

Anyagszáritás mikrohullámmal

Szőcs Katalin

Kolozsvár

A mikrohullámú száritás alapjai

A mikrohullám elektromágneses hullám akár csak a fény. Hullámhossza 1 mm és 1 m között, frekvenciája 300 MHz és 300 GHz között változik. Az elektromágneses hullámok, időben változó elektromos és mágneses tereként definiálhatók. Hullámhossz, illetve frekvencia szerinti sorbaállításuk pedig az elektromágneses spektrumot alkotja. (1. ábra). Az elektromágneses hullámok teljes hullámhossz tartományokban képesek energiatovábbításra, ezért száritásra elméletileg bármely intervallum használható. Ismeretes, hogy az elektromágneses spektrum használatát szigorú nemzetközi előírások szabályozzák. Gyakorlatilag száritási célokra a rádiófrekvenciás (RF) és a mikrohullámok (MH) tartománya jöhet számításba.

1. ábra, Az elektromágneses hullámok spektruma

A mikrohullámú vízelvonást elvileg az teszi lehetővé, hogy a száritandó anyagban levő víz elsőrendű dielektrikum, amelyben az elektromos energia egy része hővé alakul, ami alkalmas a termékek főlsleges tartalmának eltávolítására. A száradást meghatározó dielektrikus tulajdonságok az anyagi- és a folyamatjellemzők interakciójának eredményeként alakulnak, így a folyamat a klasszikus hő- és anyagátviteli elmélettel nehezen írható le. (1) A külső elektromos tér a dielektrikum belsejében úgy módosul, hogy két pontszerű töltés egymásra kisebb erővel hat, mint vákuumban. Következésképpen a térerősség csökken. A mikrohullámú tér esetében a körfrekvencia nagy értéke miatt a veszteségszög tangense ($\text{tg}\delta$) a dielektrikus állandó valós (ϵ') és képzetes (ϵ'') részének hányadosaként definiálható:

$$\text{tg}\delta = \epsilon''/\epsilon'$$

A veszteségszög a dielektrikum egyik alapvető fontosságú anyagi jellemzője, meghatározása csak mérésrel lehetséges. Ugyancsak mérésrel határoz-

zák meg a dielektrikumot alkotó anyag relatív dielektrikus állandóját is (ϵ_r). A szemcsés termékek dielektrikus állandója az

$$\epsilon_r = \Phi(f, w, \theta, \rho)$$

függvénnyel jellemezhető (2), ahol f a frekvencia, w a termék víztartalma, θ az anyag hőmérséklete, ρ pedig a halmazsűrűsége. A nagyfrekvenciás melegítés szempontjából a δ és az ϵ_r elkülönítése a végeredményt tekintve nem szükségszerű, ezért a két tényező szorzataként meghatározott

$$k = \epsilon_r \cdot \text{tg}\delta$$

veszteség tényezőt szokás használni.

Az iparszerűen megvalósított mikrohullámú száritáskor az alkalmazott frekvencia rendszerint állandó. A száritás hatékonysága elvileg úgy növelhető, ha az energia behatolási mélysége a szemcsék egyenértékű sugarával azonos. Ebben az esetben az anyag belső hőmérséklete magasabb mint a felületi, így a diffúziós és a termodiffúziós gradiens azonos irányúvá válik, a vízleadás sebessége fokozódik.

A száradó anyag veszteségtényezőjének értékét két más jellemző határozza meg. Ez az ionikus vezetés és a dipoláris rotáció. Amikor bizonyos nedvességtartalommal rendelkező anyag kerül elektromágneses térbe az egyébként rendezetlen vízdipólok az elektromágneses mező irányába rendeződnek. Egy kétlépcsős energiaátalakító folyamat játszódik le. Először az elektromos tér energiája alakul át a mozgó ionok kinetikai energiájává, majd többszörös ütközés folytán az ionok kinetikai energiája hővé alakul.

A víztartalmú anyagok elektromos permittivitása a rádiófrekvenciás tartományban elsősorban az elektromos vezetőképesség függvénye. A mikrohullámú tartományban a dipoláris rotáció játszik meghatározó szerepet. A dielektrikus jellemzők változására jelentős hatással van a termék nedvességtartalma is (3). A nedvességtartalom növekedésével hatványozottan nő a dielektrikus állandó értéke is.

A mikrohullám olyan áramkörrel gerjeszthető, amelyben ellenállás (L) és kapacitás (C) található. Ha két ilyen áramkört egy bizonyos D távolságra szerelnek fel, oszcillátorként viselkedik. Az alapkritérium, amivel a mikrohullám-gerjesztő megkülönböztethető más kis hullámhosszú generátortól, a gerjesztett hullám hossza (λ) és az áramkör konduktorai közti távolság (D) aránya. Amikor a két érték közeli, ($D \sim \lambda$), akkor mikrohullámú gerjesztőről beszélünk. Az ilyen áramkör paraméterei pontosan osztottak és a hullámok tovaterjedése irányítható. Ha $\lambda \gg D$ az áramkörök sűrítettek, a gerjesz-

tett hullámok egymást kioltják, tovaterjedésük nem észlelhető, illetve az áramkör feszültsége nem változik a konduktor hosszában. Ez a tartomány a geometriai optikáé.

A magnetron egy jellegzetes mikrohullámgerjesztő oszcillátor. Azon mikrohullámokat, melyeknél $\lambda \sim D$ egytengelyű árnyékolt vezetékkel jól vezethetünk. Létezik egyszálás és kétszálás egytengelyű kábel is, melyek fémszálból készülnek. Ismeretesek az úgynevezett optikai szálak, melyeken az igen kis hullámhosszú és nagy frekvenciájú hullámokat lehet továbbítani. Az ebben a tartományban található hullámhossz már milliméternél kisebb, frekvenciája meghaladja a 400 THz-et. Ezek már látható mikrohullámok, infravörös színűek.

Felhasználási területüket illetően a mikrohullámok a nagyobb távolságra sugárzó rádióadóknál felbecsülhetetlen értékkel bírnak. Irányítócsővel tovaküldik majd antennákkal és erősítőkkel felfogják. A műholdon közvetített TV-program sugárzás is mikrohullámokkal történik.

A biológia és az orvostudomány területén is alkalmazást nyert a mikrohullám a szövetek vezetőképességének, a vér dielektromos állandójának a mérésénél. A fizika területén a mikrohullám nélkülözhetetlen a részecske gyorsítóknál. A technikában a mikrohullámot széles körben alkalmazzák. Mérőműszereknél a méret, sebesség, anyagminőség, nedvesség mérésénél. A konyhában használt mikrohullámos sütő 0,9–2,45 GHz frekvenciájú hullámokkal működik.

A mikrohullámok tartós hatása esetén idegrendszeri panaszok, fáradtság, rossz közérzet, fejfájás, aluszékonyság, memóriazavar, vérnyomáscsökkenés, alacsony pulzusszám figyelhető meg. A vérkolineszterázsszintje és a vérlemezkék száma csökken, a fehérvérsejtek elszaporodnak. Mikrohullámú sugárzások hatására a szívritmust szabályozó készülékek működésképtelenné válnak.

Kísérleti eredmények

Kísérleteink célja a mikrohullám használatának vizsgálata anyagok szárítására, a folyamatosan működő szárító sebességének meghatározása textíliák, kerámiák, magok szárításánál. A hagyományos szárítási eljárások során a nedvesség először az anyag külső felületéről párolog el. Az így keletkezett viszonylagosan száraz felület következtében gyakran helyi túlmelegedés és mechanikai sérülés lép fel, a textilgöngyölegek felülete túlszárad, míg a belsejük nedves marad. Az egyenetlen szárítás a kerámiái termékek és a fémöntésnél használt magok vagy formák minőségének romlásához vezet. A mikrohullámú vízelvonás egyik nagy előnye, hogy az általa generált hőmérséklet teljesen más nedveseloszlást idéz elő a száradó anyagban. Mivel a diffúziós tényező a hőmérséklet exponenciális

függvénye, a diffúziós nedvességáram sokkal nagyobb az anyag belsejében mint a felületi rétegekben. Az anyag belseje felé haladva a nedvességgradiens csökkenni fog a gyorsan növekvő diffuzivitás miatt. E folyamat eredményeként a nedvességcsökkenés a halmaz teljes keresztmetszetére vonatkoztatva sokkal egyenletesebb lesz, mint a konvektív hagyományos száradási folyamatban.

2. ábra

A mikrohullámmal működő folyamatos szárító

Kísérleteinkhez a 2. ábrán látható helyileg készített folyamatos működtetésű szalagszáritót használtuk. A sorban elhelyezett három rezgéskeltő induktor kapacitása egyenként 2,5 kW, a frekvencia 2375 MHz, az áramfeszültség 380 V. A szárító belső kamrájának méretei: 700x600x2000 mm. A szalagszáritó sebessége szabályozható, az induktorok vízhűtésesek, a keletkezett párat elszívjuk. A szárító asztalkáját és választófalaikat bakelites formázókeverékkel vontuk be, hogy minél jobban szigeteljünk a fémkeretet. A szárítás határfokának a növelésére a 2 cm-es bakelites szigetelést 5 cm vastagságúra növeltük. Így helyeztük rá az asztalkákra a kerámiái termékeket, a textil göngyölegeket és a nyers bedöngölt formákat, melyeket öntésnél az öntvényüregek kiképzéséhez használnak. A szárítás sebességét növelte, ha az asztalkára magasabb halomba raktuk az anyagot, a szárítandó anyagtól függetlenül. (3. ábra)

3. ábra A szárítás elvi vázlata:

- 1 - a szárító asztalkája*
- 2 - a mikrohullám induktorai*
- 3 - a szárítandó anyag*

A legelső sorban elhelyezett, az asztalka lapján fekvő darabok hosszabb szárítási időt igényeltek. Ezt a jelenséget a fémkeret zavaró hatásának tulaj-

donítottuk, mely a bakelites szigetelés növelése után sem tűnt el teljesen. A felrakás nem okozott gondot a textilgöngyölegeknél, de annál nagyobb problémák elé állított a kerámiáknál és a magkeverékeknél. A fonalak szárításánál a tekercesléshez használt csövek és tárcsák biztosították a felrakáshoz szükséges szilárdságot ahhoz, hogy a göngyölegek megőrizzék eredeti alakjukat. A szárítás hatásfokának a növeléséért el kell kerülni a fémcsövek és fémtárcsák használatát. Ilyen esetben göngyölegtartónak csakis kerámia vagy pvc termékek használhatók. A kerámiatermékek egyenletesen és gyorsan száríthatók, ha a nyers szilárdságuk halombarakásra megfelelő. Ahhoz, hogy a rakásban felette levő súlyát kibírja alakváltozás nélkül, szükség esetén előszárítást kell végezni. Esetenként megoldandó probléma a folyamatos szárítoszalag sebességének beállítása a szárítandó anyag nedvességének és pórusosságának függvényében. A 2. ábrán látható berendezés szekerének minimális sebessége 0,1 m/percenként. A vékonyabb fonálból készült göngyölegeknél és a vastagabb falú kerámiatermékeknél ez a sebesség is igen nagyra bizonyult, mivel ezek nehezebben száradnak. Ilyen esetben a szárítandó anyagot két vagy több körforgás idejére a konvektor asztalkáján hagytuk. Már az első kísérleteknél kiderült, hogy a pórusosabb, a nagyobb gázáteresztéssel rendelkező anyagok gyorsabban száradnak.

Célul tűztük ki a szárítás idejének meghatározását a szárítandó anyag minősége és pórusossága függvényében. A pórusosság mérésére az öntőiparban kaptunk megfelelő műszereket. A formázókeverék ellenőrző műszereivel mértük a nedvességen és gázáteresztésen kívül a szárítandó keverékek szilárdságának változását is. Kísérleteinkhez olyan keverékeket használtunk, melyeknél kovahomokot vizes közegben összekevertünk különböző kötőanyaggal. A homokszemcsék összefogásához csakis vízzel kötő anyagokat használtunk, mint a bentonit, agyag, vízüveg, dextrin, keményítő. A kapott keveréket formákba vagy magszekrényekbe döngöltük, ezáltal különböző alakú idomokat és a mérésekhez szükséges próbapálcákat kaptunk. A kísérleti darabok pórusosságának változtatásáért különböző szemcsenagyságú kovahomokkal dolgoztunk. (1. táblázat)

A kapott próbatesteket a szárító asztalkájára helyeztük és mértük a minták hajlítoszilárdságának

változását a szárítási idő növelésével. A minták szilárdságának mérési eredményei sokkal pontosabbak voltak, mint a nedvességméréseké, valószínű a meglévő műszerek miatt. Egy keverék szilárdsága mindaddig nő, amíg a száradás tart egy vízalapú kötőanyagánál. Miután a keverék megszáradt, szilárdsága nem változik. A tanulmányozott kötőanyagok közül a vízüveg kölcsönöz legnagyobb szilárdságot a mintáknak (4. ábra). A mérési eredmények nagy szórása a mechanikai szilárdságok mérési módjából és a homok granulációjának változásából adódik. A 4. ábrán látható, hogy a szükséges szárítási idő valamivel több, mint tíz perc. Itt érdemes megemlítenünk, hogy a hagyományos elektromos kemencékben való szárítás 4–6 órát vesz igénybe.

4. ábra

A bedöngölt formák hajlítoszilárdságának változása a szárítási idővel

Ismeretes, hogy a vízüveg nyers állapotban csak kis szilárdságot kölcsönöz a keverékeknek, mely a formából való kivételét is megnehezíti, vagy lehetlenné teszi, különösen nagyobb granulációjú homok jelenlétében. Ahhoz, hogy a kapott formákat és mintákat a szárító asztalkáján halomba lehessen rakni, a szilárdság növeléséért a vízüveges keverékekhez agyagot is adagoltunk. A 6% vízüveget és

Szemcsenagyság, maradék a szitán, %-ban													
Sorszám	1,6	0,8	0,63	0,40	0,32	0,20	0,16	0,10	0,063	T	M50 mm	E %	L %
1.	0,20	0,56	1,00	20,52	41,48	31,16	3,80	1,24	0,04	-	0,35	70	0,61
2.	0,64	7,72	3,44	7,92	14,88	27,24	10,12	15,36	9,2	3,48	0,25	40	0,72
3.	-	0,32	0,36	2,24	4,48	30,32	26,2	25,12	8,72	2,24	0,18	55	1,1

1. táblázat, A kovahomok jellemzői

3% agyagot tartalmazó keverék megfelelően bizonyult. Ezzel a mennyiségű kötőanyaggal több keveréket készítettünk különböző granulációjú homok felhasználásával, és mértük a hajlító szilárdság változását a száradás alatt. A kapott mérési eredményeket az 5. ábra szemlélteti.

5. ábra

A száradási sebesség függ a formák pórusosságától, illetve a keverékhez használt homok granulációjától

- 1 - 0,35 mm-es közepes szemcsenagyság
- 2 - 0,25 mm-es közepes szemcsenagyság
- 3 - 0,18 mm-es közepes szemcsenagyság

Az 1. görbe a nagyobb szemcsenagyságú - M50 035 - homoknak felel meg, a 3. a görbe a legfinomabb homoknak. A keverékek jellemzői nyers állapotban a 2. táblázatban található. Az apróbb szemcséjű homok pórusossága kisebb, csak 73 gázáteresztési egység, és a belőle készült darabok lassabban száradnak. A kísérleteket 2–5% nedvességet tartalmazó keverékekkel végeztük.

A 6% nátriumszilikátot és 3% agyagot tartalmazó nyers keverék jellemzői			
Sorszám	Gázáteresztő képesség cm ³ /perc	Nedvesség %	Nyomószilárdság daN/cm ²
1.	310	2,4	0,21
2.	205	2,3	0,30
3.	73	2,4	0,70

2. táblázat

A kisebb nedvességű minták hamarabb száradtak, ezért igyekeztünk a vízadagolást minél jobban lecsökkenteni. A kerámiai termékek nedvessége jóval nagyobb mint az öntödékben használt formáké. Általában 8–15% között mozog. Ezért a szárításukhoz szükséges idő is hosszabb, mind a hagyományos szárítási eljárásoknál, mind mikrohullámmal. A mikrohullámú szárítón a formázókeveréket 10–20 percig kell tartanunk, a kerámiákat pedig 1–2 órát ahhoz, hogy megszáradjanak. A textil

göngyölegeknél a szárítási idő nagymértékben függ a szál vastagságától és a göngyöleg tömegétől. Általában ezeknél is 1–2 órai szárítás szükséges a mikrohullámú induktor alatt, míg a hagyományos szárítási módok 24–48 órát igényelnek. A mikrohullámmal való szárítás jelentős időmegtakarítással jár, de legnagyobb előnye a száradás egyenletessége.

Kísérletsorozatunkat egy gyakorlat szülte követelmény miatt más irányban kellett folytatnunk. A vízalapú kötőanyagok többé-kevésbé higroszkópos. Tárolás során a belőlük készült félkész termékek a levegőből nedvességet vesznek föl, szilárdságuk egyre csökken. A darabok tárolhatósága egy gyártási eljárással olykor igen fontos gazdasági követelmény. A textiliparban ez valamivel kevesebb gondot okoz, mint a kerámia- vagy fémiparban. Célul tűztük ki egy kevésbé higroszkópos keverék kidolgozását. Többféle megszáritott keveréket nedves időben napokig fedél alatt raktározunk. A 6. ábra a több nap utáni higroszkópos nedvességméréseinket szemlélteti.

6. ábra

A levegőből felvett higroszkopikus nedvesség nő a tárolás ideje alatt

Látható, hogy az agyaggal és bentonittal kötött formák tárolása a legproblémásabb. Az agyag növeli a vízüveges keverékek higroszkópusságát is. A lenolajjal és keményítővel készített keverék a legjobban tárolható, akár több hétig is. Próbálkozásaink igazolták azt a szakirodalomban található feltételezést, hogy a mikrohullám rezgéseltő hatása vizes közegben könnyebben érvényesül, míg a nagy molekulájú nem polarizálható folyadékokra nem hat. Szakkörökben ismeretes, hogy a lenolajas keverékbe 2% száradó olajat és 2% keményítőt vagy dextrint használnak ahhoz, hogy a formák szárítás után a célnak megfelelő szilárdságot nyerjenek. Egy ilyen összetételű keverék gyakorlatilag mikrohullámmal nem szárítható csak a hagyományos hőátadással működő elektromos kemencékben. A cél érdekében a száradó olaj egy részét vízzel helyettesítettük, növeltük a keményítő hozzáadást. A keverékhez adagolt víznek köszönhetően a mikrohullám

hatása kezd érvényesülni. Az optimális vízadag meghatározásáért keveréksorozatot készítettünk a kötőanyag és vízmennyiség változtatásával. Mértük a keverékek nyers nyomószilárdságát a formázhatóság becslése érdekében és a szárítás utáni hajlítoszilárdságot a szárítás hatása és a kötőképesség ellenőrzésére. A kapott mérési eredményeket a 7. ábra szemlélteti.

7. ábra

Az 1% lenolajat és a 3% dextring tartalmazó keverék szilárdságának változása a keverék nedvességével

τ_h - hajlítoszilárdság szárítás után

τ_{ny} - nyomószilárdság nyers állapotban

A formák szárítás utáni szilárdsága nő a vízadagolás növelésével állandó olaj- és keményítő-adagolás mellett. A forma nedvességének növekedésével viszont nő a szárításhoz szükséges idő. A formázáshoz szükséges nyers nyomószilárdság viszont 3%-os nedvesség fölött csökkenő irányt vesz fel és ezzel egyidőben a formázás mind nehezebbé válik a keverék tapadási hajlamának növekedésével. Ez a tapadás a formaszekrény oldalához 2,5% nedvességen felül mind erőteljesebben megnyilvánul, mely a minőség romlásához és a termés csökkenéséhez vezet. Ami a tárolhatóságot és a szárítás utáni szilárdságot illeti a legjobb eredményeket a következő összetételű keverékekkel kaptuk: 1–1,5% lenolaj, 3% dextrin vagy keményítő és 2–3% nedvesség. A keverékhez adagolt víznek köszönhetően a bedöngölt formák mikrohullámmal száríthatók, de a nagy molekulájú szerves olaj jelenléte miatt a szárításhoz szükséges idő hosszabb, mint a vízüveggel kötött keveréknél (8. ábra).

A vízüveges vagy agyagos keverékből készült idomok szárítási ideje pórúsosságuk szerint 15–25 perc, míg a lenolajas keverékkel 30–40 perc. Az így kapott formák jól tárolhatók annak ellenére, hogy szilárdságuk valamivel kisebb mint a vízüveges bedöngölt keverékeké. A tárolhatóság növekedésével pedig nő a termelés gazdaságossága.

A kapott eredményekből az a következtetés vonható le, hogy a mikrohullám előnyösen használható kerámiatermékek, textilgöngyölegek és formázókeverékek szárítására. Sokkal egyenletesebb és gyorsabb szárítást biztosít mint a hagyományos hő- vagy elektromos energiával működő szárítók. A szárítás sebessége 5–10-szeresen nő, és az eljárás könnyen automatizált rendszerre fejleszthető. A szárítás sebessége függ a szárítandó anyagtól, annak nedvességétől, szemcsézetétől vagy pórúsosságától.

8. ábra

A mikrohullámmal való szárítás ideje függ a keverék összetételétől

Bibliográfia

1. Beke J.: *A mikrohullámú gabonaszárítás alapjai*, Mezőgazdasági Technika, 1997, július, 2–5 o.
2. Sembery P.: *Mezőgazdasági szemes és szálás anyagok dielektromos jellemzői*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979.
3. Nelson S.V.: *A mathematic mode for estimating the dielectric constant of hard red winter wheat*, Transaction of ASAE, St. Joseph, 1985, 2, 234–238