

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola



A VÍZÜVEGES KÖTŐANYAGTARTALMÚ
HOMOKKEVERÉKBEN HŐTERHELÉS HATÁSÁRA
BEKÖVETKEZŐ VÁLTOZÁSOK VIZSGÁLATA

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISFÜZETE

Dargai Viktória

okleveles kohómérnök

Tudományos vezető:

Dr. Varga László

egyetemi docens

Miskolc

2020

1. Bevezetés, az értekezés célkitűzései

A formázó- és maghomok-keverékekből elvesző formák és magok készülnek, amelyek az öntést követően többnyire elvesztik szilárdságukat, ezáltal eltávolíthatók az öntvény belső üregeiből. Az eltávolítást követően ezt a használt formázó- és maghomok-keveréket az öntődék próbálják minél nagyobb arányban újra-hasznosítani az öntödei homokrendszer körfolyamatában.

Manapság a formák és a magok gyártásához leggyakrabban a szerves kötőanyagokat alkalmazzák, azonban az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb teret hódít a szervesetlen (vízüveges) kötőanyagrendszerek alkalmazása az alumínium-, a vas-, ill. az acél öntődékben is. Ennek hátterében a vevők és az állam által megkövetelt környezetvédelmi és egészségügyi elvárások és előírások állnak. Ezen elvárások teljesítése nagy kihívást jelent az öntődék és a kötőanyaggyártók (beszállítók) számára is. Az öntődék a vízüveges kötőanyagok alkalmazása során új maggyártási technológiával és teljesen új kihívással kerülnek szembe. A kötőanyaggyártók igyekeznek lépést tartani az öntődékekkel szembeni elvárások háttérből történő támogatására, ezért a felmerülő problémák és kihívások megoldására új típusú, modern vízüveges kötőanyagrendszereket fejlesztenek, ill. számos kutatási projektet indítanak el. Az 1. táblázatban a vízüveges kötőanyagok alkalmazása során felmerülő problémák listája látható a szakirodalmi ismeretanyagok alapján az öntődékre jellemző részfolyamatok szerint csoportosítva.

1. táblázat A vízüveges kötőanyagok alkalmazása során felmerülő kihívások és problémák listája az öntődékre jellemző részfolyamatokra bontva

| Részfolyamat | Kihívások, problémák |
|--------------------|---|
| Maggyártás | <ul style="list-style-type: none">– A maghomok-keverék készítéséhez alkalmazott vízüveges kötőanyagrendszer (kötőanyag és adalékanyag) típusa és a tulajdonságai– Az öntödei homok (újhomok, regenerátum) granulometriai tulajdonságai befolyásolják a megfelelő receptúra kiválasztását– A homokkeverék felhasználhatósági ideje (bench life)– A magok megfelelő mechanikai szilárdsága a magszekrényből való kivételt követően– A magok mérettartóssága |
| Tárolás | <ul style="list-style-type: none">– A vízfelvétel miatt alacsony páratartalmú helyen kell tárolni a magokat |
| Öntés | <ul style="list-style-type: none">– Az öntvény geometria és a fém eltérő hőmérséklet viszonyokat okoz a magon belül, ami befolyásolni fogja az üríthetőségi tulajdonságokat– A megfelelő mechanikai szilárdság a magok szállítása és kokillába helyezése során, ill. az olvadékkal való érintkezés közben– Homok feltapadása az öntvény felületére |
| Regenerálás | <ul style="list-style-type: none">– A regenerálási technológia hatékonysága– Ingadozó maradék kötőanyag tartalom– Porfrakció képződése– Használt homok, ill. regenerátum újra-hasznosíthatósága |
| Minősítő módszerek | <ul style="list-style-type: none">– Az ún. maradék kötőanyagtartalom meghatározása |

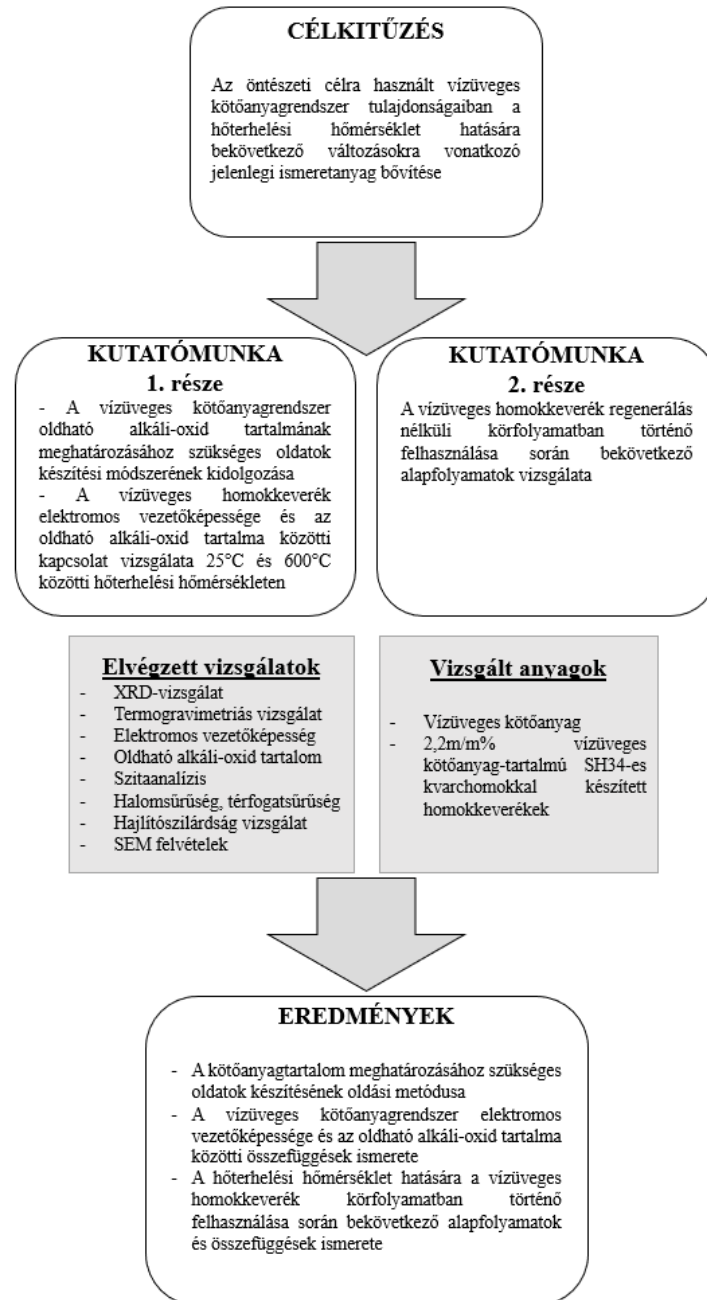
Az 1. táblázatban összefoglalt problémákkal és kihívásokkal kapcsolatban a szakirodalmi ismeretanyagban bemutatott kísérletekben és eredményekben több ellentmondás, ill. hiányosság is fellelhető, amelyek egy része a kutatómunkám alapjául szolgált.

A disszertációmban a következő vízüveges kötőanyagokkal kapcsolatos hiányosságok feltárásával foglalkozom:

1. A vízüveges homokminták laborban történő minősítéséhez, úgymint a pH, az elektromos vezetőképesség, a kötőanyagtartalom meghatározása során kiemelt fontosságú a megfelelő oldatkészítési módszer alkalmazása. A szakirodalmi ismeretanyagban nem található egyértelmű oldási módszer arra vonatkozólag, miként készítik elő az oldatokat az egyes minősítő módszerek esetében, ezért a disszertációmban bemutatott kísérleteimhez kidolgoztam egy standard oldatkészítési metódust.
2. A vízüveges kötőanyagtartalmú használt homokkeverék és regenerátum ún. maradék kötőanyagtartalmának meghatározására a szakirodalomban az egyik elterjedt mérési metódus a Na_2O tartalom meghatározás mellett, az elektromos vezetőképesség mérése. A szakirodalomban bemutatott kísérleti eredmények alapján megállapítható az, hogy alumínium öntödéből (olvadék hőmérséklet max. $700\text{-}750^\circ\text{C}$) származó használt homok és mechanikus regenerátum esetében az elektromos vezetőképesség és a Na_2O tartalom változása között nem állapítható meg egyértelmű összefüggés. Ellenben a vas- és acél öntödéből (olvadék hőmérséklet min. $1200\text{-}1300^\circ\text{C}$) származó mechanikus regenerátum esetében a 2 paraméter közel azonos trend szerint változik a regenerálási körök során. A szakirodalomban egyértelműen megfigyelhető az eredmények közötti ellentmondás és hiányzik annak vizsgálata, hogy az alumínium öntészet esetében az elektromos vezetőképesség valóban alkalmazható-e a vízüveges kötőanyagtartalmú homokkeverékek minősítésére. A szakirodalmi ismeretanyagban megtalálható ellentmondás és hiányosság okát kísérleti úton kívántam feltárni a disszertációm első részében bemutatott méréseken keresztül.
3. A szakirodalmi ismeretanyagban elterjedt az újhomokkal és valamilyen regenerálási eljárásból származó regenerátum alkalmazásával készült magok (próbatestek) vizsgálata. Az újhomok alkalmazása esetén a vizsgálatok során a fő szempont az, hogy meghatározott peremfeltételek mellett, miként változnak az egyes formázóanyagokra jellemző tulajdonságok. Nagy hangsúlyt fektetnek arra, hogy megvizsgálják a különböző adalékanyagok és a hőterhelési hőmérséklet hatását, ill. vizsgálatokat végeznek úgy, hogy magát a vízüveges kötőanyagot modifikálják. A különböző szakirodalmi adatokban közös pont az, hogy nem vizsgálják a homokrendszer összes paraméterét, mint például a granulometriai tulajdonságokat, a szilárdsági tulajdonságokat, a kötőanyagtartalmat, a szemcseösszetételt, hanem célirányosan kiemelnék egy-két paramétert és csak azzal foglalkoznak. A vízüveges kötőanyagtartalmú regenerátumok esetében a szakirodalomban megtalálható adatok alapján elmondható, hogy a kutatómunkák célja a legjobb minőségű regenerátum előállítás. Ezen kísérleteknél főként a szilárdsági tulajdonságok és a kötőanyagtartalom vizsgálata kerül előtérbe, azonban a teljes homokrendszert itt sem vizsgálják, továbbá a vizsgálatok eredményeit számos tényező befolyásolja, úgymint a regeneráló berendezés hatékonysága, a regenerálási ciklusok száma, a regenerálás időtartama, az alkalmazott

receptúra, az újhomokkal történő frissítés mértéke és a használt homok kötőanyagtartalma. A szakirodalmi ismeretanyagokban elsődlegesen a regenerálás fejlesztésével, optimalizálásával kapcsolatban végeznek kutatásokat, azonban azzal kevesen foglalkoznak, hogy milyen folyamatok játszódnak le a használt (hőterhelt) homokkeverék körfolyamatban történő alkalmazása során. A disszertációmban bemutatott kísérletek második részében azzal foglalkoztam, hogy a hőterhelt vízüveges homokkeverék tulajdonságai, miként változnak a regenerálás nélküli körfolyamatban történő felhasználás során, eltérő hőterhelési hőmérsékleten.

A disszertációmban bemutatott kutatómunka vázlatos felépítését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A kutatómunka vázlatos felépítése

2. Az alkalmazott alapanyagok, berendezések és az elvégzett vizsgálatok áttekintése

A kísérleteimhez az SH34-es szlovákiai kvarchomokot használtam, amely egy három alkotós, közepes szemcseszerkezetű alaphomok. A kvarchomokot legömbölyített, krumpli alakú szemcsealak és egyenetlen, barázdált felület jellemzi.

A vízüveges homokkeverékek készítéséhez az ASK Inotec EP4158 módosított szilikát kötőanyagot alkalmaztam, amelyet főként az alumínium öntvények gyártásához használnak. Ez a vízüveges kötőanyag 2,2-es modulú, amely a $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ arányát fejezi ki. A vízüveges kötőanyag kötési folyamata a szárítási folyamat (dehidratáció) és a kémiai reakció kombinációján alapszik, ennél fogva a magok gyártása meleg magszekrényben történik meleg levegős átfúvással. A 2. táblázatban a disszertációban bemutatott vizsgálatok láthatók a vizsgált minta alapján csoportosítva.

2. táblázat Az elvégzett vizsgálatok összefoglalása

| Vizsgált minta | Elvégzett vizsgálatok |
|--|---|
| Vízüveges kötőanyag | - Elektromos vezetőképesség - Oldható alkáli-oxid tartalom |
| Szárított vízüveg | - XRD-vizsgálat - Derivatográfus vizsgálat |
| Szárított vízüvegből készített oldat | - Oldható alkáli-oxid tartalom |
| Hajlító próbatest | - Tömeg - Hajlító szilárdság |
| Hajlító próbatestből készített oldat | - Elektromos vezetőképesség - Oldható alkáli-oxid tartalom |
| Homogenizált hőterhelt homokkeverék és újhomok | - Szitaanalízis - Halomsűrűség - SEM vizsgálat |

A szárított vízüveg vizsgálata

A kísérleteimhez alkalmazott vízüveges kötőanyag szerkezetének megismeréséhez szükség volt termogravimetrikus és röntgendiffrakciós vizsgálatokra is. Mivel a vizsgálatokhoz alkalmazott berendezésekkel folyékony halmazállapotú anyagon a módszerükből adódóan nem lehet vizsgálatot végezni, ezért az alkalmazott folyékony vízüveges kötőanyagot 105°C-on kemencében kiszárítottam. Ezen a hőmérsékleten a vízüvegben lévő szabad víz (oldószer) elpárolog. A folyékony vízüveget tömegállandóságig szárítottam, amelynek a kiindulási tömege 150g volt. A szárítás után a vízüveg tömege 77,5g-ra csökkent. A minta nedvességtartalma 48,4% tömegvesztést eredményezett. A kiszárított mintát mozsárban történő aprítást követően, 500 μm alatti frakcióra szitáltam át.

A szárított vízüveg mintát megvizsgáltam a Derivatograph-C MOM Budapest típusú berendezéssel. A vizsgálat célja az volt, hogy feltárjam történik-e további tömegváltozás a szilárd mintában (kristályvíz kiválása) és ez mely hőmérséklet-tartományon következik be.

A szárított vízüveg röntgendiffrakciós vizsgálatának elvégzéséhez lehetőségem volt az Ásvány és Kőzettani Tanszéken található Anton Paar HTK 1200N röntgen diffraktométer

alkalmazására. Ez a típusú berendezés lehetővé teszi, hogy a minták szerkezetét és a fázis átalakulásokat magas hőmérsékleten (max. 1200°C-ig) is megvizsgálhassuk. A röntgendiffrakciós vizsgálataim célja az volt, hogy meghatározzam a vízüveges kötőanyagban, hőterhelés hatására lejátszódó kristálytani átalakulásokat és a kialakuló fázisok összetételét, továbbá ezzel kívántam modellezni az öntés során a vízüveges kötőanyagban lejátszódó átalakulásokat is.

A vízüveges kötőanyagtartalmú oldatok elektromos vezetőképességének meghatározása

Az elektromos vezetőképesség meghatározása egy gyakori, üzemben is alkalmazott vizsgálati módszer a vízüveges homokkeverékek laborban történő minősítésére. A vízüveges homokmintákból készített oldatok elektromos vezetőképesség értékének a mérése a VDG Merkblatt P26 és a DIN EN 27888 szabványok alapján történik. Az elektromos vezetőképesség meghatározásához a WTW Tetracon 325 mérőberendezést alkalmaztam, amelyet 0,01 mol/l KCL standard oldattal kalibráltam. Az előkészített oldatokat minden esetben szobahőmérsékleten (25°C-on) vizsgáltam. A kísérleteim célja az volt, hogy megvizsgáljam miként változik az elektromos vezetőképesség értéke a vízüveges kötőanyag koncentráció függvényében, ill. a hőterhelést követően a vízüveges kötőanyagtartalmú hőterhelt homokkeverékből készített oldatokban. Az elektromos vezetőképesség méréséhez 100g homokmintát 200ml, 60°C-os desztillált vízzel 5 percig egy fűthető mágneses keverő segítségével kevertem, majd az oldatot szűrőpapíron átszűrtem és az oldatban megmértem az elektromos vezetőképességet. Az oldatok készítése során a keverőhöz csatlakozó hőmérséklet-érzékelővel mértem az oldat hőmérsékletét.

A vízüveges homokkeverékek és a hajlító próbatetek előállítás

A vízüveges homokkeverékeket a Multiserw Typ LMB-U laboratóriumi keverővel készítettem el. A homokkeverékek készítése során azonos receptúrát alkalmaztam. Minden esetben 2,2m/m% vízüveges kötőanyagot adagoltam a homokhoz. A kötőanyag adagolását követően a homokkeveréket 2 percig homogenizáltam. A hajlító próbatetek előállításához a meleg levegős átfúvással a warm-box-eljárást alkalmaztam. A szabványos hajlító próbateteket a Multiserw Universal Core Shooter maglövő géppel készítettem. A hajlító próbatetek gyártása során mindig azonos előállítási paramétereket alkalmaztam, amelyet a 3. táblázat tartalmaz.

3. táblázat A hajlító próbatetek előállítási paraméterei

| Paraméter | Érték |
|-------------------------|--------------|
| Magszekrény hőmérséklet | 180°C |
| Átfúvási idő | 30s |
| Átfúvási hőmérséklet | 100°C |
| Lövő nyomás | 3bar |

A maglövő gép a VDG-Merkblatt P72 szabvány szerinti hajlító próbatetek előállítása történik, amelynek a mérete 22,4×22,4×172mm. A hajlító próbatetek vizsgálatához a Multiserw Universal Strength Testing Machine berendezést használtam. Ezzel a típusú berendezéssel a hagyományos hárompontos hajlítószilárdság vizsgálat végezhető el és a szilárdságérték a digitális kijelzőn N/cm² mértékegységben olvasható le. A hajlító próbatetek előállítását követően a tárolási idő és a hőterhelési hőmérséklet függvényében határoztam meg a hajlítószilárdság értékeit. A disszertációmban bemutatott hajlítószilárdság értékek minden

esetben négy mérésből származó átlagértéket jelentenek. A kísérleteim során a következő hajlítoszilárdság értékeket határoztam meg:

- A hajlító próbatest magszekrényből való kivétele utáni 30. másodpercben meghatározott szilárdság értéket, amely a gyakorlatban a magok kezelhetőségéről ad információt.
- Az 1 órás tárolást követően mért szilárdság értéket, amely a magok szállítása során a repedésre, törésre való hajlamosságot adja meg.
- A kemencében való 1 órás hőterhelést követően, a hőterhelt próbatestek 1 órás pihentetését követően mért szilárdság értéket, amely a magok üríthetőségéről ad információt.

Az újhomok és a homogenizált hőterhelt homokkeverékek granulometriai tulajdonságainak a meghatározásához a Fritsch Analysette 3 Pro szitagépet alkalmaztam. A szitaanalízis során 100g homokmintát 15 percig 2mm-es rezgésamplitúdóval szitáltam le. Ezt követően a szitamaradékok visszamérésével meghatároztam a homokminták szemcseméret eloszlását, ill. számoltam az átlagos szemcseméretet az (1) egyenletben bemutatott képlet alapján.

$$\bar{A}_{sz} = \frac{\sum G_n}{\sum G_n S_{kn}} \quad (1)$$

ahol: \bar{A}_{sz} = az átlagos szemcseméret [mm],
 S_{kn} = a svéd kutatók által meghatározott állandó,
 G_n = az egyes szitákon visszamaradt homokszemcsék tömege [g].

A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok bemutatása

A pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) alkalmazásával lehetőség adódik az alaphomokok és a kötőanyagtartalmú homokkeverékek felületének, a kötőhidak és a próbatestek töretfelületének vizsgálatára, ill. elemzésére. A felvételek elkészítéséhez az összemorzolt, homogenizált használt homokkeverékekből vettem mintákat, amelyek hőterhelési hőmérséklettől függetlenül az 5. vizsgálati ciklusból származnak. A felvételek elkészítése előtt a homokminták felületét vékony rétegben arannyal vontuk be. A pásztázó elektronmikroszkópos felvételek elkészítésének a célja az volt, hogy megvizsgáljam a hőterhelési hőmérséklet hatására a hőterhelt, homogenizált használt homokkeverékek felületén bekövetkező változásokat. A hőterhelt homokminták vizsgálatához a Fémteni és Képlékeny-alkatástani Intézeti Tanszéken lévő Zeiss EVO MA10 típusú pásztázó elektronmikroszkópot használtam. Ezzel a típusú pásztázó elektronmikroszkóppal lehetőségem volt EDAX analízisre is, amellyel megvizsgáltam a homokszemcsék felületén lévő kötőanyag elemi összetételét.

Az oldható alkáli-oxid tartalom meghatározása

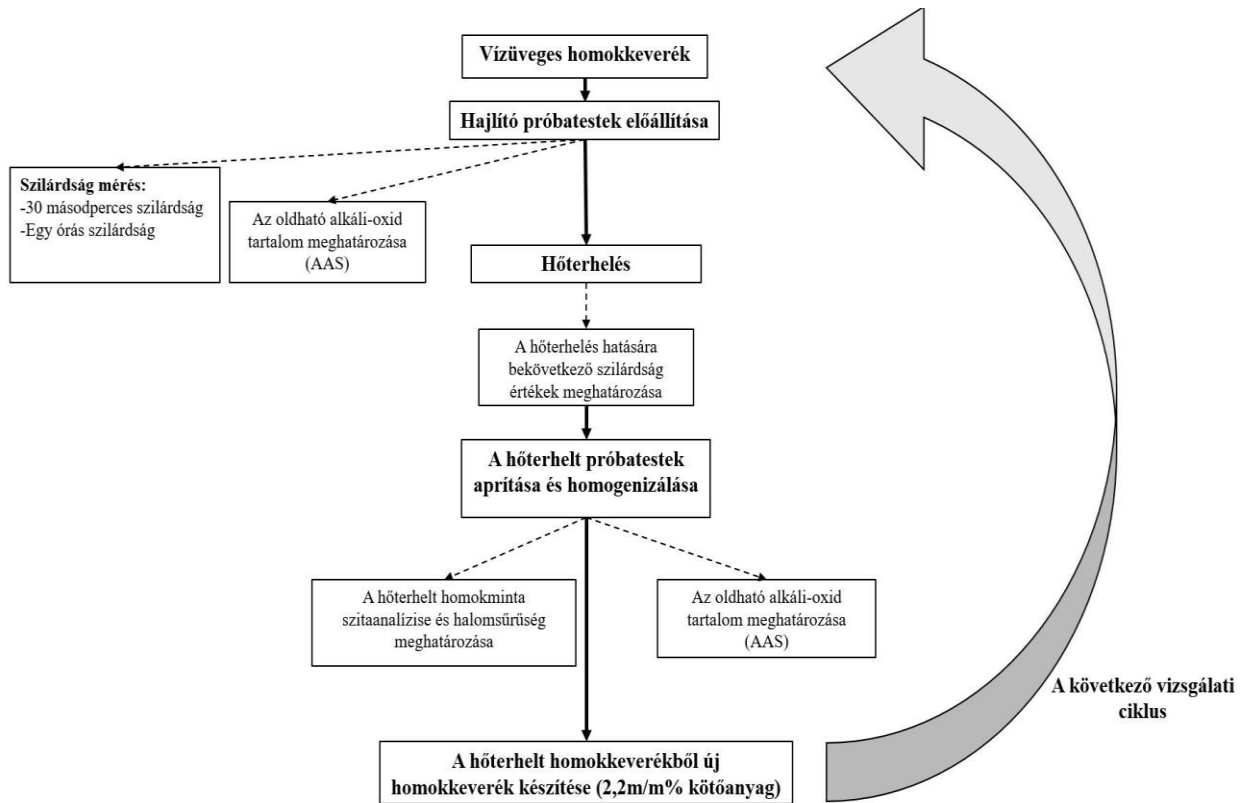
A vízüveges homokkeverékek és a regenerátum laborban történő minősítésének egyik módja az oldható alkáli-oxid tartalom meghatározása. Ezen értéknek a meghatározása történhet sav-bázis titrálással, ill. bármely elemanalitikai módszer alkalmazásával. A disszertációmban bemutatott oldható alkáli-oxid értékek meghatározásához lehetőségem volt a sav-bázis titrálás, ill. az atomabszorpciós spektrofotometria alkalmazására is. A vizsgálni kívánt vízüveges oldatok előkészítéséhez 100g homokkeveréket 60°C-os desztillált vízben 5 percig egy mágneses keverő segítségével kevertem, ügyelve arra, hogy az oldat hőmérséklete ne változzon. Ezt követően szűrőpapíron átszűrtem az oldatot és a lehülést követően elvégeztem a méréseket.

A vízüveges rendszereknél lehetőség van arra, hogy titrálással meghatározzuk az Na_2O és SiO_2 tartalmat adott oldatkonzentráció esetében. A vízüveges oldatok sav-bázis titrálását a Nemak Linz GmbH-nál volt lehetőségem elvégezni egy Mettler Toledo féle automata titrátorral. A titrálás két lépésben történik, az első lépésben direkt titrálással meghatározható az Na_2O tartalom, majd a második lépésben indirekt módon, visszatitrálással történik a SiO_2 tartalom meghatározása. A disszertációmban csak az oldható alkáli-oxid tartalommal foglalkoztam, ugyanis ez a komponens befolyásolja többek között a homokszemcsék között kialakuló kötőhidak erősségét. A sav-bázis titrálást annál a kísérletsorozatnál alkalmaztam, amelynél a hőterhelés hatását vizsgáltam a vízüveges homokkeverék elektromos vezetőképességére és az oldható alkáli-oxid tartalomra. Az összes többi kísérletsorozat esetében az atomabszorpciós spektrofotometriát (AAS) alkalmaztam.

Az atomabszorpciós spektrofotometriás vizsgálatokhoz a Járműipari Öntészeti Intézeti Tanszéken lévő Analytik Jena Novaa 400 atomabszorpciós elemanalitikai berendezést alkalmaztam. A mérések kivitelezése előtt különböző koncentrációjú nátrium és kálium standard oldatokat használtam a kalibrációs görbe felvételéhez, ill. a mérések előtti ellenőrzéséhez. A megmért Na és K atom koncentrációk alapján kiszámoltam az oldatban lévő oldható Na_2O és K_2O tartalmat, ill. az ebből adódó oldható alkáli-oxid tartalmat is.

A vízüveges homokkeverék körfolyamatban történő vizsgálatának bemutatása

A kísérleteimben megvizsgáltam a regenerálás nélküli körfolyamatban visszajaratott vízüveges homokkeverék granulometriai tulajdonságait, az oldható alkáli-oxid tartalmát, a halomsűrűséget, továbbá az ebből előállított hajlító próbatestek hőterhelés előtt és után bekövetkező szilárdsáérték és a térfogatsűrűség változását. A vizsgálati ciklusonként előállított hőterhelt homokkeverékhez minden esetben 2,2m/m% vízüveges kötőanyagot adagoltam. A hajlító próbatestek előállításához a meleg levegős átfűvűsű warm-box-eljárást alkalmaztam és a 3. táblázatban bemutatott előállítási paramétereket használtam. A 3. ábrán a hőterhelt vízüveges homokkeverék körfolyamatban történő felhasználásának a folyamatábrája látható.



2. ábra A hőterhelt homokkeverék körfolyamatban történő felhasználásának a folyamatábrája

A kísérleteimet 150°C, 300°C, 450°C és 600°C-os hőterhelési hőmérsékleteken végeztem el. A hőterhelési idő minden esetben 1 óra volt, amelyet 1 órás pihentetés követett a szilárdságvizsgálatok elvégzése előtt. A hőmérséklet-tartományok kiválasztásának egyik szempontja az volt, hogy a kísérleteimhez alkalmazott vízüveges kötőanyag a könnyűfém (alumínium) öntészeti eljárásokhoz lett kifejlesztve, amelyeknél a magok külső felületi rétege maximum 600 – 700°C-ot érhet el. A hőmérséklet-tartományok meghatározása során figyelembe vettem a röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményeit is, valamint a röntgendiffrakciós vizsgálatokból meghatározott hőmérsékleten bekövetkező fázisátalakulásokat.

A kísérleteim egyes fázisainak könnyebb kezelhetősége érdekében kidolgoztam egy jelölési rendszert, amelyet a 4. táblázat tartalmaz.

4. táblázat A kísérleteimhez alkalmazott jelölési rendszer bemutatása

| Vizsgálati ciklus | Jelölés | Leírás |
|-------------------|---------|---|
| 1.ciklus | M1 | SH34-es újhomok + 2,2m/m% vízüvegből készített homokkeverék adott vizsgált paraméterének az átlag értékét jelöli. |
| | H1 | Az 1. hőterhelést követően vizsgált paraméterek átlag értékeit jelöli, továbbá a második ciklus hőterhelt homokkeveréke lesz. |
| 2.ciklus | M2 | 1.ciklusból származó hőterhelt homokkeverék + 2,2m/m% vízüveg adagolásával előállított új homokkeverék adott vizsgált paraméterének az átlag értékét jelöli. |
| | H2 | A 2. hőterhelést követően vizsgált paraméterének az átlag értékeit jelöli, továbbá a harmadik ciklus hőterhelt homokkeveréke lesz. |
| 3.ciklus | M3 | A 2.ciklusból származó hőterhelt homokkeverék + 2,2m/m% vízüveg adagolásával előállított új homokkeverék adott vizsgált paraméterének az átlag értékét jelöli. |
| | H3 | A 3. hőterhelést követően a vizsgált paramétereinek az átlag értékeit jelöli, továbbá a negyedik ciklus hőterhelt homokkeveréke lesz. |
| 4.ciklus | M4 | A 3.ciklusból származó hőterhelt homokkeverék + 2,2m/m% vízüveg adagolásával előállított új homokkeverék adott vizsgált paramétereinek az átlag értékét jelöli. |
| | H4 | A 4. hőterhelést követően vizsgált paramétereinek az átlag értékeit jelöli, továbbá az ötödik ciklus hőterhelt homokkeveréke lesz. |
| 5.ciklus | M5 | A 4.körből származó hőterhelt homokkeverék + 2,2m/m% vízüveg adagolásával előállított új homokkeverék adott vizsgált paraméterének az átlag értékét jelöli. |
| | H5 | Az 5. hőterhelést követően vizsgált paraméterének az átlag értékeit jelöli. |

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatásaim során vízüveges kötőanyagtartalmú homokkeverékeket vizsgáltam. A vízüveg 2,2-es modulú (= $\text{SiO}_2/\text{Me}_2\text{O}$ tömegarány) volt, amiben az alkáli-oxidok tömegaránya azaz az $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O} = 7,4/1$; a víz pedig kb. 50 tömeg% volt (a későbbiekben „vízüveg”). Az első kísérletsorozatban ezt 105 °C-on tömegállandóságig szárítottam, majd a szárított vízüvegből 0,5 g-ot 100 ml desztillált vízben oldottam 20 ... 80 °C hőmérsékleteken és különböző ideig (0,5 ... 120 perc) mágneses keverés mellett, majd atomabszorpciós spektrofotometriával vizsgáltam az alkáli-oxid oldódási kinetikáját, ahol 100 %-nak tekintetem az alkáli-oxidok teljes (13,5 tömeg%) feloldódását (1. tézis).

A második kísérletsorozatban vízüveges kötőanyagot adagoltam 200 ml desztillált vízbe, mégpedig úgy, hogy az oldandó kötőanyag mennyiségét 20 g homokhoz számoltam, mint ha homokkeveréket készítenék. Atomabszorpciós spektrofotometriával vizsgáltam az így előállított különböző kötőanyag koncentrációjú (1 ... 20 %) vizes oldatok oldható alkáli-oxid tartalmát és elektrokémiai mérőcellával az oldatok elektromos vezetőképességét (2.1.tézis). A további kísérletekben az SH34-es kvarchomokhoz (a későbbiekben „újhomok”) 2,2 tömeg%-ban vízüveges kötőanyagot adagoltam. Ebből a vízüveges homokkeverékből készítettem a meleg levegős warm-box-eljárással a hajlító próbatesteket a következő maggyártási paraméterekkel: 3 bar lövő nyomás, 180 °C magszekrény hőmérséklet, 30 s átfűvási idő, 100°C átfűvási hőmérséklet (a későbbiekben „hajlító próbatestek”). Ezeket az hajlító próbatesteket 1

órán át különböző hőmérsékleten (25 ... 600 °C) hőterhelésnek vettem alá, az így egyszer hőterhelt homokmintákból 100g-ot 200 ml desztillált vízben oldottam (az 1. tézisben optimálisnak talált 60 °C-on 5 perc oldási idővel, mágneses keverés mellett) és mértem az így nyert vizes oldat elektromos vezetőképességét és oldható alkáli-oxid tartalmát (amelyet sav-bázis titrálással mértem), ill. vizsgáltam a két paraméter közötti kapcsolatot (2.2 – 2.3 tézispontok).

A harmadik kísérletsorozatban vizsgáltam a regenerálás nélküli körfolyamatban visszajáratott vízűveges homokkeverék granulometriai tulajdonságait (átlagos szemcseméret), az oldható alkáli-oxid tartalmát, a halomsűrűséget, továbbá az ebből előállított hajlító próbatetek hőterhelés előtt és után bekövetkező hajlítószilárdság és a térfogatsűrűség változását.

Minden ciklus elején az eltérő oldható alkáli-oxid tartalmú hőterhelt vízűveges homokkeverékhez 2,2 tömeg% vízűveges kötőanyagot adagoltam, amelyből előállítottam a fenti maggyártási technológiával a hajlító próbateteket. Az adott ciklus elején elkészített vízűveges homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalma szolgált a vizsgálataim során a kiinduló oldható alkáli-oxid tartalomnak, amely a vizsgálati ciklusok és a hőterhelési hőmérséklet függvényében változott. A fentiek szerint elkészített hajlító próbateteket manuálisan összetörtem, ezekből kis mennyiségű homokmintát vettem, azt desztillált vízben oldottam (az 1. tézisben optimálisnak talált 60 °C-on 5 perc oldási idővel) és mértem az oldat oldott alkáli-oxid tartalmát atomabszorpciós spektrofotometriával (3. tézis). Megvizsgáltam az oldható alkáli-oxid tartalom változását a maggyártás során bevitt hőenergia hatására (3.1. tézispont), ill. a különböző hőterhelési hőmérsékletek (150 – 300 – 450 – 600 °C) hatására is öt hőterhelési ciklusban (3.2. tézispont).

Ezt követően az újhomoknak lemértem a halomsűrűségét és az átlagos szemcseméretét (M1-hőterhelés nélküli adatok). Majd az újhomokhoz 2,2 tömeg% vízűveges kötőanyagot kevertem és ebből a fenti maggyártási technológiával hajlító próbateteket készítettem, amiknek 30 másodperc és 1 óra elteltével mértem a hajlítószilárdságát és meghatároztam a tömegük alapján a térfogatsűrűséget, majd hőterheltem azokat 1 órán át 150 – 300 – 450 – 600°C hőmérsékleten, lemértem a hajlítószilárdságot, végül manuális aprítás után a halomsűrűséget és az átlagos szemcseméretet is (1. hőterhelési ciklus utáni adatok). Ezt a folyamatot még négyszer megismételtem és így kaptam összesen 5 hőterhelési ciklus után térfogatsűrűség, halomsűrűség és átlagos szemcseméret adatokat (4. tézis), illetve hajlítószilárdság adatokat (5. tézis).

1. Tézis. Az alkáli-oxidok szárított vízűvegből desztillált vízbe történő oldódásának kinetikai mérése során a mérés pontossága ± 2 %, ezért teljesen feloldottnak tekintem azt a mintát, amire a mérés 96 % feletti értéket ad. A hőmérséklet függvényében a következő eredményeket kaptam:

1.1. A 20°C-os oldási hőmérsékleten az oldódási kinetikát két egyenlettel lehet közelíteni:

$$C = 16,2 \cdot t^{0,779} \quad \text{ha } 0 \leq t \leq 6,13 \quad (1.1.a)$$

$$C = 65,5 + 0,171 \cdot t \quad \text{ha } 6,13 \leq t \leq 120 \quad (1.1.b)$$

ahol C (%) a vízben feloldódott alkáli-oxid hányada, t (perc) az oldási idő. A 96% elérésének időigénye az (1.1b) egyenlet extrapolációjával minimum 176 perc, de a maximális mért érték 120 perc után mindössze 83,8 %.

1.2. A 40°C-os oldási hőmérsékleten az oldódási kinetikát két egyenlettel lehet közelíteni:

$$C = 56,1 \cdot t^{0,154} \quad \text{ha } 0 \leq t \leq 12,0 \quad (1.2.a)$$

$$C \cong 82,3 \pm 1,0 \quad \text{ha } 12,0 \leq t \leq 90 \quad (1.2.b)$$

ahol C (%) a vízben feloldódott alkáli-oxid hányada, t (perc) az oldási idő. A mért maximális oldott hányad 83,7 %-ra adódott 90 perc eltelte után, majd 120 perc után a mért érték 78,6 %-ra csökkent. Ezért a mért eredményekből nem lehet a teljes feloldódás időigényére következtetni.

1.3. A 60°C-os oldási hőmérsékleten az oldódási kinetikát két egyenlettel lehet közelíteni:

$$C = 88,3 \cdot t^{0,0565} \quad \text{ha } 0 \leq t \leq 4,4 \quad (1.3.a)$$

$$C \geq 96 \quad \text{ha } t \geq 4,4 \quad (1.3.b)$$

ahol C (%) a vízben feloldódott alkáli-oxid hányada, t (perc) az oldási idő. A 96 % feloldódott hányad időigénye tehát 4,4 perc.

1.4. A 80°C-os oldási hőmérsékleten a vízben feloldódott alkáli-oxid hányada már 1 perc oldódási időn belül eléri a 96 %-ot, ezért az oldódási kinetika részleteit nem tudtam vizsgálni.

2.tézis. A hőterhelés nélküli vízüveges kötőanyag, ill. az egy hőterhelési ciklusban hőterhelt (és aprított) hajlító próbatestek vízben való oldása után kapott vizes oldatok elektromos vezetőképességének és oldható alkáli-oxid tartalmának vizsgálatából a következő eredményeket kaptam:

2.1. A hőterhelés nélküli esetben az elektromos vezetőképesség a következő egyenlet szerint nő az oldott alkáli-oxid tartalom (0,01 ... 0,5 g/l) növelésével:

$$k = 1,08 \cdot 10^4 \cdot C \quad (\pm 1 \%) \quad (2.1a)$$

ahol k ($\mu\text{S}/\text{cm}$) az elektromos vezetőképesség, C (g/l) a vízben oldott alkáli-oxid tartalom. A megfordított (2.1a) egyenlet alkalmas az oldható alkáli-oxid tartalom becslésére a mért elektromos vezetőképesség adatokból hőterhelés nélküli esetre:

$$C \cong 9,24 \cdot 10^{-5} \cdot k \quad (\pm 1 \%) \quad (2.1b)$$

2.2. Igazoltam, hogy 25 ... 210°C között hőterhelt esetre az elektromos vezetőképesség értéke 2300 ... 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tartományban van, amihez 0,7 ... 1 g/l közötti oldható alkáli-oxid tartalom tartozik, de a (2.1a) egyenlethez hasonló szoros korrelációval jellemezhető egyenlet ebben az esetben nem írható fel. Így a mért elektromos vezetőképességből nem lehet megbízhatóan az oldható alkáli-oxid tartalomra következtetni a 25 ... 210 °C között hőterhelt esetben, vagy ha a homokkeverék ilyen frakciót is tartalmaz. Ezt azzal magyarázom, hogy a vízüveg hidratált nátrium-alumínium-szilikátot tartalmaz (a röntgendiffrakciós mérések szerint), aminek mennyisége szobahőmérsékletről történő hevítés hatására csökken, majd 150°C-on teljesen eltűnik (a minta röntgen-amorffá vált).

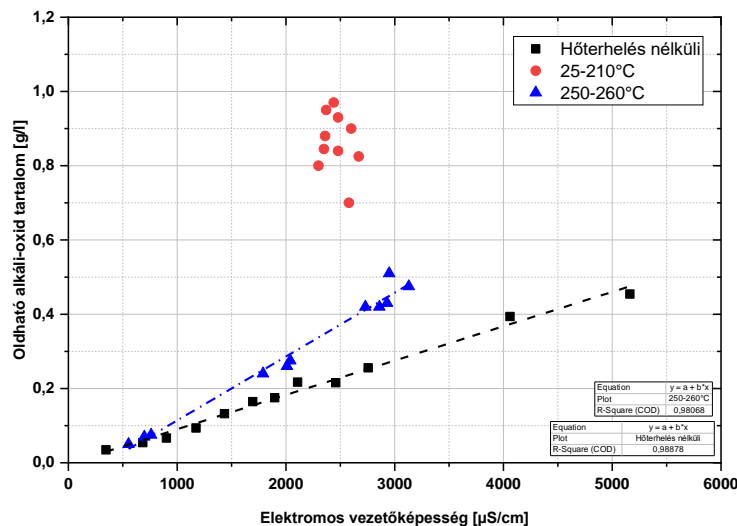
2.3. A 250 ... 600 °C közötti hőmérséklet-tartományon belül hőterhelt vízüveges homokkeverék oldása után kapott oldatok elektromos vezetőképessége a következő egyenlet szerint nő az oldott alkáli-oxid tartalom növelésével:

$$k = 5,81 \cdot 10^3 \cdot C \quad (\pm 2 \%) \quad (2.2a)$$

ahol k ($\mu\text{S}/\text{cm}$) az elektromos vezetőképesség, C (g/l) a vízben oldott alkáli-oxid tartalom. A megfordított (2.2a) egyenlet alkalmas az oldható alkáli-oxid tartalom becslésére a mért elektromos vezetőképesség adatokból 250 ... 600°C között hőterhelt esetre:

$$C \cong 1,72 \cdot 10^{-4} \cdot k \quad (\pm 2 \%) \quad (2.2b)$$

Ugyan ebben az esetben kellőképpen szoros korrelációt kaptunk az elektromos vezetőképesség és az oldható alkáli-oxid tartalom között (lásd 2. ábra), ennek ellenére valószínű, hogy az alkáli-oxid tartalom legalább részben ebben az esetben is szilikát-komplex-ionok formájában oldódott fel a vízben, és ez magyarázza meg a (2.1a-b) és a (2.2a-b) egyenletek különbözőségét (2. ábra). Ezek a komplexek azonban különböznek azoktól, amelyek 25 ... 210°C között hőterhelt minták oldása során keletkeztek.

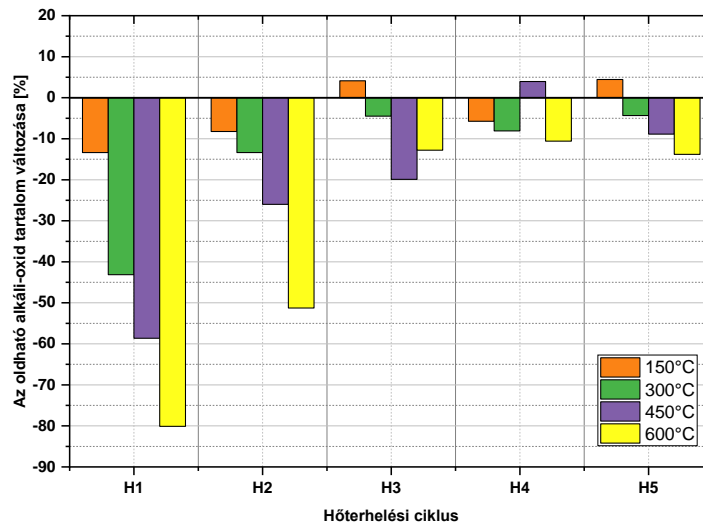


2.ábra A mért elektromos vezetőképesség értékek függése az oldható alkáli-oxid tartalomtól a hőterhelés nélküli és a 25 ... 600 °C-on hőterhelt minták desztillált vízben való feloldása után (pontok: mért értékek, vonalak: (2.1a) és (2.2a) egyenletek)

3.Tézis. Megvizsgáltam öt vizsgálati ciklusban az adott ciklus elején előállított vízüveges homokkeverékből készített hajlító próbatestek oldható alkáli-oxid tartalmának változását a maggyártás során bevitt hőenergia hatására, ill. az 1 órás hőterhelését követően, amelyek alapján a következő megállapításokat tettem:

3.1. A ciklusok elején előállított vízüveges homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalmához képest az ebből készített hajlító próbatestek oldható alkáli-oxid tartalma csökken a maggyártás során bevitt hőenergia hatására. A csökkenés mértéke 0% és 15% között változik.

3.2. A ciklusok elején előállított vízüveges homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalmához képest a hőterhelt vízüveges homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalma változik a hőterhelési ciklus számának növekedésével (lásd 3. ábra). Minden hőterhelési hőmérsékleten az első és a második hőterhelést követően következik be a hőterhelt homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalmában a legnagyobb mértékű csökkenés. A harmadik hőterhelési ciklustól kezdődően a hőterhelt homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalmának változása már nem haladja meg a 20%-ot.



3. ábra A hőterhelt homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalmának változása a hőterhelési ciklusok számának függvényében

4. Tézis. A hőterhelési ciklusok függvényében mért átlagos szemcseméret, halomsűrűség és térfogatsűrűség értékek között a következő összefüggéseket állapítottam meg:

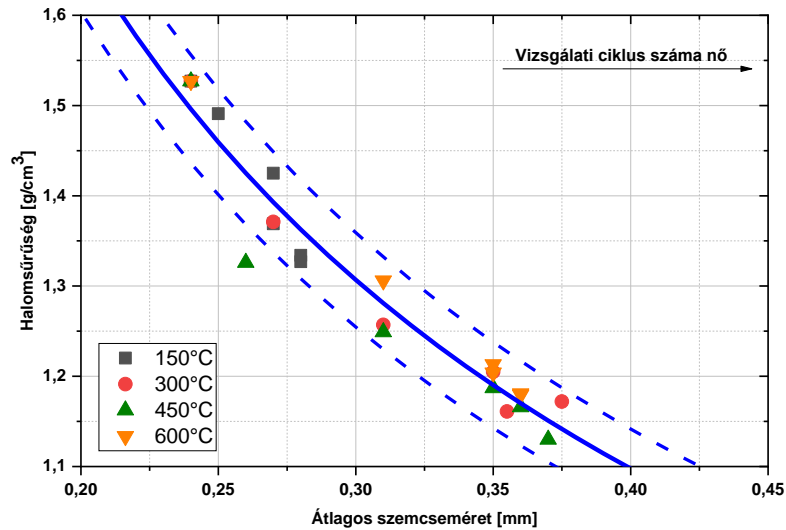
4.1. A hőterhelt vízüveges homokkeverék szemcseösszetétele az SH34-es kvarchomok szemcseösszetételéhez képest eltolódik a durva szemcsefrakció irányába a hőterhelési hőmérséklet és a hőterhelési ciklusok számának növelésével, aminek oka az agglomerátumok képződése. A durva szemcsefrakció részarányának növekedésével az átlagos szemcseméret is nő. Megállapítottam, hogy 300 – 450 – 600 °C-os hőterhelés esetén az átlagos szemcseméret a 3. hőterhelési ciklus után a kiindulási 0,24 mm átlagos szemcsemérettől azonosan a $0,36 \pm 0,02$ mm átlagos szemcseméret tartományba kerül, míg a 150 °C-os hőterhelés esetén ez a durvulási folyamat lényegesen lassúbb.

4.2. A hőterhelt vízüveges homokkeverék halomsűrűsége az SH34-es kvarchomok halomsűrűség értékéhez képest csökken a növekvő hőterhelési hőmérséklet és hőterhelési ciklusok számának következtében, aminek oka az agglomerátumok képződése. Megállapítottam, hogy 300 – 450 – 600 °C-os hőterhelés esetén a halomsűrűség a 4. hőterhelési ciklus után a kiindulási $1,53 \text{ g/cm}^3$ halomsűrűségtől azonosan a $1,16 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ halomsűrűség tartományba kerül, míg a 150 °C-os hőterhelés esetén ez a folyamat lényegesen lassúbb.

4.3. Megállapítottam, hogy - gyakorlatilag függetlenül a 150 ... 600 °C-os hőmérséklet-tartományban végzett hőterheléstől - a halomsűrűség és az átlagos szemcseméret közötti összefüggést 0,24 ... 0,375 mm tartományban (egy kiugró mért értéket leszámítva) a következő egyenlet írja le (lásd 4.3 ábra):

$$\rho_H = \frac{0,630}{d^{0,606}} \quad (\pm 4\%) \quad (4.2)$$

ahol ρ_H (g/cm^3) a halomsűrűség, d (mm) az átlagos szemcseméret.



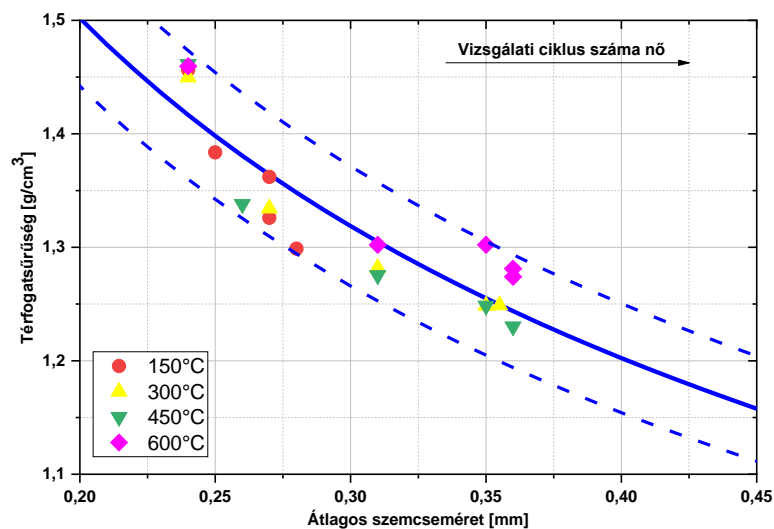
4.3. ábra A halomsűrűség függése az átlagos szemcsemérettől
vonal: (4.2) egyenlet, szaggatott vonalak: $\pm 4\%$ -os sáv az (4.2) egyenlet körül.

4.4. A hőterhelt vízüveges homokkeverékből készített hajlító próbatestek térfogatsűrűsége csökken a növekvő hőterhelési hőmérséklet és hőterhelési ciklusok számának következtében, aminek oka az agglomerátumok képződése. Megállapítottam, hogy minden hőterhelési hőmérséklet-tartományon a térfogatsűrűség az 5. hőterhelési ciklusra a kiindulási $1,45 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűségtől azonosan a $1,25 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$ térfogatsűrűség tartományba kerül.

4.5. Megállapítottam, hogy - gyakorlatilag függetlenül a $150 \dots 600^\circ\text{C}$ -os hőmérséklet-tartományban végzett hőterheléstől - a térfogatsűrűség és az átlagos szemcseméret közötti összefüggés a $0,24 \dots 0,36 \text{ mm}$ tartományban a következő egyenlettel írható le (lásd 4.5 ábra):

$$\rho_V = \frac{0,896}{d^{0,321}} \quad (\pm 4\%) \quad (4.3)$$

ahol ρ_V (g/cm^3) a térfogatsűrűség, d (mm) az átlagos szemcseméret.

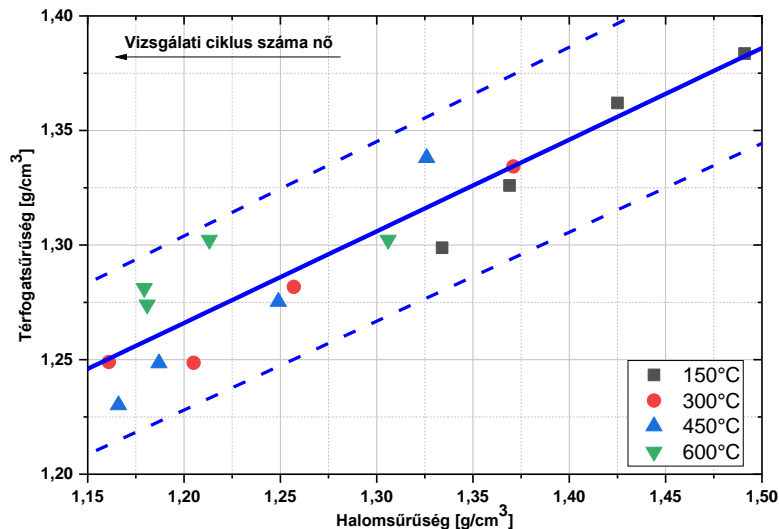


4.5. ábra A térfogatsűrűség függése az átlagos szemcsemérettől
vonal: (4.3) egyenlet, szaggatott vonalak: $\pm 4\%$ -os sáv a (4.3) egyenlet körül

4.6. Az öt hőterhelési cikluson átesett hőterhelt homokkeverék halomsűrűsége és az ebből előállított hajlító próbatetek térfogatsűrűsége közötti összefüggés gyakorlatilag független a hőterhelés hőmérsékletétől a vizsgált 150 ... 600 °C tartományban (lásd 4.4 ábra), és a következő egyenlettel írható le:

$$\rho_V = 0,786 + 0,400 \cdot \rho_H \quad (\pm 3\%) \quad (4.4)$$

ahol ρ_H (g/cm³) a halomsűrűség, ρ_V (g/cm³) a térfogatsűrűség. A (4.4) egyenlet szerint a halomsűrűség és a térfogatsűrűség megegyezik $\rho_H = \rho_V = 1,31$ g/cm³ érték mellett. Ha $\rho_H < 1,31$ g/cm³, akkor $\rho_V > \rho_H$, ha azonban $\rho_H > 1,31$ g/cm³, akkor $\rho_V < \rho_H$.



4.6. ábra A térfogatsűrűség függése a halomsűrűségtől az első négy hőterhelt mintára
vonal: (4.4) egyenlet, szaggatott vonalak: ± 3 %-os sáv a (4.4) egyenlet körül.

5.Tézis. A mért hajlítószilárdság és térfogatsűrűség, illetve a vizsgálati ciklusszám és a hőterhelési hőmérséklet között talált összefüggések:

5.1. A 150 – 300 – 450 – 600 °C-os hőterhelést követően a hőterhelt homokkeverékből készített hajlító próbatetek mag szekrényből való kivételétől számított 30. másodpercben mért hajlítószilárdsága csökken a vizsgálati ciklusok számának növekedésével. Megállapítottam, hogy a kiinduló $1,1 \pm 5$ MPa szilárdság értékhez képest, 150°C-os hőmérséklet esetében a hajlítószilárdság az 5. ciklusra $0,77$ MPa értéktartományba, a 300 – 450 °C-os hőmérsékletek esetében a negyedik vizsgálati ciklustól kezdődően $0,7 \pm 2$ MPa értéktartományba, továbbá a 600°C-os hőmérséklet esetében a negyedik ciklustól pedig $0,85 \pm 2$ MPa értéktartományba kerül.

A próbatetek hajlítószilárdsága a mag szekrényből való kivételétől számított 30. másodpercben a következőképpen függ a hajlító próbatetek térfogatsűrűségétől:

$$E_{30s} = -2,58 + 2,64 \cdot \rho_V \quad (5.1)$$

ahol E_{30s} (MPa) a 30 másodperccel a mag szekrényből való kivétel követően mért hajlítószilárdság, ρ_V (g/cm³) a térfogatsűrűség. Az (5.1) egyenlet közelítőleg a teljes 150 ... 600 °C hőmérséklet-tartományban elszenvedett hőterhelésre érvényes, a teljes mért $1,23$... $1,46$ g/cm³ térfogatsűrűség tartományban (lásd 5. ábra).

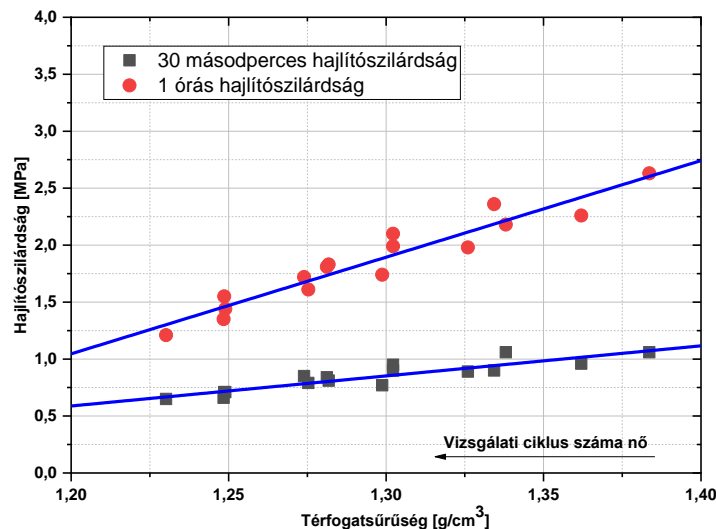
5.2. A 150 – 300°C-os hőterhelést követően a hőterhelt homokkeverékből készített hajlító próbatetek mag szekrényből való kivételétől számított 1 órás tárolását követően mért hajlítószilárdság értéke a második ciklusig nő, majd a kiinduló $2,4 \pm 10$ MPa értékből a 3.

ciklustól kezdődően csökken míg $1,6 \pm 15$ MPa értéktartományba kerül. A második ciklusig tapasztalható szilárdság növekedést a kötőanyagtartalom növekedése okozza, amelynek a hatása a harmadik ciklustól a granulometriai tulajdonságok változása (agglomerátum képződés és átlagos szemcseméret növekedés) miatt már nem érvényesül. A $450 - 600$ °C-os hőmérsékletek esetében a készített hajlító próbatetek mag szekrényből való kivételétől számított 1 órás tárolást követően mért hajlítószilárdsága csökken a vizsgálati ciklusok számának a növekedésével. A kiinduló értékhez képest 450 °C esetében az 5. ciklusra $1,2$ MPa tartományba, a 600 °C esetében pedig $1,75$ MPa értéktartományra esik.

A próbatetek hajlítószilárdsága a mag szekrényből való kivételétől számított 1 órás tárolását követően a következőképpen függ a hajlító próbatetek térfogatsűrűségétől:

$$E_{1h} = -9,13 + 8,48 \cdot \rho_V \quad (5.2)$$

ahol E_{1h} (MPa) az 1 órával a mag szekrényből való kivételét követően mért hajlítószilárdság, ρ_V (g/cm^3) a térfogatsűrűség. Az (5.2) egyenlet közelítőleg a teljes $150 \dots 600$ °C hőmérsékleten elszenvedett hőterhelésre érvényes, a teljes mért $1,23 \dots 1,40$ g/cm^3 térfogatsűrűség tartományban (lásd 5. ábra).



5.ábra A hajlító próbatetek hajlítószilárdsága és térfogatsűrűsége közötti összefüggés, a hőterhelési hőmérséklettől ($150 \dots 600$ °C) függetlenül, (a vonalak az (5.1-2) egyenletekkel számítva).

5.3. Az öt vizsgálati ciklus során a hőterhelt homokkeverékből előállított hajlító próbatetek 150 °C-on 1 órás hőterhelést követően mért hajlítószilárdság értéke a következő egyenlet szerint változik az 1 órás tárolást követően mért hajlítószilárdság értékhez képest:

$$\Delta E_{1h} = -\frac{22,5}{N^{1,423}} \quad (6.3)$$

ahol ΔE_{1h} (%) a hajlítószilárdság változása, N (-) a vizsgálati ciklus sorszáma.

5.4. A 150 °C-os hőterhelést követően a hőterhelt vízüveges homokkeverékből készített hajlító próbatetek mag szekrényből való kivételétől számítva a 150 °C-on 1 órás hőterhelését követően mért hajlítószilárdság értéke a második ciklusig nő, majd a harmadik ciklustól kezdődően csökkenő tendenciát mutat. A második ciklusig tapasztalható szilárdság növekedést a kötőanyagtartalom növekedése okozza, amelynek a hatása a harmadik ciklustól a granulometriai tulajdonságok változása (agglomerátum képződés és átlagos szemcseméret növekedés) miatt már nem érvényesül.

5.5. A 300°C-os hőterhelési hőmérsékleten hőterhelt homokkeverékből előállított próbatestek 300°C-on 1 óras hőterhelést követően meghatározott hajlítószilárdsága azonos értékű (0,25 MPa), függetlenül a hajlító próbatestek térfogatsűrűségétől és a ciklusszámtól.

5.6. A 450°C és 600°C-os hőterhelési hőmérsékleten hőterhelt homokkeverékből készült próbatestek az 1 óras hőterhelést követően meghatározott hajlítószilárdság értéke a hőterhelési ciklusok számától függetlenül olyan alacsony, hogy azok a hőterhelést követően minimális terhelés hatására is szétesnek.

4. Összefoglalás, az eredmények hasznosíthatósága

A disszertációmban bemutatott kutatómunkámban a vízüveges kötőanyagrendszer tulajdonságaiban a különböző hőterhelési hőmérséklet hatására bekövetkező változásokat tanulmányoztam. A kutatómunkám fő iránya és módszerei megfelelnek a téma aktuális kutatási trendjének.

A használt (hőterhelt) homokkeverék és a regenerátum ún. maradék kötőanyagtartalmának meghatározására az oldható Na₂O tartalmat és az elektromos vezetőképességet alkalmazzák, azonban a két paraméter közötti összefüggések ellentmondásosak, ill. hiányosságok fedezhetők fel a szakirodalmi ismeretanyagban. Elsősorban nincs egyértelmű oldatkészítési metódus, amely biztosítja a vízüveges kötőanyagtartalom pontos meghatározását. A kutatómunkám során használt minősítő módszerek megfelelő alkalmazásához kidolgoztam egy standard oldatkészítési módszert. A kutatómunkám első részében a kötőanyag koncentráció és a hőterhelés hatását vizsgáltam meg az elektromos vezetőképességre és az oldható alkáli-oxid tartalomra. A standard körülmények között elvégzett vizsgálataim eredményeként megállapítottam, hogy a hőterhelés nélküli vízüveges kötőanyagrendszer esetében növekvő kötőanyagkoncentráció mellett nő az elektromos vezetőképesség. A 25°C és 600°C közötti hőmérséklet-tartományon hőterhelt vízüveges homokkeverék elektromos vezetőképessége és az oldható alkáli-oxid tartalma között nem állapítható meg egyértelmű összefüggés, ugyanis 25°C és 210°C közötti hőmérséklet-tartományon a két érték széles intervallumban változik, miközben 250°C és 600°C között a két paraméter között lineáris kapcsolat áll fenn. Üzemi körülmények között az öntés során a homok/fém aránya határozza meg a használt (hőterhelt) homokkeverék hőterhelési zónák szerinti összetételét, amely a homokrendszer körfolyamatában folyamatosan változni fog, ennélfogva az elektromos vezetőképesség nem alkalmas a hőterhelést követően bekövetkező oldható alkáli-oxid tartalom meghatározására.

A szakirodalmi ismeretanyagban több tisztán újhomokot használó homokrendszert vizsgálnak különböző peremfeltételek mellett, ill. egy már meglévő regenerálási rendszert próbálnak optimalizálni. A kísérleti eredményekben több zavaró, ill. hiányzó tényező van jelen, amelyek együttesen befolyásolják a mérési eredményeket. Az egyes paraméterek hatása nem határozható meg egyértelműen, mivel hiányzik a teljes használt (hőterhelt) homokrendszer alapfolyamatának az ismerete, amely magában foglalja a granulometriai tulajdonságokat, a kötőanyagtartalom, a szilárdsági tulajdonságok vizsgálatát és az egyes paraméterek közötti összefüggések feltárását is. A kutatómunkám második részében megvizsgáltam a zavaró tényezőktől mentes effektusoknak a feltárása érdekében a vízüveges homokkeverék regenerálás nélküli körfolyamatban történő felhasználása során, miként változik a vízüveges homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalma, a granulometriai tulajdonságok, a halomsűrűség, továbbá az

előállított hajlító próbatestek térfogatsűrűsége, a hajlítószilárdsága, ill. feltártam ezen paraméterek közötti összefüggéseket.

A kutatómunkámban az oldható alkáli-oxid tartalom vizsgálata során kapott eredmények alapján megállapítottam, hogy a vizsgálati ciklusonként a vízüveges homokkeverékhez 2,2m/m% adagolt vízüveges kötőanyag miatt nő az ebből azonos gyártási paraméterrel előállított hajlító próbatestek és a hőterhelést követően a hőterhelt homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalma a hőterhelési hőmérséklet és a vizsgálati ciklusok függvényében. Minden hőterhelési hőmérsékleten az első és második hőterhelést követően következik be a hőterhelt homokkeverék oldható alkáli-oxid tartalmában a legnagyobb mértékű csökkenés, amely a hőterhelési hőmérséklettől függően 8% és 80% között változik.

A vízüveges homokkeverék granulometriai tulajdonságainak vizsgálata során megállapítottam, hogy a hőterhelt vízüveges homokkeverék szemcseösszetétele az SH34-es alaphomok szemcseösszetételéhez képest eltolódik a durva szemcsefrakció irányába, amelyet az agglomerátum képződés okoz. A durva szemcsefrakció mennyiségének növekedésével az átlagos szemcseméret is nő. A hőterhelt vízüveges homokkeverék átlagos szemcsemérete befolyásolja a halomsűrűséget és a hajlító próbatestek térfogatsűrűségét is. A vizsgálati ciklus növekedésével a hőterhelt vízüveges homokkeverék halomsűrűsége és a hőterhelt vízüveges homokkeverékből azonos gyártási paraméterrel készített hajlító próbatestek térfogatsűrűsége csökken, amelynek a mértéke függ a hőterhelési hőmérséklettől. Üzemi vonatkozásban a körfolyamatban visszajáratott hőterhelt vízüveges homokrendszer halomsűrűségének és a szórás függvényének ismeretében meghatározható az újhomokkal történő frissítés mértéke, ill. előre jelezhető az azonos gyártási paraméterrel előállított magok térfogatsűrűsége is.

A regenerálás nélküli körfolyamatban a hőterhelt vízüveges homokkeverékből előállított hajlító próbatestek szilárdsági tulajdonságainak a változása alapján megállapítottam, hogy a különböző hőterhelési hőmérséklet hatására a hőterhelt homokkeverékből 2,2m/m% vízüveges kötőanyaggal előállított vízüveges homokkeverékből azonos gyártási paraméterrel készített hajlító próbatestek hajlítószilárdság értéke eltérő mértékben változik a vizsgálati ciklus növekedésével. A hőterhelt homokkeverékből azonos gyártási paraméterrel készített hajlító próbatestek 30 másodperces hajlítószilárdság értéke minden hőterhelési hőmérsékleten csökken a vizsgálati ciklus növekedésével és a térfogatsűrűség csökkenésével. Ezáltal üzemi körülmények között egy szórás görbe alapján a térfogatsűrűség és/vagy halomsűrűség becslésével megállapítható, hogy azonos gyártási paraméterek mellett a magok szilárdsági tulajdonsága optimális lesz-e. A 150°C és 300°C-on hőterhelt homokkeverékből azonos gyártási paraméterrel előállított hajlító próbatestek egy órás tárolását követően mért hajlítószilárdsága a második ciklusig nő a kötőanyagtartalom növekedése miatt, majd a harmadik ciklustól kezdődően csökken a granulometriai tulajdonságok erőteljes változása következtében. A 450°C és 600°C-os hőmérséklet-tartományon az egy órás tárolást követően mért hajlítószilárdság értékek csökkennek a térfogatsűrűség csökkenése miatt. Az 1 órás hőterhelést követően meghatározott szilárdság értékek esetében 150°C-on a második ciklusig tapasztalható növekedés, amelyet a kötőanyagtartalom mennyiségének a növekedése okoz, azonban a harmadik ciklustól a szilárdság csökken a térfogatsűrűség csökkenése miatt. A 300°C, 450°C és 600°C-os hőterhelést követően a térfogatsűrűség nem befolyásolja a hajlítószilárdság értékeket.

5. Az értekezés témájában megjelent publikációk

Dargai V., Varga L.: Investigation of the Granulometric and Mechanical Properties of Inorganic Used Sand, International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS) Vol. 5. (2020). No. 2., 302-308. oldal

I. Vasková, L. Varga, I. Prass, V. Dargai, M. Conev, M. Hrubovčáková, M. Bartošová, B. Bul'ko, P. Demeter: Examination of Behavior from Selected Foundry Sands with Alkali Silicate-Based Inorganic Binders c. cikk. *Metals* 2020, 10, 235

Dargai V., Varga L. Kulcsár T.: A vízüveges homokmagok maradó szilárdságát befolyásoló paraméterek vizsgálata c. kiadvány cikk, XXI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Nagybánya, 2019.05.9-12.

V. Dargai, H. Polzin, L. Varga: Die Bestimmung der granulometrischen Eigenschaften von Gießereisanden mittels dynamischer Bildanalyse c. cikk Gießerei-Praxis 4 2018 S.19-22.

Dargai V., Varga L. Az előállítási paraméterek hatása a szilárdsági tulajdonságokra vízüveges kötőanyagrendszer alkalmazásával c. konferencia kiadvány 20. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia 2018

Budavári I., Bejczy B., Dargai V., Varga L.: Szervetlen kötésű vízüveges maghomok-keverékek meleg deformációs vizsgálatai, c. kiadvány cikk, 19. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Kolozsvár, 2017.03.30 -2017.04.01.

Dargai V., Varga L.: Szervetlen kötőanyagrendszerű homokkeverékek szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata, c. kiadvány cikk, 19. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia Kolozsvár, 2017.03.30 -2017.04.01.

Budavári I., Dargai V., Varga L.: Vízüveges maghomokkeverékek meleg deformációs tulajdonságainak vizsgálata "Hot - distortion" készülékkel, kiadvány cikk, Bányászati, és kohászati lapok - Kohászat 2017/5

*Dargai V., H. Polzin, Varga L.: The determination of the properties of foundry sands with dynamic spectral analysis c. cikk *Materials Science and Engineering*, Miskolc, 42:(1) pp. 21-28. (2017)*

Dargai V., Varga L.: The Examination of mechanical properties of inorganic core sands c. cikk XXXI. microCAD, Miskolc 2017

*Dargai V., Varga L.: Az öntödei homokok granulometriai tulajdonságainak meghatározása dinamikus képelemzéssel c. cikk *Bányászati és kohászati lapok* 149. évfolyam 2016/5-6*