

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Anyagmérnök alapszak IV. évfolyam



**Acélöntészetben alkalmazott cirkon-alapú tűzálló mag- és héjforma-
bevonatok jellemzése és fejlesztése**

Horváth Bernadett

Témavezetők:

Dr. Kukovecz Ákos, egyetemi docens

Nagy László, tudományos ügyintéző

Szeged, 2014

1. Tartalmi összefoglaló

Munkám során egy a kereskedelmi forgalomban kapható, vas- és acélöntészetben alkalmazott tűzálló formabevonatot (fekecs) vizsgáltam, kvantitatív és kvalitatív szempontból (EDS, XRD, TG, TEM, SEM, IR spektroszkópia, Raman spektroszkópia). A vizsgálat célja az összetétel pontos meghatározása volt. Megállapítottam, hogy a bevonat cirkónium szilikát alapú, mellette alumínium-oxid adalékkal egy nehezen meghatározható tapadó rendszerrel. A termék etil-alkoholos szuszpenzió formájában kerül forgalomba. Különböző szárítási hőmérsékletekkel próbáltam azonosítani a tapadásfokozó minőségi összetételét. Végeredményben a vizsgálatok azt igazolták, hogy a tapadó anyag a magnézium egyik sója, a termogravimetriai vizsgálat alapján valószínűleg magnézium-karbonát. Miután a minőségi összetétel meghatározásra került, felkerestem a magyarországi vas- és acélöntődéket egy igényfelmérési céllal: értékeljék az általuk használt öntészeti segédanyagot, illetve fejtsék ki, milyen problémákkal küzdenek a jelenleg kereskedelmi forgalomban kapható termékekkel. Döntő többségük a nagyobb tűzállóságot, a jobb tapadást és az alkoholos oldószer elhagyását tartotta fontosnak. Ezek ismeretében készítettem egy új formabevonatot, amely szintén cirkónium-szilikát, azonban tapadó rendszere lehetővé teszi az etil-alkohol elhagyását és helyette vizes szuszpenzió használatát.

A munkám során egy olyan kötés kialakítására törekedtem, amely magas hőmérsékleten is a megfelelő tapadást biztosít a fekecs számára. Az alapot magnézium-oxid és kálium-dihidrogén-foszfát meghatározott arányú keveréke adta, amelyeket különböző tömegrészben adagoltam a cirkónium-szilikáthoz. A reakció exoterm jellegét kihasználva még egy mintasorozatot készítettem, amelyhez a korábbiakon kívül még nátrium-szilikátot is adagoltam. A vízüveg oldásához szükséges hőt az exoterm reakció biztosítja. Az új rendszer három tekintetben mutat a kereskedelmi forgalmú fekecsnél kedvezőbb tulajdonságokat: energiahatékony előállítás, nagyobb tűzállóság és az etil-alkohol kiváltása. Ugyanakkor tény az is, hogy az új bevonat száradási ideje ecsetes felhordás esetén jelentősen meghaladja a kereskedelmi forgalmú anyagét.

Kulcsszavak: cirkónium-szilikát, fekecs, öntészeti segédanyag, tűzálló anyagok, héjformázás

Tartalomjegyzék

1. Tartalmi összefoglaló	2
2. Bevezetés	4
3. Irodalmi áttekintés	6
3.1. A kereskedelmi forgalomban kapható fekecssekkel szemben támasztott követelmények	7
4. Célkitűzés	9
5. Kísérleti rész	10
5.1. Felhasznált anyagok	10
5.2. Kereskedelmi fekecs vizsgálatának módszerei	11
5.3. Kereskedelmi fekecs adalékolásának receptúrái	11
5.4. Saját fekecs előállításának receptúrája	13
6. Eredmények	18
6.1. A fekecs minőségi összetételének meghatározása	18
6.2. Kereskedelmi fekecs adalékolásának eredményei	23
6.3. Vízbázisú bevonat vizsgálata	24
7. Összefoglalás	29
8. Irodalom	30

2. Bevezetés

Mai világunk nem létezhetne fémtárgyak nélkül. Jelenleg több, mint évi 1000 millió tonnányi fémből készült termék kerül forgalomba a világpiacon. Kialakításuk és méretük rendkívül változatos. A fémek egyik domináns alakadó eljárása az öntés, amely az egyik legősibb technológia az emberiség történelmében. Bár a technológia alap gondolata az évszázadok alatt nem változott, a kivitelezése követte a műszaki világ fejlődését és igazodott az új trendekhez, mind az öntvények anyagi minőségét tekintve, mind pedig a változatos alakjukra nézve [1].

Az öntészet lényege a fémek megolvasztása, majd azok formába öntése. Bár a fémek olvadás- és forráspontja változatos, mindenképpen elengedhetetlen, hogy a formák ellenálljanak a magas hőmérsékletű (acél esetén például akár 1600 °C-os) fémolvadékkal való érintkezésnek. Az eltérő öntési válfajok különböző módon oldották meg ezt a problémát, függően a fémolvadék anyagi minőségétől és a technológia jellegétől. A formák anyagának mindenképpen a fém olvadáspontjánál magasabb olvadáspontúnak kell lennie és rendelkeznie kell a megfelelő tűzállósági tulajdonságokkal is. Ennek elérésére alkalmaznak úgynevezett fekecsanyagot. A fekecs egy magas olvadáspontú anyagból – napjainkban legtöbbször valamilyen kerámiából – készülő szuszpenzió, amely a forma és/vagy a mag felületére felhordva védi az öntvényt az esetlegesen a forma okozta penetrációtól. Összetétele az évtizedek során sokat változott: igyekeztek minél nagyobb tűzállóságú anyagokat alkalmazni, amelyek alkalmazkodnak a formák tulajdonságaihoz és lehetővé teszik azok fejlesztését.

Az 1960-as években előszeretettel alkalmaztak nagy porozitású homokkeverékeknél olyan bevonatokat, amelyek nem igazán a tűzállóságukkal védték az öntvényt a penetrációtól, hanem a nagy hőmérséklet okozta gázképződésben keletkezett gázréteg segítségével érték el a kívánt felületi minőséget. Ezen bevonatok legnagyobb hátránya abban rejlett, hogy a rosszul megválasztott mennyiség könnyen gázlyukacsossá tehetette az öntvényt, ezzel rontva annak minőségét és megnövelve az öntést követő javítási időt. Ezen módszerek mellett párhuzamosan használatba kerültek a tűzálló fekecsok, amelyeknek korábban a fő összetevője a nedves formára rászórt grafitpor volt.

Adalékként még számos anyagot használtak, mint például koksport, talkumot vagy kormot, kötőanyagnak pedig agyagot és melaszt.

Napjainkban az acélöntészeti fekecsok alapja döntő többségben a tűzálló anyagok egy speciális csoportjából származó cirkónium-szilikát. A váltás miatt szükség volt más anyagi

minőségű akadéanyagok, kötőanyagok és szuszpendáló szerek alkalmazására. Előtérbe került a fémoxidok és fém sók használata, amelyek a korábban használt melasznál magasabb hőmérsékleten is biztosítják a megfelelő tapadást. Az új összetételű fekecskék nagyobb öntési hőmérsékleten is megállják a helyüket a cirkónium-szilikát magas bomlási hőmérséklete miatt, az alkoholos közeg használatával pedig a száradási idő is lecsökkent. A rendszer fő hátránya a magasabb ár. Míg a grafit alapú fekecskék más ipari folyamatok melléktermékeiből és hulladékaiból elkészíthető volt és vizes közege is kedvezően befolyásolta az árát, addig a cirkónium-szilikát ára az átlag tűzálló anyagokénál magasabb, továbbá a denaturált szesz kereskedelmi ára is lényegesen magasabb a víznél [2][3][4].

Bár napjainkra már piacra kerültek új generációs vizes bázisú fekecskék is, ezek jelenleg még a magyar öntödék körében nem terjedtek el, kivéve a precíziós öntödéket, ahol a technológia jellegéből eredően már évtizedek óta használnak saját fejlesztésű és gyártású speciális vizes bevonatokat. Az általános vízbázisú öntészeti fekecskék népszerűségének hiánya azzal magyarázható, hogy a Magyarországon kereskedelemben kapható termékek mind alkoholos hígításúak, és az öntödék nem vállalnak többletköltséget egy külföldi termék importjára. Ezzel együtt ugyanakkor az öntödék részéről folyamatos kritika a hazai kereskedelmi fekecskékkel szemben, hogy azok ár-érték aránya nem megfelelő.

A fent leírtakból következik, hogy szükség van egy hazai vízbázisú fekecskére, amely a magyarországi öntödék számára elérhető, az öntödék igényeinek megfelelő és emellett előállítása is gazdaságos.

3. Irodalmi áttekintés

A fémek alakítása különböző mechanikai műveletekkel érhető el, ezek közül az egyik az öntés. A folyamat során az elkészítendő fémtárgy – a továbbiakban az *öntvény* – negatívját készítik el egy erre alkalmas anyagi minőségű testben – a továbbiakban ezt nevezzük *formának* – majd a megolvasztott fémeket a formába öntik és addig bennhagyják, amíg meg nem szilárdul. Annak függvényében, hogy a fent leírtakat technológiailag hogyan valósítják meg, az öntésnek több változata van. Napjainkban az egyre nő a jó minőségű öntvények gyártásának igénye. Az öntődék ennek megfelelően folyamatosan fejlesztik a gyártási folyamatot és igyekeznek minél költség- és időhatékonyan megfelelni a minőségi elvárásoknak. Zhu Jianxun, Zhang Kefeng és Wang Zhiming egy tanulmányban összegyűjtötte azon fejlesztéseket, amelyekkel javítható az öntvények minősége [5]. Ezek használatával az öntődék felvehetik a versenyt az egyre szélesedő technológiai- és anyagválasztékkal (pl. 3D nyomtatás), amely a hagyományos öntvények piacát veszélyezteti. Többek között felhívják a figyelmet a formázóanyag minőségének javítására is, miszerint minél kisebb zsugorodású homokot kell használni, valamint hogy a formabevonatok minősége és tapadása mindenképp javításra szorul, hiszen minél kevesebbet kell belőlük használni, annál inkább elérhető a készreöntés. Továbbá megemlítik, hogy a formázóhomok szemcseméretének esetleges csökkentésével a bevonat akár el is hagyható lenne. Ennek ellenére napjainkban a legtöbb acélöntőde még mindig használ fekececseket.

A tűzálló fekecek a modern fémöntéssel egyidősek. Feladatuk a homokforma okozta penetráció és rásülés megakadályozása. Ezek folyamatát és csökkentésük lehetőségeit már számos kutató vizsgálta, többek között Magyarországon Jónás P., Détári A. és Svidró J. foglalkozott a probléma megoldásával [6]. Rávilágítottak, hogy a probléma megoldása nehézkes, lévén hogy ipari folyamatról van szó, ahol a legtöbb ismert összefüggés empirikus eredetű. Így nehéz őket összevetni a mai kutatási eredményekkel és a tapasztalatok is gyakran eltérőek. Ők maguk sem taglalják a fekecek használatát, hiszen ezekről az anyagokról kevés nyilvános információ áll a rendelkezésre. Ezeket a bevonatokat a cégek sokszor maguk fejlesztik és vizsgálják, így kevés konkrét eredmény kerül róluk nyilvánosságra.

A legtöbb kutatás ezen a területen a '60-'70-es években zajlott, mikor már egyrészt kellő tapasztalat állt rendelkezésre a bevonatok tudatos megalkotására, másrészt az új, speciális ötvözetek számára a hagyományos grafitos formabevonatok már nem voltak megfelelőek. Magyarországon 1954-ben Abaffy Imre taglalta, hogy miként lehetne az acélöntészetben a grafit szórását kiváltani talkummal [7]. Az elképzelés alapja az volt, hogy a talkum olvadáspontja

több, mint 900 °C, továbbá akkoriban a használata Magyarországon kedvező lett volna, mivel 1950-ben a Felsőcsatárnál található Vas-hegyen megkezdték a bányászatát is (azóta a bánya már lezárásra került). A 80-as években ismét előtérbe kerültek a mag-és formabevonatok, ekkor több cég is megpróbált kifejleszteni olyan bevonatokat, amelyek alkalmasak a reaktív fémek öntésekor fekecselésre. Ittrium(III)-oxid és más oxidok, többek között cirkónium-oxid keverékét alkalmazták sikeresen, majd a fekecsot 1986-ban szabadalmaztatta is egy csoport [8][9].

A fekecsösszetételben következő újabb változást a speciális tűzálló anyagok elterjedése hozta. Ide sorolandók a cirkónium-szilikát, valamint a 1800-2000 °C olvadáspont feletti oxidok, karbid- és nitridvegyületek. Rendkívüli termikus stabilitásuk miatt öntődei felhasználási lehetőségeik száma szinte végtelen, ugyanakkor áruk sajnos a nagy mennyiséget igénylő ipari folyamatok számára nem túl kedvező. [10]

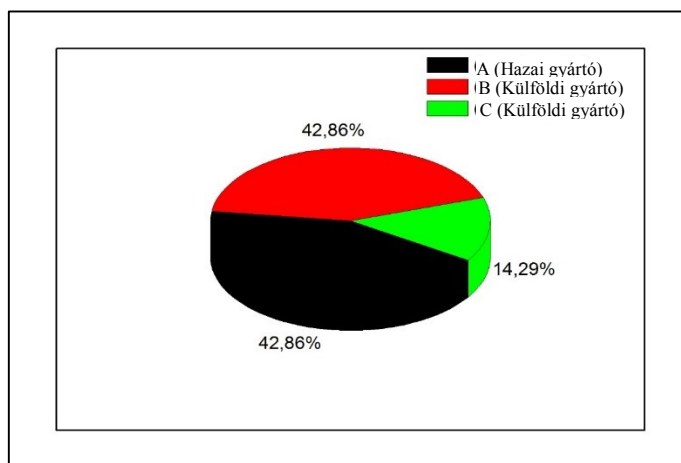
3.1. A kereskedelmi forgalomban kapható fekecssekkel szemben támasztott követelmények

Ma az öntvényekkel szemben támasztott növekvő minőségi elvárások miatt a gyártók és az öntődék már megtérülő befektetésként tekintettek ezekre a drágább anyagokra, azonban még most is gyakran rossznak találják az ár-érték arányt. A munkám elkezdését megelőzően felkerestem a magyarországi vas- és acélöntődéket, hogy értékeljék az általuk jelenleg használt bevonatot. A kérdőív kitért a felhordási technológiára, és a fekecs tulajdonságainak értékelésére (1. ábra; 2. ábra).

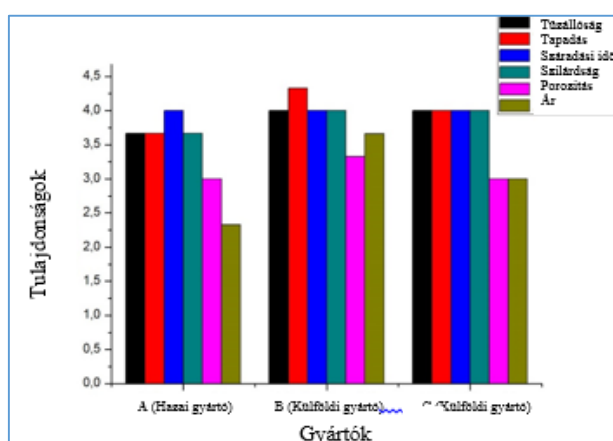
Napjainkban az öntődék igyekeznek a formázókeveréket úgy megválasztani, hogy az olvadék betáplálásakor a felesleges gázok eltávozhassanak. Ehhez kielégítően nagy pórusok kellenek, amelyek elég nagyok ahhoz, hogy a gázok diffúzióját lehetővé tegyék, de a penetráció lehetőségét ne növeljék. A fekecs szemcseméretének a csökkentésével az öntvények felületi minősége nagyban növelhető, azonban a finom szemcsék a forma pórusaiba bekerülve eltömítik azokat, és ezzel ugyan a penetráció lehetőségét csökkentik, azonban a gázlyukacsosságot növelhetik. Jelenleg a probléma még nem megoldott. A pórus-szemcseméret arány beállításával kompromisszumot hozva a forma porozitása megmarad és a fekecs is javítja a felületi minőséget egy bizonyos határig, de a magasabb minőségi szint elérését már felületmegmunkáló módszerekkel lehetséges csak elérni.

Az ár-érték arány azonban javítható. Erre maguk az öntödék is alternatívát nyújtanak, miszerint halandóak lennének egy magasabb árat fizetni, ha a fekecs tűzállósága nagyobb lenne, vagy a jelenlegi tűzállóság megtartásával az ár csökkenjen. Ennek értelmében munkám során igyekszem mindkét alternatívára megoldást találni.

1. ábra A Az igényfelmérés során megkérdezett öntödék által beszerzett fekecs származási helye, ahol a fekete cikk egy hazai gyártót, míg a piros és zöld cikkek két különböző külföldi gyártót jelölnek.



2. ábra Az igényfelmérés során az öntödék által megnevezett gyártók termékeinek jellemzése annak függvényében, hogy egy 1-től 5-ig terjedő skálán - ahol az 1 a legrosszabb és 5 a legkiválóbb érték - átlagosan milyen értéket értek el az öntödék értékelésén.



4. Célkitűzés

A munkám célja, hogy egy hazai kereskedelmi forgalomban kapható cirkónium-szilikát alapú, etil-alkohol bázisú fekecs összetételét meghatározva megismerjem, milyen követelményeknek kell megfelelnie egy öntődei mag- és héjforma bevonatnak. Céлом továbbá, hogy az eredményeket felhasználva és a kereskedelmi forgalomban kapható terméket referenciaként tekintve kifejlesszek egy magasabb árú, de magasabb tűzállósággal rendelkező illetve, azonos tűzálló alappal rendelkező, de vízbázisú fekecsset.

Az új anyagnak a következő feltételeknek kell megfelelnie:

- Az alapja továbbra is meg kell, feleljen a MSZ 392-es tűzálló anyagokra vonatkozó szabványnak.
- A benne lévő kötőanyagoknak megfelelő tapadást kell biztosítania forma felületéhez.

A bevonat száradása után bomlásakor nem történik az öntvény gázlyukacsosságát okozó gázképződés.

5. Kísérleti rész

5.1. Felhasznált anyagok

Valamennyi vegyszert a Sigma Aldrich forgalmazta, felhasználásuk előtt további tisztítási lépéseket nem végeztünk.

Alapanyag	cirkónium-szilikát
Adalékanyagok	titán-karbid
	szilícium-karbid
	bór-karbid
	molibdén-karbid
	króm-karbid
Kötőanyagok	grafit
	magnézium-oxid
	kálium-dihidrogén-foszfát
	nátrium-tetraborát dekahidrát
	nátrium-szilikát
Oldószerek	magnézium-karbonát
	98%-os etanol
	aceton
	víz

Mivel a felhasznált vegyszerek egy része egészségre különösen ártalmas (pl. króm-karbid), ezért munkám során folyamatosan ügyeltem a biztonságos laboratóriumi munkavégzés szabályainak betartására. Egyéni védőfelszerelésként köpenyt, védőszemüveget, pormaszkot és kesztyűt használtam, keverékeimet vegyi fülkében készítettem.

5.2. Kereskedelmi fekecs vizsgálatának módszerei

Ezt a fekecszet a tanszékünkkel együttműködő egyik öntödétől kaptam, ahol napi használatban van. Iparjogvédelmi okokból sem az öntödét, sem a gyártót nem nevezhetem meg. A fekecsről annyi információt kaptam, hogy az (i) hazai gyártású, (ii) kereskedelmi forgalomban kapható, (iii) etanolos szuszpenzió, amely (iv) valamely speciális tűzálló anyagot tartalmaz.

Az anyag összetételének kvalitatív és kvantitatív meghatározására röntgendiffraktometriai és energiadiszipatív röntgenspektrometriai (XRD, EDS) vizsgálatokat végeztünk. További szerkezetvizsgálatra Raman spektroszkópiai és infravörös spektroszkópiai vizsgálatokat (Raman, IR) használtunk. A kapott eredményekből meghatározható volt a fő alkotók mennyisége és minősége, azonban a vizsgálatokhoz a mintákat ki kellett szárítani, és e folyamat során a kisebb bomlási hőmérsékletű és illékony komponensek eltávoztak. A hőmérséklet hatására bekövetkező változásokat termogravimetriai vizsgálatokkal (TG) igazoltuk. A kísérlet során, több hőmérsékleten is történt szárítás, majd ezek termékeiről XRD, Raman és IR vizsgálatok készültek, hogy meghatározhatóak legyenek a bomlási folyamatok során az anyagban történő változások.

5.3. Kereskedelmi fekecs adalékolásának receptúrái

Ebben a vizsgálat sorozatban a kereskedelmi forgalmú fekecs tűzállóságának javíthatóságát tanulmányoztam. Olyan receptúrákat határoztam meg és teszteltem, amelyek az öntödei gyakorlatban a megvásárolt fekecs utólagos bekeverésével helyben megvalósíthatók.

A vizsgálat első részében titán-karbid, szilícium-karbid, bór-karbid, molibdén-karbid és króm-karbid tartalmú mintasorozatot készítettem, amelyeket az eredeti fekecshez adagoltam. Továbbá vittem a rendszerbe grafitot a tűzállóság növelésére, kötőanyagként pedig a szárítás során elbomló magnézium-karbonátot használtam. Az alkalmazott arányokat az *1. táblázat* mutatja; jól látható, hogy a grafit és a magnézium-karbonát tömegrésze változatlan. A kísérlet során több szuszpendálószer is kipróbáltam: minden száraz keverékből készült vízzel, 2-propanollal, acetonnal és etil-alkohollal szuszpendált minta.

A második részben a kereskedelmi forgalomban kapható fekecshez csak titán-karbidot adagoltam, grafit és magnézium-karbonát nélkül. A fekecs viszkozitását etil-alkohollal arra az értékre állítottam be, amelyen ezt a fekecszet a partner öntöde is használja, majd 12 ml-es

részeket vettem ki belőle, és ezekhez kevertem a titán-karbidot, A titán-karbid tömegaránya megegyezett az első részben alkalmazott 2-6a jelű minták karbidtartalmával. Ezzel a módszerrel sikerült elkerülni azt, hogy az eredeti fekecs bármely komponense átalakuljon, vagy eltávozzon a rendszerből

Az összes kapott mintát samott téglára ecsettel felvittem és 24-36 óráig száradni hagytam. A száraz minták porzási hajlamát az öntödei körülményeket szimuláló módon, felületüket ecsetel végigsimítva ellenőriztem.

1. táblázat A kísérleteim során meghatározott használt összetételek a különböző mérési sorozatok során. A táblázat mértékegység nélküli viszonyszámokat jelöl, ahol a cirkónium-szilikát minden esetben a 100 tömegrész és ehhez viszonyul a többi tömegrész.

	ZrSiO₄	grafit	MgCO₃	TiC	SiC	B₄C	Mo₂C	Cr₃C₂
1	100	17	17					
2a	100	17	17	50				
3a	100	17	17	10				
4a	100	17	17	5				
5a	100	17	17	2,5				
6a	100	17	17	1,25				
2b	100	17	17		50			
3b	100	17	17		10			
4b	100	17	17		5			
5b	100	17	17		2,5			
6b	100	17	17		1,25			
2c	100	17	17			50		
3c	100	17	17			10		
4c	100	17	17			5		
5c	100	17	17			2,5		
6c	100	17	17			1,25		
2d	100							
3d	100			1,25				
4d	100				1,25			
5d	100					1,25		
6d	100						1,25	
7d	100							1,25

A samott téglára felvitt bevonatokat a későbbiekben magas (2500 °C feletti) hőmérsékleten fogom tesztelni. Ezen dolgozat ilyen méréseket még nem tartalmaz, mivel ilyen magas hőmérsékletek laboratórium körülményeink között még nem elérhetők, ipari partnerünknel pedig a hőmérsékletmérés pontosságát kell még javítanunk.

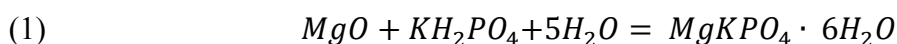
5.4. Saját fekecs előállításának receptúrája

A saját receptú fekecs alapjaként cirkónium-szilikátot alkalmaztam, kötőanyagként pedig magnézium-oxidot, kálium-dihidrogén-foszfátot és nátrium-tetraborát dekahidrátot használtam (2. táblázat). Először a kötőanyagot vizsgálva 3 mintát készítettem. Az első minta bekeverésénél használt magnézium-oxid nem szuszpendált kellő mértékben a vízben, ez a reakció (1. egyenlet) egy könnyen morzsolódó kerámiahabot eredményezett. A következő két mintánál már finomra őrölt magnézium-oxidot használtam, de az összetételeken nem változtattam. Ezen minták jelölése *1-3ka*.

2. táblázat A kötőanyag összetevőinek tömegaránya és a bemérési tömegek az elkészített *ka* jelű mintákban

	<i>MgO</i>	<i>KH₂PO₄</i>	<i>Na₂B₄O₇ × 10 H₂O</i>
Tömegarány	5	4	½
Bemért tömeg [g]	25	20	2,5

A minták elkészülte után 2-3 napos száradási időszak várt rájuk, függően a mintatartó edény méretétől. A második és harmadik kötőanyag mintánál már nem volt tapasztalható a kerámiahab jelleg, így az anyag már jellemezhető volt.



A következőekben egy olyan mintasorozatot készítettem, melyben már volt cirkónium- szilikát is, és meghatároztam a helyes bekeverési sorrendet is. A folyamat során végig kézi keverést alkalmaztam, mivel a lejátszódó kémiai kötés rendkívül gyors és a keletkező massa a kálium-dihidrogén-foszfát beadagolása után elveszti newtoni-folyadék jellegét. Helyette tixotróp jellegű lesz, és keveréséhez a szükséges nyírófeszültséget a rendelkezésre álló laboratóriumi keverők nem biztosították. A beadagolás megfelelőnek talált sorrendje a következő volt (a bemérési tömegeket a 3. táblázat mutatja:

1. A cirkónium-szilikát tömegének kimérése és a mintatartó edénybe töltése.
2. MgO elkeverése 50-55 ml vízzel, addig, amíg a MgO teljesen fel nem oldódik.
3. A két elkészült komponens összekeverése további hozzáadagolt vízzel, melynek mennyisége 50-150 ml közötti a kívánt hígítástól függően. Én általában 100 ml vizet adagoltam.

4. A következő lépés folyamatos kevergetés mellett hozzáadagolni a kálium-dihidrogén-foszfátot addig, amíg folyóssá nem válik a massa.
5. Ekkor hozzáadagolható a kristályvizes nátrium-tetraborát.
6. Folyamatos kevergetés mellett elkészül a szuszpenzió, amely a mintatartó edényben 20-30 óra alatt szilárdul meg.

3. táblázat Az m-jelű sorozat bemérései. A táblázatban szereplő tömegek grammban értendők.

	ZrSiO₄	MgO	KH₂PO₄	Na₂B₄O₇ · 10 H₂O
0m	20,000	-	-	-
1m	20,000	5,260	4,200	0,528
2m	20,000	1,052	0,844	0,104
3m	20,000	0,528	0,420	0,052
4m	20,000	0,260	0,212	0,028
5m	20,000	0,132	0,104	0,012

A mintasorozatok összetételét a 4. táblázat mutatja. Munkám során a mintasorozatok összetételét végig 100 tömegegységnyi cirkónium-szilikáthoz viszonyítva adtam meg, ennek oka az egyszerűbb bemérhetőség volt. Az elkészült m-jelű sorozatról termogravimetriai vizsgálat is készült, hogy meghatározható legyen a kötőanyag bomlási hőmérséklete.

4. táblázat A bemérések során használt tömegrészek. A vizsgálat során minden esetben ugyanezek a tömegrészek érvényesek az adott számozású mintáknál.

	ZrSiO₄	MgO	KH₂PO₄	Na₂B₄O₇ · 10 H₂O	Kötőanyag össztömegrész
0	100	-	-	-	0
1	100	26,32	21,05	2,63	50
2	100	5,26	4,21	0,53	10
3	100	2,63	2,11	0,26	5
4	100	1,32	1,05	0,13	2,5
5	100	0,66	0,53	0,06	1,25

A kálium-magnézium-foszfát keletkezése exoterm folyamat. A vegyületek standard moláris entalpiáját ($\Delta_f H$) az 5. táblázat táblázat tartalmazza

5. táblázat A saját kötőanyag készítéséhez felhasznált komponensek standard képződési entalpiája ($\Delta_f H^\circ$)

	$\Delta_f H^\circ [kJ/mol]$
<i>MgO</i>	-601,6
<i>KH₂PO₄</i>	-1568.3
<i>KMgPO₄ · 6H₂O</i>	-3722.1
<i>H₂O</i>	-285.8

Ezek ismeretében a kötőanyag keletkezésekor felszabaduló energia a következő módon számítható ki:

$$M(KH_2PO_4) = 136.0855 \text{ g/mol}$$

$$M(MgO) = 40.3044 \text{ g/mol}$$

$$M(H_2O) = 18.0152 \text{ g/mol}$$

$$M(KMgPO_4 \cdot 6H_2O) = 266.4663 \text{ g/mol}$$

$$m(KH_2PO_4) = 4,200 \text{ g}$$

$$m(MgO) = 5,260 \text{ g}$$

$$n(KH_2PO_4) = \frac{m(KH_2PO_4)}{M(KH_2PO_4)} = \frac{4,200 \text{ g}}{136.0855 \text{ g/mol}} = 0,0308 \text{ mol}$$

$$n(MgO) = \frac{m(MgO)}{M(MgO)} = \frac{5,260 \text{ g}}{40.3044 \text{ g/mol}} = 0,1305 \text{ mol}$$

Mivel $n(KH_2PO_4) < n(MgO)$ ezért a kálium-dihidrogén-foszfát a reakció szűk keresztmetszete, az ő értékeivel számolok tovább. A módosított értékek *mod* felső index jelölést kapnak az egyszerűbb olvashatóság kedvéért.

$$n(MgO)^{mod} = 0,0308 \text{ mol}$$

$$n(H_2O) = 0,154 \text{ mol}$$

$$n(KMgPO_4 \cdot 6H_2O) = 0,0308 \text{ mol}$$

A reakcióentalpia meghatározása Hess tétele alapján:

$$(2) \quad \Delta H_r^\circ = \sum \nu \Delta_f H^\circ_{\text{termék}} - \sum \nu \Delta_f H^\circ_{\text{reagens}}$$

ΔH_r° = standard reakció entalpia, [kJ/mol]

ν := a kémiai egyenlet szöchiometriai együtthatója [-]

$\Delta_f H^\circ$:= a termékek/reaktánsok standard képződési entalpiája, [kJ/mol]

$$\begin{aligned} \Delta H_r^\circ &= \left(-3722.1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) - \left(\left(-601,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) + \left(-1568,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) + 5 \left(-285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right)\right) \\ &= -7320 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= 0,0308 \left(-3722.1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) - \\ &- \left(0,0308 \left(-601,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) + 0,0308 \left(-1568,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) + 0,154 \left(-285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right)\right) \\ &= -225,4877 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Tehát az *1m* összetételű reakciókban 225,4877 kJ hő fejlődik. A további mintákban is ugyanúgy kiszámítható a keletkező hő, ezeket az értékeket a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat Az *m*-jelű mintasorozatban lévő kötőanyag reakciója során keletkező energia (ΔH_r), kJ mértékegységben megadva.

	ΔH_r [kJ]
1m	-225,4877
2m	-4,8099
3m	-2,4050
4m	-1,2413
5m	-0,0589

A vízbázisú fekecsfejlesztési kísérletek zárásaként kipróbáltam még a nátrium-szilikát adalékanyagot is. Az így kapott *o* jelű sorozat összetétele nem különbözik az *m* jelű sorozat

azonos számú tagjainak cirkónium-szilikát és kötőanyag tartalmától, de ezeken felül tartalmaz még 10 tömegrész nátrium-szilikátot is. A nátrium-szilikát oldódása hőigényes folyamat, amit gazdaságosan a kötőanyag (1) egyenlet szerinti képződésének reakcióhője biztosíthat. Ezért nátrium-szilikát tartalmú minták csak az 1-3 összetételekből készültek, ugyanis a 4-5 összetételek esetén már olyan kicsi a kötőanyagok koncentrációja, hogy a keletkező hő a nátrium-szilikát oldatba vitelét érdemben nem tudja elősegíteni (6. táblázat).

6. Eredmények

6.1. A fekecs minőségi összetételének meghatározása

Az első vizsgálat az energiadiszperzív spektrometriai vizsgálat volt. Az eredmények alapján (7. táblázat) első közelítésben az láthatjuk, hogy nagyrészt oxigén, cirkónium és szilícium alkotta keverék. Ennek a három elemnek egy közös vegyülete van a cirkónium- szilikát (ásványa: cirkon), amelynek atomszázalékos összetétele:

7. táblázat Az EDS vizsgálat során kapott atomszázalékos összetételek átlaga.

Atomszázalékos összetétel [%]	
Oxigén	55
Magnézium	1
Alumínium	1
Szilícium	20
Cirkónium	16
Szén	6,5

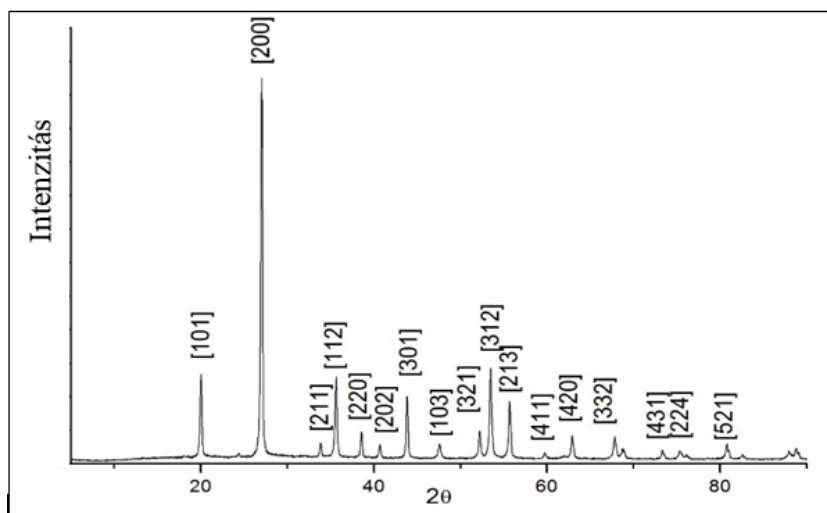
Ebből jól látható, hogy a fekecs túlnyomóan cirkónium-szilikátból áll, melyhez a cirkon ásványban gyakran párosul hafnium-szilikát (HfSiO_4) Szennyezőként alumínium- és magnézium-szilikát, illetve az alumínium és magnézium szénnel és oxigénnel alkotott vegyületei is megjelenhetnek.

8. táblázat A cirkónium-szilikát atomszázalékos összetétele.

ZrSiO₄	Atomszázalékos összetétel
cirkónium	16,67
szilícium	16,67
oxigén	66,66

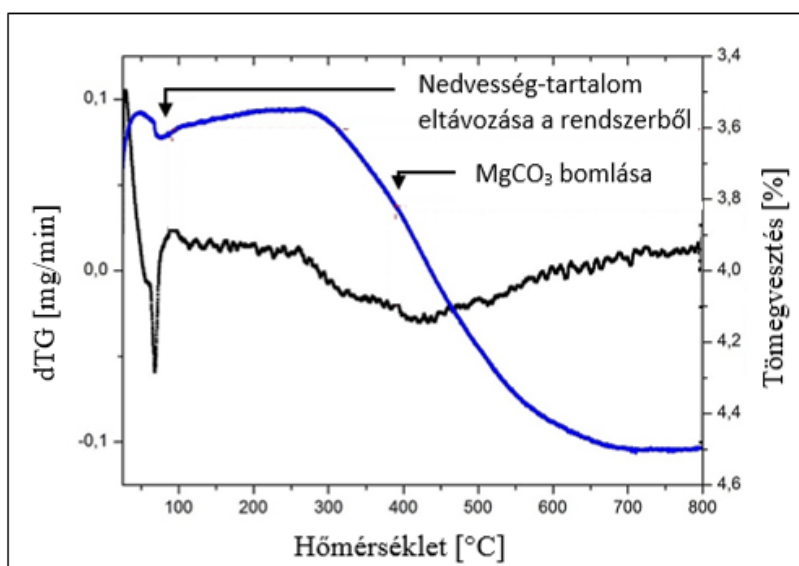
A következő vizsgálat a röntgendiffraktometriai elemzés volt. A grafikonon látható diffraktogramok mindegyike a cirkónium-szilikáthoz tartozik. A többi alkotó túl kis tömegszázalékban (5 %-nál kevesebb) van jelen, illetve a szén röntgendiffraktogramjának legnagyobb intenzitású csúcsa - [002] - egybeesik a cirkon legnagyobb intenzitású csúcsával ([200]) így azok röntgendiffraktogram alapján nem azonosíthatók be. A referenciaként használt diffraktogrammal 95% feletti egyezést mutatott és az összes jól definiálható diffrakció beazonosítható

3. ábra A kereskedelmi forgalomban kapható fekecs röntgendiffrakciós vizsgálatának eredménye, ahol a jelölt diffrakciók mind a kristályos cirkónium-szilikáthoz tartoznak



Mivel a kötőanyag nem ismert és a két fent említett vizsgálatból nem volt meghatározható, szükség volt egy termogravimetriai vizsgálatra (4. ábra), amely során a kapott értékből meghatározható volt a kötőanyag milyensége. A kapott eredmények alapján, a grafikonon megfigyelhetünk két jelentősebb tömegvesztést. Az első 100 °C fok alatt látható, ez magyarázható a mintában lévő etil-alkohol eltávozásával és kristályvizes komponensek dehidratációjával.

4. ábra A fekecs TG/dTG vizsgálata. A százalékos tömegváltozás növekedése (jobb skála, fentről le) a hőmérséklet függvényében illetve a tömegváltozás időbeni lefolyása a hőmérséklet függvényében.



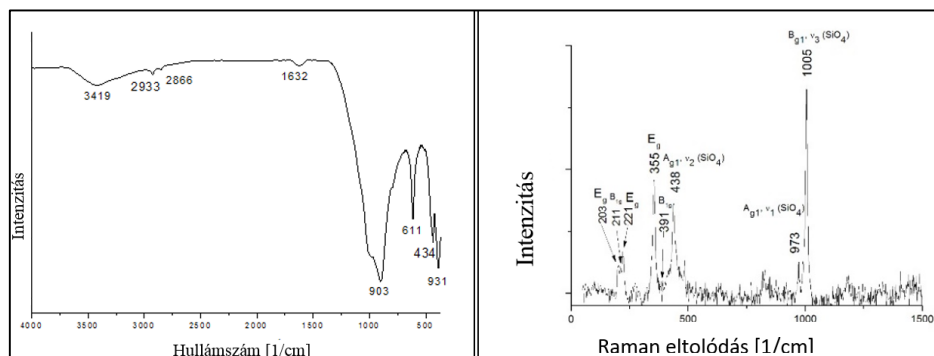
A második jelentősebb mértékű tömegvesztése dTG görbéről beazonosítható. 388,48°C megfelel annak a hőmérsékletnek ahová az egyes szakirodalmak – egészen 302-662 °C között - a magnézium karbonát bomlását teszik, amelynek bár koncentrációja kicsi, jelenléte érzékelhető.



A cirkon bomlási hőmérséklete 2590 °C-nál van, így annak tömegváltozását nem is várjuk 25-800 °C között. A fekecskben a megfelelő széntartalom eléréséhez kormot vagy grafitot használnak, amelyek olvadáspontja 3630 °C feletti, így ezek jelenléte a TG vizsgálat alapján nem beazonosítható, mivel tömegvesztést nem okoznak. . Az EDS vizsgálat alapján a bevonó anyag az alumínium-oxidot is tartalmazhat, amelynek a bomlási hőmérséklete szintén nem erre a hőmérséklettartományra tehető. Az IR spektroszkópai vizsgálat eredményét a szemlélteti.

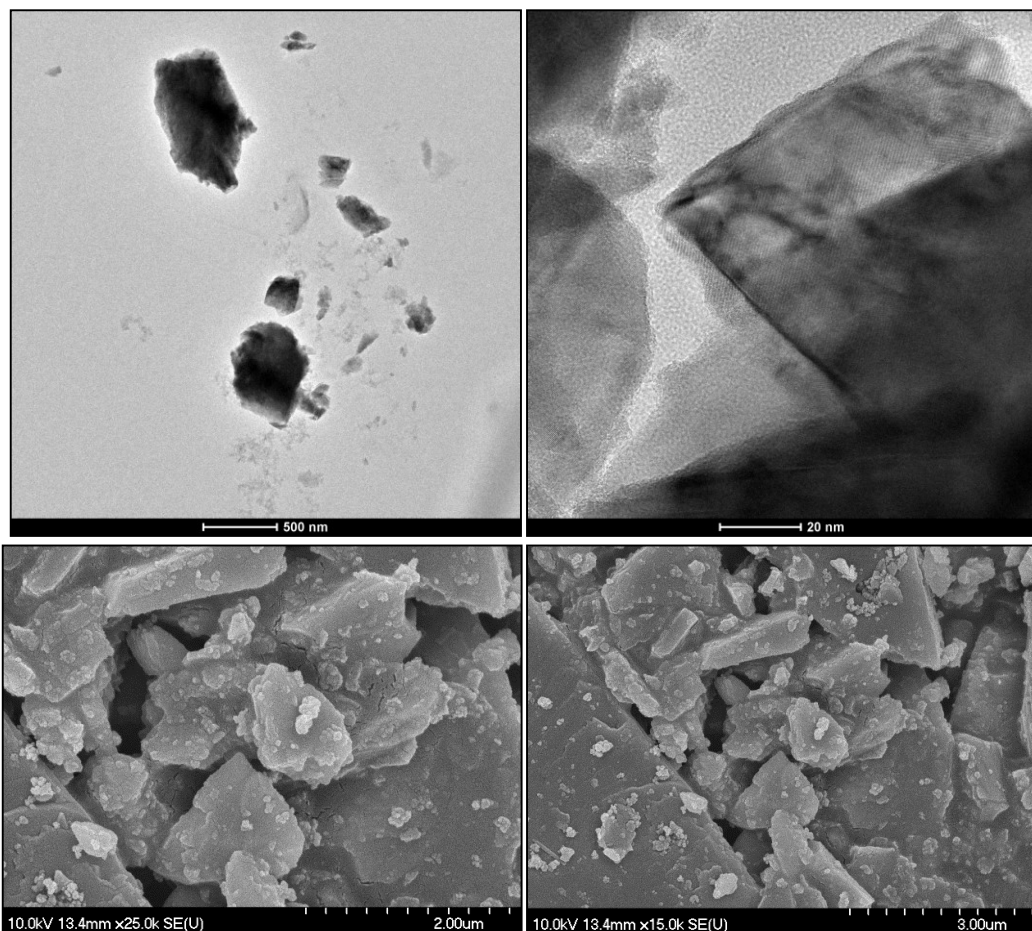
Az IR spektrum képén a nagy intenzitású csúcsok 450-1100 1/cm között találhatók, illetve pár kisebb csúcs is megfigyelhető, amelyek a rendszerben maradt szénhidrogénekre utalhatnak. Ez jellegzetesen a cirkonra jellemző mintázat. A szénre jellemző mintázatot nem figyelhetjük meg, mivel rendkívül kis intenzitású jeleket ad, amelyeket a cirkon teljes egészében elfed. Hasonló a helyzet a többi szennyezővel is. A magnézium, és az alumínium esetleges vegyületei (karbonátok, oxidok) a spektrumon nem megfigyelhetők, mivel a hozzájuk tartozó csúcsok az 500-1000 1/cm-es tartományba esnek és a cirkónium szilikát nagy intenzitású csúcsai is ebben a tartományban helyezkednek el. A Raman spektrumnál is hasonló helyzet. A csúcsok mindegyike beazonosítható és egyértelműen beazonosítja a cirkónium-szilikátot illetve annak szerkezetét

5. ábra A bevonóanyag infravörös spektruma, az intenzitás a hullámszám függvényében (jobbra), és a Raman spektrum a rajta beazonosított csúcsok (balra).



A mintáról transzmissziós és pásztázó elektronmikroszkóppal képek készültek, melyből meghatározható, hogy a benne lévő részecskék mérete és alakja rendkívül változatos.

6. ábra A képen a kereskedelmi forgalomban kapható bevonatról készült TEM (fent) és SEM (lent) képek találhatók



A kísérlet során a fekecsket különböző hőmérsékleteken hőkezelttem különböző hőmérsékleteken, modellezve az iparban használt bevonatokat érő hőmérsékleteken:

- 25 °C: Ezen a hőmérsékleten viszik fel a fekecsket a formák felületére, majd hagyják megszáradni.
- 70 °C: A formák szárítása 70-80 °C között történik.
- 800 °C: Laboratórium körülmények között nem érhető el az 1500-1650 °C-os öntési hőmérséklet, így ezt a maximálisan elérhető 800 °C-kal modelleztem.

A minden hőkezelt minta esetén, a felületen fényes védőréteg keletkezett mikor 5 centiméter átmérőjű 1 centiméter magasságú korongokat öntöttem belőlük. Ez a fényes bevonat nem jelentkezik ecsetes felhordás vagy felszórás során, kivéve, ha kettő vagy annál több rétegen hordjuk fel a fekecsket a felületre. A kapott bevonatok színe és keménysége a hőkezelések során változott, amelyet a 9. táblázat foglal össze. A bevonatokból és az alattuk lévő puha részből külön mintát gyűjtöttem, azonban ezek szerkezeti eltérést nem mutattak. A színváltozások

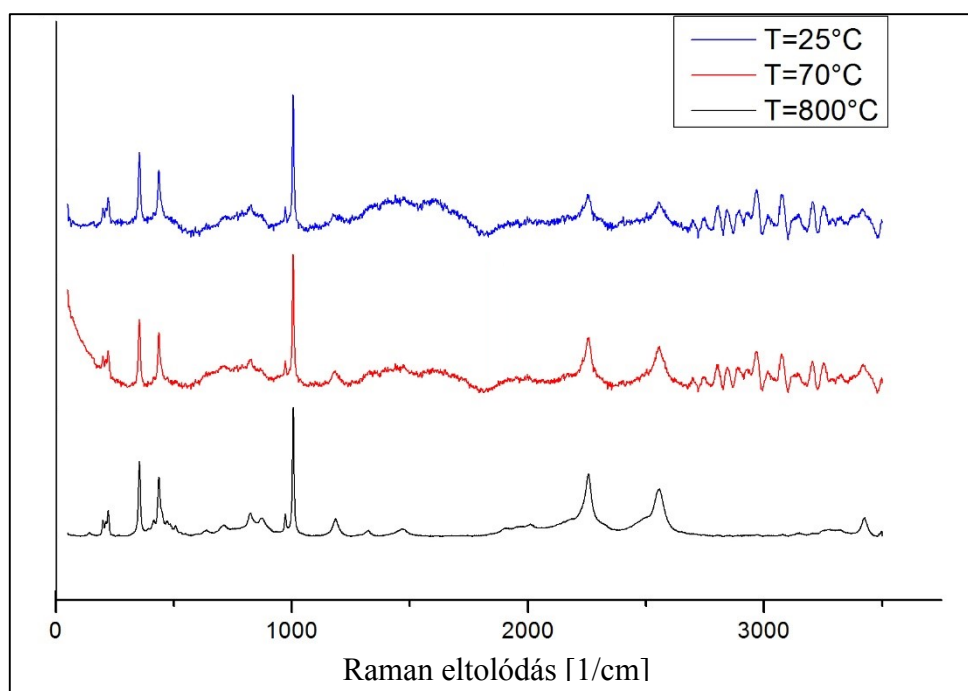
oka a hőkezelések során a levegő oxigénje okozta oxidáció a különböző szennyezőként jelenlévő fémionok esetén. A hőkezelések során készült Raman spektrometriai vizsgálati eredmények (7. ábra) jól mutatják miként változott a bevonat összetétele.

9. táblázat A fekecs hőkezelése során megfigyelhető színváltozás és a keletkező bevonatok keménysége egymáshoz viszonyítva.

	25 °C-on hőkezelt minta	70 °C-on hőkezelt minta	800 °C-on hőkezelt minta
Színe			
Keménysége	jó	kiváló	rossz

A bevonatokból és a puha részből külön mintát gyűjtöttem, azonban ezek szerkezeti eltérést nem mutattak. A színváltozások oka a hőkezelések során a levegő oxigénje okozta oxidáció a különböző szennyezőként jelenlévő fémionok esetén. A hőkezelések során készült Raman spektrometriai vizsgálati eredmények jól mutatják miként változott a bevonat összetétele.

7. ábra A kereskedelmi forgalomban kapható fekecs Raman spektruma 25, 70 és 800 °C-os hőkezelés után (fentről le)



Ezek ismeretében egy lehetséges összetételt a 10. táblázat mutatja, amely magába foglalja az ipari cirkon lisztek szennyezőit és a kötő-és adalékanyagokat.

10. táblázat A kereskedelmi forgalomban kapható fekecs lehetséges összetétele, megjelölve a benne található komponensek minimális és maximális értékével.

Tömegszázalékos összetétel	
Cirkónium-szilikát	90-93
Alumínium-oxid	0,5-2
Vas(III)-oxid	0,01-0,07
Alumínium-oxid	0,01-1
Titán(IV)-dioxid	0,01-0,1
Magnézium-karbonát	1-2,5
Grafít	0,5-1,5

6.2. Kereskedelmi fekecs adalékolásának eredményei

A kereskedelmi forgalomban kapható fekecsset különböző karbidvegyületekkel adalékoltam. A minták termikus tulajdonságainak vizsgálatára laboratóriumi körülmények között nem volt lehetőség. A karbidvegyületek kiváló termikus tulajdonságai nem tanulmányozhatók a laboratóriumban elérhető maximum 1000 °C-on.

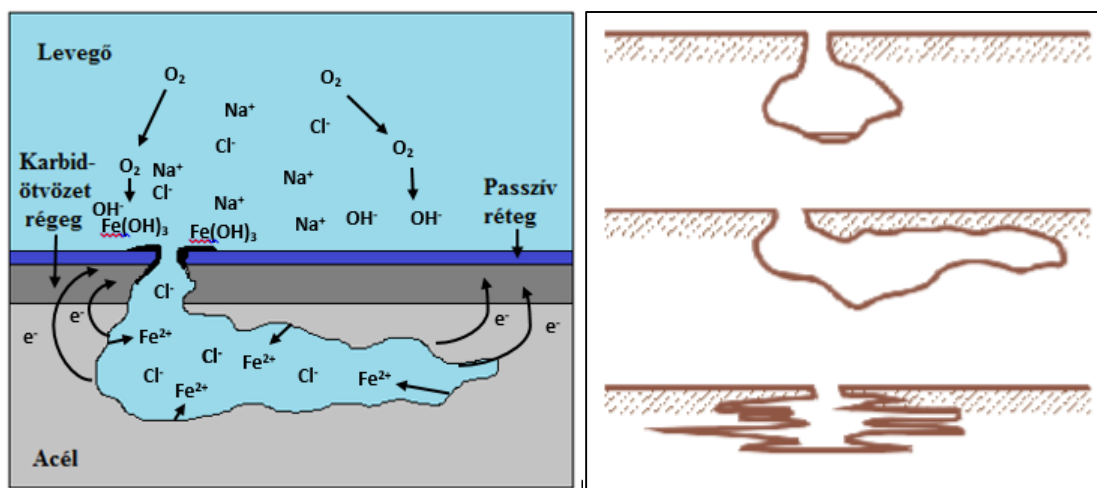
A kapott minták tapadása nem érte el a kívánt intenzitást, mivel még a legkisebb koncentrációban is kiporzás volt tapasztalható. Több felületen is teszteltem a tapadást (üveg, műanyag, samott, acéllemez) de a legkisebb mechanikai behatással is eltávolíthatóak voltak. Feltehetően a kutatás folytatásával elkerülhető lenne a kiporzás, azonban használatuk számos kérdést felvet, melyeket alaposan mérlegelve beláthatjuk, hogy használatuk túl sok kockázattal jár.

Az első probléma már az előállítás során tapasztalható. A mérgező karbidvegyületek (például króm-karbid) beadagolása után már a tűzálló anyagnak egy magasabb biztonsági szintnek kell megfelelnie (MSZ EN ISO 20565-3:2009), az eredeti cirkon tartalmú fekecssekkel szemben (MSZ 12303-1- 8:1983). A második felmerülő probléma az öntödéknél történő alkalmazás után megmutatkozik. Mivel a fekecs termikus tulajdonságai laboratóriumi körülmények között nem vizsgálható, így nem zárható ki annak a veszélye, hogy a

karbidvegyületek a fémolvadékkal az öntvény felületén nem ötvöződnek. Felmerül a kérdés, hogy ez miért negatívum, hiszen, így az öntvény felületén egy kemény védőréteg kialakítható. Viszont, ha nem vesszük figyelembe azt, hogy a legtöbb öntészeti technológiában nem kivitelezhető a készreöntés akkor az öntést követő megmunkálásra fordítandó idő- és energiaráfordítás megnő. A karbidvegyületek-és ötvözetek keménysége nagy, így a felület-megmunkálás során a köszörülés időtartama megnő illetve, ha nagyobb anyagmennyiséget szükséges az öntvény felületéről eltávolítani, hogy a geometriai tűréseknek megfeleljen akkor a keletkező karbidötvözet jelentős részét eltávolítják a felületről.

A harmadik felmerülő probléma már a vevőknél jelentkezhet. Feltételezzük, hogy fentiekben keletkező karbidötvözet réteg az öntvény felületén marad és elérhető a készreöntés. Azonban ha ez a karbidötvözet réteg egy helyen megsérül, könnyen kialakulhat oldalirányú felszín alatti, alánövő vagy vízszintes szemcsék közötti lyukkorrózió (8. ábra). Mivel a felületen jelentősebb sérülés nem vehető észre, így nagy veszélyeket rejt magában. A karbidötvözet réteg a felületet tovább védi, míg az anyag belsejében a korrodálódás mértéke egyre nő.

8. ábra A lyukkorrózió kialakulása (balra), a lyukkorrózió változatai. Fentről lefelé: felszín alatti, oldalirányú és vízszintes szemcsék közötti lyukkorrózió (jobbra).

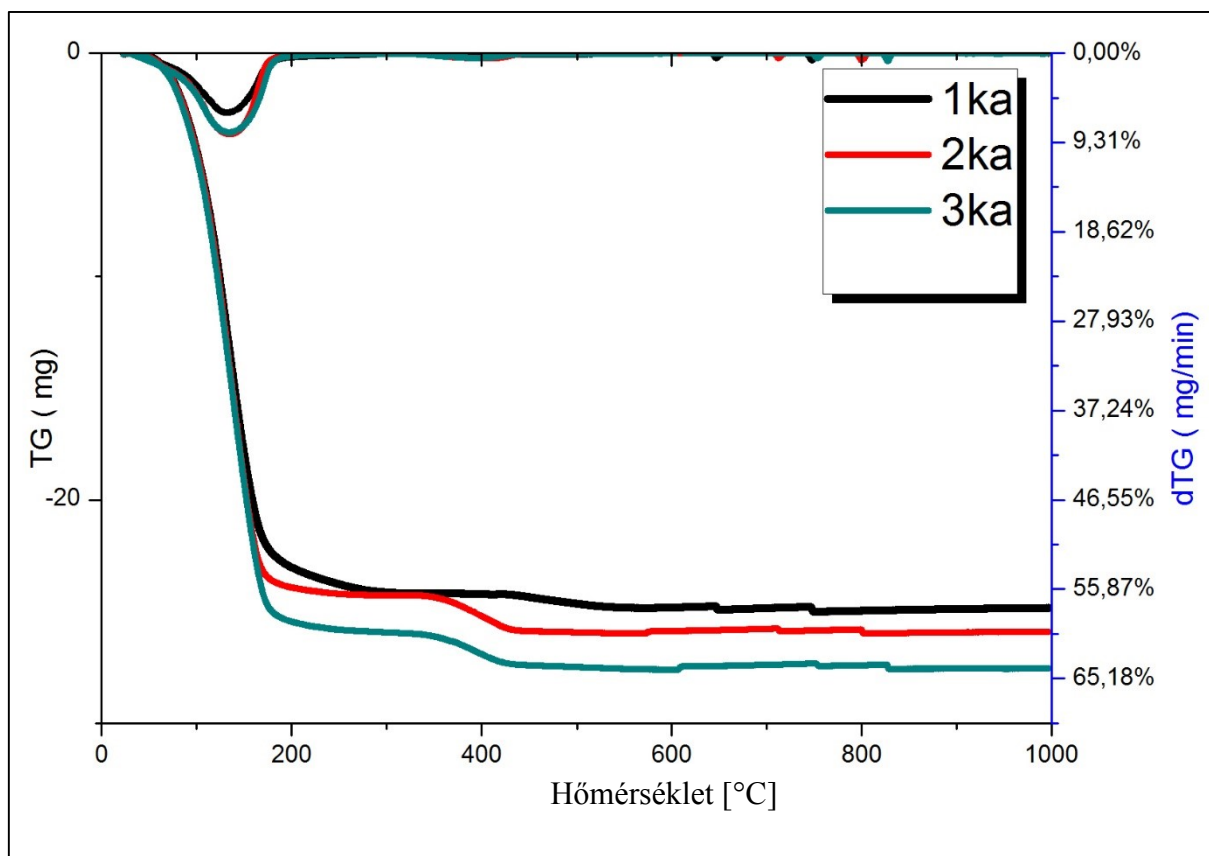


6.3. Vízbázisú bevonat vizsgálata

A kísérlet során először a magát a magnézia-cement kötőanyagot vettem alá termogravimetriai vizsgálatnak. Munkám során, mint ahogy az az előzőekben lejegyeztem a kezdeteknél több bekeverést végeztem, ennek oka, hogy a cement elkészítésekor az egyes szakaszok keverési ideje rendkívül meghatározó és így csökkenthető az eredmények

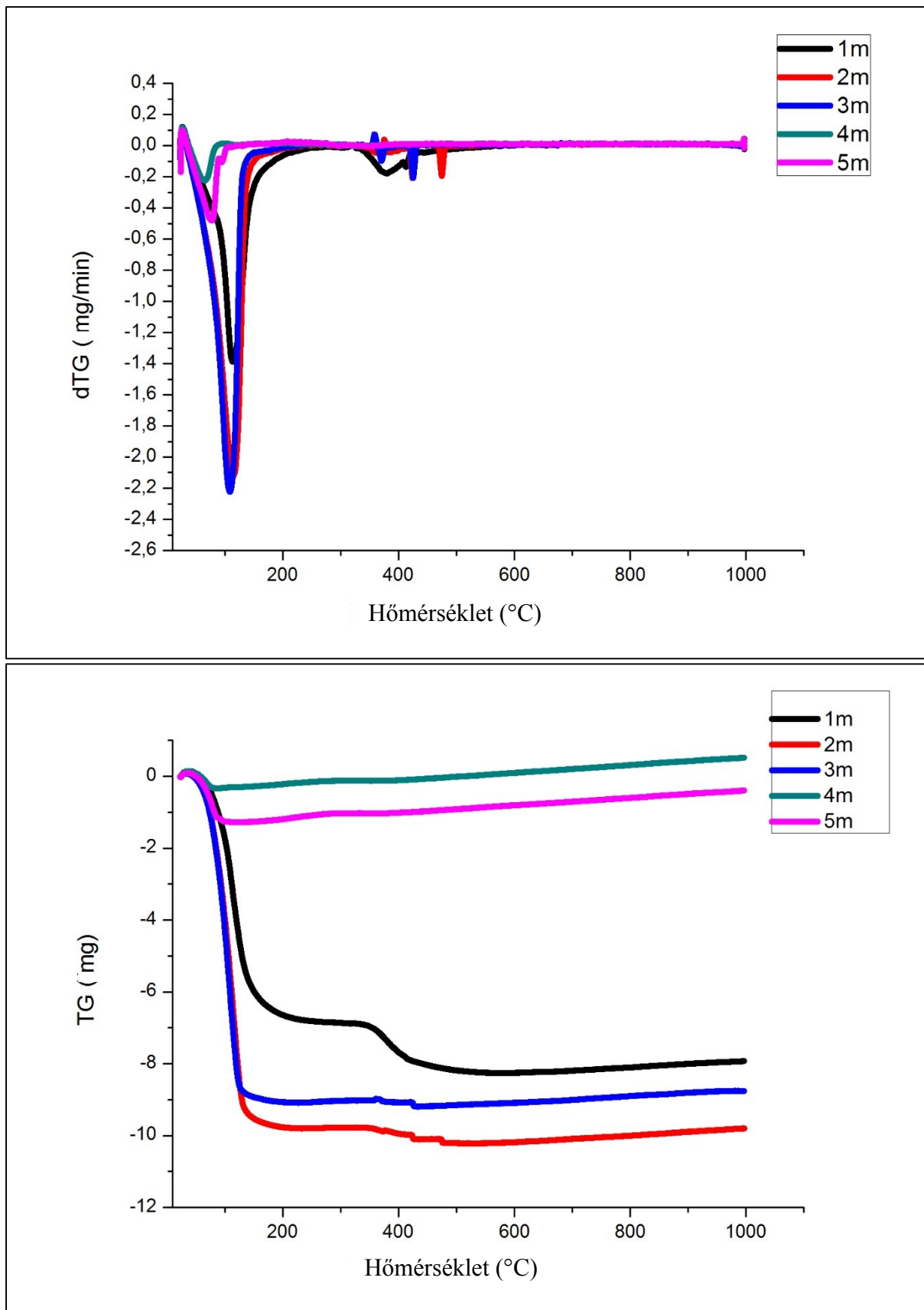
szórásértéke. A termogravimetriai vizsgálat (9. ábra) során meghatározható volt, hogy a keletkezett kálium-magnézium-foszfát 136°C-on elbomlik. 380°C környékén szintén látható egy átalakulásra utaló jel, mely a feleslegben oldott magnézium-oxid szuszpendálásából adódó magnézium-hidroxid bomlását mutatja.

9. ábra A vízbázisú mintasorozathoz használt magnézia-cement kötőanyag termogravimetriai vizsgálata, ahol az azonos színű vonalak azonos anyagot jelölnek.



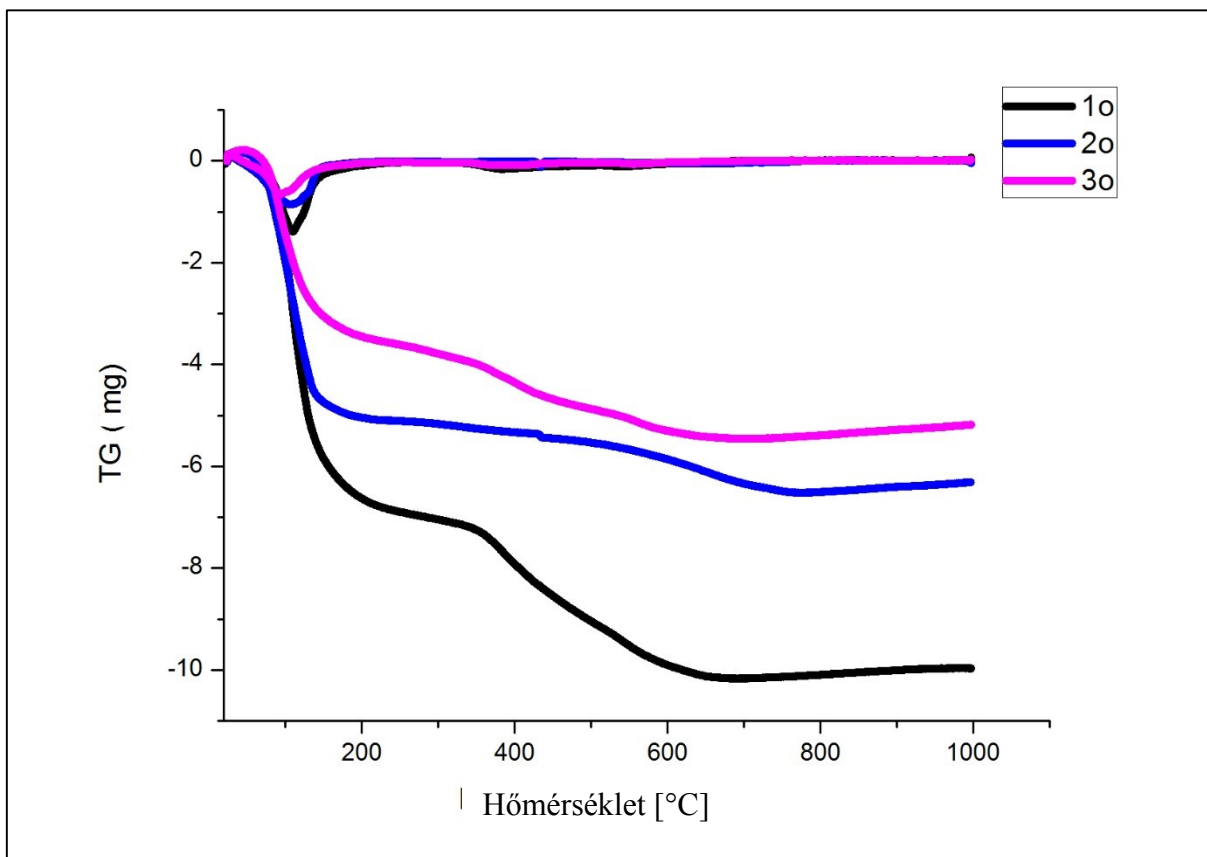
Ezt követően a magnézia-cement hozzákeverésével szintén elvégeztük a fent említett vizsgálatot. A grafikonokat megnézve az tapasztalható, hogy a mintasorozat első tagja jól mutatja a kálium-magnézium-foszfát, majd a magnézium-hidroxid okozta tömegvesztést. Azonban a többi mintánál a kis koncentráció miatt ez kevésbé figyelhető meg, de a dTG görbe ezeket a kis tömegvesztéseket is jól mutatja. A tömegvesztés intenzitását befolyásolja a minták nedvességtartalma. Pontosan nem volt behatárolható, hogy a minták belseje mikor szárad ki, de az ecsettel felhordott bevonat megközelítőleg 7-10 óra alatt száradt meg függően a rétegek számától.

10. ábra A vízbázisú fekecs dTG (fent) és TG (lent) vizsgálatának eredménye, a két ábrán használt színkódolás megegyezik



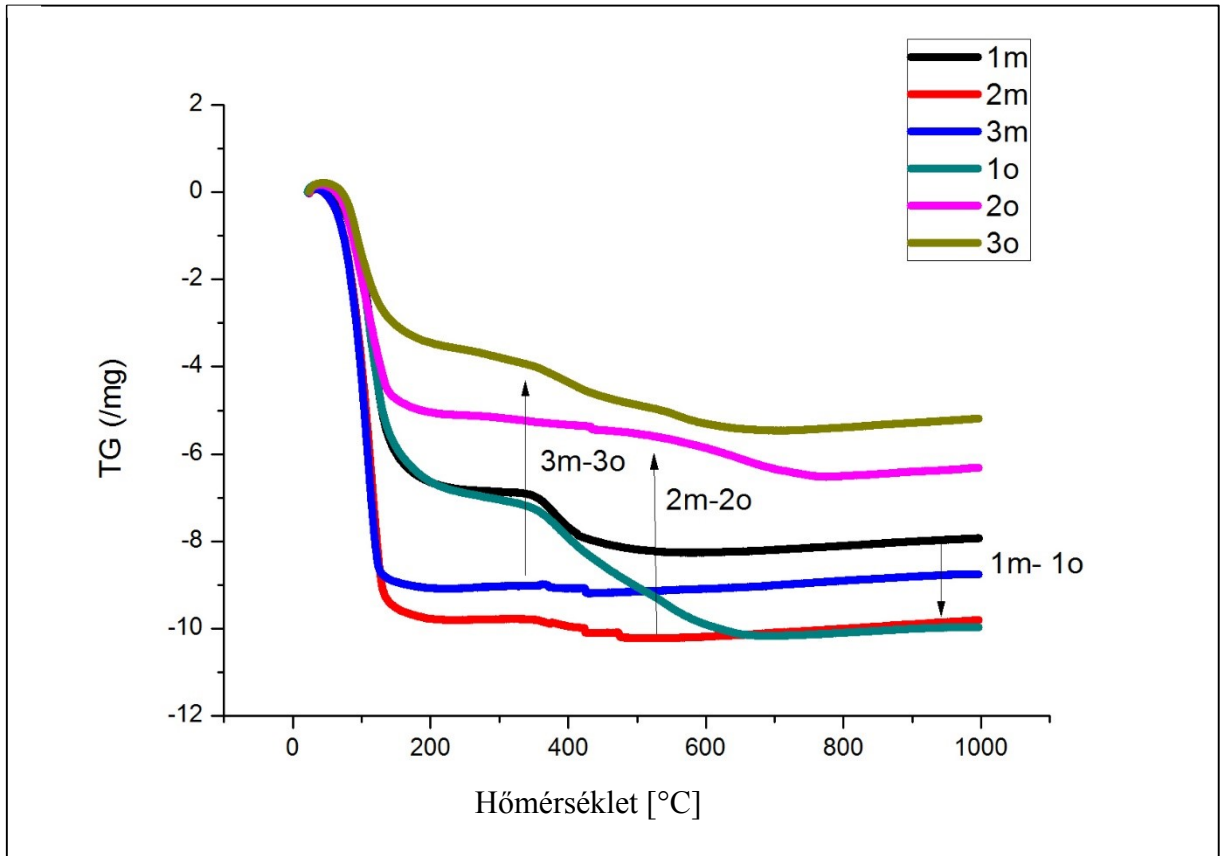
A kísérlet során nátrium-szilikáttal adagolt minták is készültek, melyeknek mechanikai tulajdonságai kedvezőbbek voltak és a minták tapadása is lényegesen javult. A száradási sebesség 6-9 óra között mozgott, amely szintén függött a felhordás mértékétől. Ezek termogravimetriai vizsgálatát a 11. ábra mutatja.

11. ábra Az o-jelű sorozat termogravimetriai és differenciál-termogravimetriai görbéje.



Ha összehasonlítjuk az m-jelű sorozatot és az o-jelű sorozatot, akkor láthatjuk, hogy mindkét sorozat első tagja (1m; 1o) nem követik a másik két tag változását, ennek az oka a kötőanyagok nagy koncentrációja. Következésképpen megállapítható, hogy a nátrium-szilikát javítja a termikus tulajdonságokat, de csak ha a kötőanyag tömegrésze biztosan kisebb, mint amennyit az 1m- és 1o- jelű minták tartalmaznak.

12. ábra Az m- és o-jelű minták termogravimetriai görbéjének összehasonlítása. A nyilak a nátrium-szilikát tartalmú minták felé mutatnak.



7. Összefoglalás

A célom a kereskedelmi forgalomban kapható fekecs vizsgálata és fejlesztése volt. A kitűzött feladat első része, azaz a kereskedelmi forgalomban kapható fekecs mennyiségi és minőségi meghatározása kellően sikeres volt, ahhoz, hogy saját vízbázisú fekecs receptúrámmal összetételét meghatározhassem.

A kereskedelmi forgalomban kapható fekecs alapja ipari tisztaságú cirkónium-szilikát (cirkon liszt) volt, azonban a pontos kötőanyagrendszer meghatározását nem sikerült vizsgálatokkal meghatározni. Ennek oka a kötőanyag kis koncentrációja és így nem érik el a műszerek kimutatási határt. Az EDS és TG vizsgálatok azonban alátámasztják, hogy a bevonó anyag, a magnézium egy vegyületét, valószínűleg magnézim-karbonátot tartalmaz. Ezen felül az EDS vizsgálat jelezte alumínium-tartalom alumínium-oxidra utal, amelyet a cikronlisztbe kevernek csomósodást gátló anyag gyanánt.

A kereskedelmi fekecs karbidvegyületekkel való adalékolásakor nagymértékű kiporzás tapasztalható, így ilyen célra a jelenlegi tapadó rendszerrel nem alkalmasak.

A vízbázisú fekecs előállításakor a cirkónium-szilikát alapot és magnézia cementet használtam, amely magnézium-oxid és kálium-dihidrogén-foszfát és bórax elegye. A kísérlet során meghatároztam a bekeverés menetét TG vizsgálatokkal meghatározható volt a keletkező kálium-magnézium- foszfát bomlási hőmérséklete, amely 136°C volt. Ez a hőmérséklet elegendő, hogy az öntés pillanatáig a forma felületén megtapadjon a bevonat, utána pedig a cirkónium-szilikát védi majd az öntvényt a forma esetlegesen okozta károsodásaitól. A tapadás növelése érdekében nátrium-szilikátot adagoltam a rendszerhez, amelynek az oldásához szükséges hő a kálium-magnézium- foszfát keletkezésekor lejátszódó exoterm reakció biztosított. A TG vizsgálat során bizonyossá vált, hogy a 2-3o jelzéssel ellátott minták felelnek meg leginkább öntészeti célokra.

Összefoglalva a kapott eredményeket, a kifejlesztett fekecs első körben megfelel annak, hogy feltapadjon a forma felületére. Azt, hogy az öntés során is biztosan megállja a helyét csak tesztelés útján lehetséges meghatározni. Erre alapozva kutatásomnak még nincs vége és még számos vizsgálat és tesztelés szükséges ahhoz, mielőtt egy öntőde egy gyártási folyamatában alkalmazni tudná a bevonatot.

8. Irodalom

- [1] 47th Cebus of World Casting Production - Dividing up the Global Market, Modern Casting 2013. December pp 18- 23
- [2] Varga Ferenc – Vas- és acélöntés; Táncsics Könyvkiadó; Budapest; 1964. pp 110 -111
- [3] Barczy M. - Hammer F. - Farkas S. - Peres S. – Tűzálló anyagok és falalzatok; 2. kiadás; Műszaki Könyvkiadó; Budapest; 1971. pp 164
- [4] Pólska Cs.–Mikó J.–Palotás Á. B.–Szabó J. - Tűzálló anyagok vizsgálatai; Miskolci Egyetemi Kiadó; 2010. pp 33-35
- [5] Zhu Jianxun - Zhang Kefeng - Wang Zhiming - Az öntészeti technológia fejlődési irányai Bányászati és kohászati lapok 2011. 144. évfolyam 2. szám pp 18-21
- [6] Jónás P. - Détári A. - Svidró J. - Az öntvények felületminőségét befolyásoló tényezők vizsgálata, Bányászati és Kohászati Lapok - Kohászat, Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest, 2007/2. szám pp 17-27
- [7] Abaffy Imre: Talkum, a grafitot helyettesítő formabevonó anyag Öntöde: A Bányászati és Kohászati Lapok melléklete: Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Öntödei Tagozatának folyóirata, 1954. (5. évf.) 4. sz. pp 94-96
- [8] Bokor Ferenc - Tokár István: Új típusú formabevonó anyagok Gépgyártástechnológia, 1976. (16. évf.) 10. sz.pp 471-472.
- [9] Manuel Guerra, Jr. Paul R. Johnson, Eliot S. Lassow, Sidney R. Whitaker: Ceramic shell mold facecoat and core coating systems for investment casting of reactive metals US 4703806 A, PN: 4703806, 1986.
- [10] Pierson, H. O. Handbook of refractory carbides and nitrides: properties, characteristics, processing, and applications, Noyes Publications, New Jersey, 1996.

Köszönetnyilvánítás

A dolgozatom nem készülhetett volna el a témavezetőim, Dr. Kukovecz Ákos egyetemi tanár és Nagy László tudományos ügyintéző segítségével nélkül.

Hálás vagyok az Alkalmazott Környezeti Kémiai Tanszék dolgozóinak a segítségéért, és hogy mindig bizalommal fordulhattam hozzájuk, ha kérdésem adódott.

Továbbá köszönöm Danicska Lászlónak, az Alföldi Kohászai és Gépipari Zrt. termelési igazgatónak, aki nagyban hozzájárult munkám sikeréhez.

Hálával tartozom a Löffler 2001. Kft., a GRE-GA Öntödei Kft., a PATINA Öntöde Öntészeti Gyártó és Szolgáltató Kft., a Csepel Metall Vasöntöde Kft., az Alföldi Kohászati és Gépipari Zrt., az Elektro-MontőrING Kft. és végül, de nem utolsó sorban a Szegedi Finomöntöde Kft. munkatársainak, hogy segítették a munkámat.

Köszönöm a családomnak és a barátaimnak, hogy mindig biztattak és soha nem hagyták, hogy feladjam.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni Berczely Jánosnak, az Alföldi Kohászati és Gépipari Zrt. egykori tervezőmérnökének, akinek a segítségével ez a dolgozat soha nem készülhetett volna el.