бути вузол магнітного поля або ж силові лінії їх магнітних полів мають бути перпендикулярні силовим лініям магнітного поля робочих видів коливань. [2]

### **Висновки**

Високочастотний нагрів діелектричних матеріалів потребує застосування високочастотного обладнання для сушіння різних матеріалів, їх розігріву, отримання виробів з покращеними фізичними і хімічними властивостями.

### Список використаної літератури

1. Княжевська Г.С., Фірсова М.Г. Високочастотний нагрів діелектричних матеріалів. – Л.: – 1980.

2. Пчельников Ю. Н., Свиридов В.Т. Электроника сверхвысоких частот. – М.: Радио и связь. – 1981.
3. О. Морозов, А. Каргін, Г. Савенко, В. Требух «Промислове застосування НВЧ – нагріву» – стаття.

Стаття надійшла до редакції 04.10.2012

#### **Анализ особенностей нагрева в диапазоне СВЧ**

Медведь О.Г., Олейникова В.В.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

В работе рассмотрены особенности СВЧ – нагрева, сверхчистого нагрева, саморегулированного нагрева, изучены резонаторные камеры для установок СВЧ – нагрева диэлектриков. При этом рассмотрен уровень загрузки резонаторных камер.

**Ключевые слова:** волноводы, частота колебаний, теплопроводность, излучение, резонаторные камеры, поля, амплитуда, электромагнитные колебания, анодный блок, магнитное поле, магнетрон, коаксиальный кабель.

#### **The analysis of features heating in the microwave**

O. Medvid, V. Oleynikova

*Kyiv National University of Technologies and Design*

The features of ultra high-frequency heating, ultra-pure heating, self-regulating heating were considered in the article. The resonator chambers were studied for systems ultra high-frequency heating of the dielectrics. The level of load resonator chambers The level of congestion the resonator chambers were considered.

**Keywords:** waveguides, the oscillation frequency, thermal, radiation, resonator chamber, field amplitude, electromagnetic waves, the anode block, the magnetic field, the magnetron, the coaxial cable.