

Furansands mekaniske egenskaber og brudforhold ved tilsætning af regenereret sand

Af Yan-lei Li, Guo-hua Wu, Wen-cai Liu, An-tao Chen, Liang Zhang and Ying-xin Wang

Sammenfatning

I denne rapport er indflydelsen på furansands mikrostrukturelle karakteristika, mekaniske egenskaber og brudforhold ved tilsætning af regenereret sand systematisk undersøgt i temperaturområdet fra 25 til 600 oC. Tilsætningen af 20% -100% regenereret sand ved samme temperatur resulterer i en dramatisk styrkenedsættelse, som skyldes, at regenereret sand giver svagere furanbindinger. I begyndelsen stiger både den maksimale trækstyrke (UTS) og trykstyrken (CS) af formsandet ved stigende temperatur i sandet, men fortsat temperaturforøgelsen reduceres styrken drastisk. Dette kan tilskrives den termiske nedbrydning af furanharpiks. Tilsætning af regenereret sand har en bemærkelsesværdig effekt på brudforløbet ved stuetemperatur; ved tilsætning af 0-20% regenereret sand var brudforløbet hovedsageligt kohæsiv, men ved tilsætning af 35% -70% regenereret sand fik bruddet en blandet karakter.

Ved tilsætningen af 100% regenereret sand blev bruddet typisk adhæsivt. Brudfladens udseende skifter ved stigende prøvetemperatur fra en ru, stofagtig eller porøs struktur til en jævn, glat brudoverflade.

Indledning

Formsand afbundet med syrehærdende furanharpiksbindemidler eller i det daglige kaldet furansand har en god kombination af stor dimensionsnøjagtighed, god overfladefinish og gode

afbindingsegenskaber ved stuetemperatur; disse egenskaber gør furansand velegnet til formfremstilling for støbning af stål, jern og metallegeringer. Imidlertid har furansand også mindre gode egenskaber såsom dårlig nedbrydelighed (dette er dog ikke helt rigtigt, o.a.), udvikling af forskellige skadelige gasarter samt ophobning af binderrester i retursandet. Endvidere er furansandets bindemiddel hovedsageligt baseret på furfurylalkohol, hvis pris kan variere stærkt og derfor kan øge produktionsomkostninger betydeligt. Herudover kan deponering af overskudssand give miljømæssige problemer. Desuden er støberiindustrien underlagt strenge regler for anvendelse af ressourcer og miljøbeskyttelse. Derfor søges fortværende at udvikle nye furanbindemidler, der er mere miljøvenlig og kosteffektive uden det går ud over anvendelsesegenskaberne.

Anvendelse af regenereret sand har en klar økonomisk fordel for masseproducerende støberier. Regenereret sand anvendes med

fordel til fx vådsand, furansand og vandglasbundet sand. Det har vist sig, at de rette blandinger af regenereret sand og nysand kan opfylde formsandskravet for kvalitetssandstøbegods. Under støbning opvarmes formsandet af den flydende smelte, og sandtemperaturen kan blive temmelig høj. Derfor er høj temperaturbestandighed en af de vigtige krav til formsand. En måde at bedømme temperaturbestandighed på er at måle sandets mekaniske egenskaber ved forskellige temperaturer. Mængden af anvendt regenereret sand har også indflydelse på disse egenskaber, og derfor er det nødvendigt at have indgående kendskab til, hvordan tilsætning af regenereret sand virker ved forhøjet temperatur.

I denne rapport undersøges furansands mekaniske egenskaber og brudtype ved tilsætning af regenereret sand. Forholdet mellem de mekaniske egenskaber og brudtype belyses og variationen af de mekaniske egenskaber i temperaturområdet 25-600 oC anskueliggøres. Rapporten kan være med

Tabel 1. Sandets egenskaber

Sand	Fugt %	Slemstof %	Glødetab %	Kornspredning μm	pH-Værdi
ny	0,35	0,025	0,8	150-300	9,16
regenereret	0,83	0,33	2,15	150-300	5,17

Tabel 2: Sandprøvernes opvarmningstemperatur og tid

T (oC)	Parametre										
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Tid (min)	67	61	45	40	38	32	25	18	14	10.5	5.5

til at danne et grundlag for udvikling af nye furanbindemidler.

Anvendte metoder

Råmaterialer

I denne undersøgelse anvendes fire slags materialer: nysand (NS), regenereret sand (RS), furanbindemiddel og en hærdere. Sandets egenskaber er vist i tabel 1.

Det anvendte nysand er Dalin sand with en spredning i kornstørrelse på 150 - 300 μm . Det regenererede sand kommer fra et støberi i Kina. Regenerering er fortaget ved hjælp af tør skrubning; slemstofindholdet er under 0,5 %. Furanbindemidlet har en viskositet på 99,5 mPa.s og et indhold af fri formaldehyd på 0,21 %. Hærdere er fra Xingye, Suzhou i Kina og har et syretal på 24,89 % og et frit syreindhold på 7,94 %.

Sandblandinger

Andelen af regenereret sand i blandingerne var 0, 20, 35, 50, 70 og 100 %. Medmindre andet oplyst er alle tal vægtprocenter. Alle bindertilsætninger er 1,2 % (i forhold til sandvægten) og hærdertilsætninger er 40% (i forhold til binder-vægten).

Prøveforberedelse

Nysand og regenereret sand blandes et minut i en sandmixer, hvorefter hærdere tilsættes. Efter yderligere 2 minutters blanding tilsættes bindere og der blandes yderligere i et minut. Umiddelbart herefter fremstilles sandprøverne i en kernekasse, der er placeret på et vibrationsbord. Prøverne afhærdes i 24 timer før de anvendes.

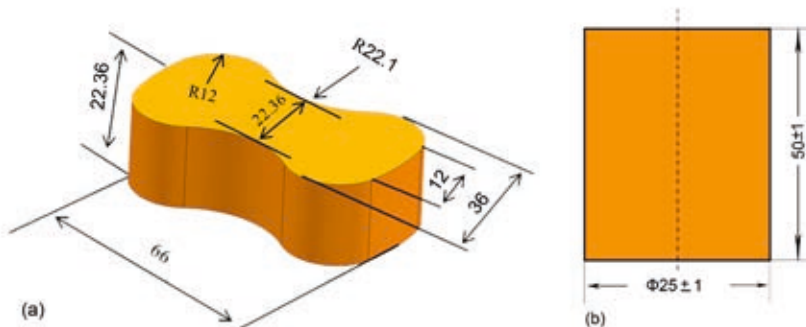


Fig. 1: (a) Trækprøvens dimensioner (mm) og (b) trykprøvens dimensioner (mm)

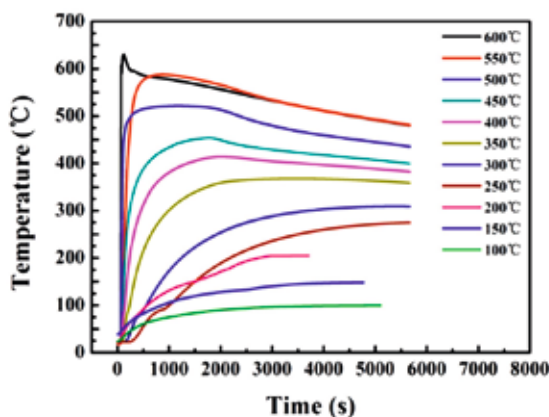
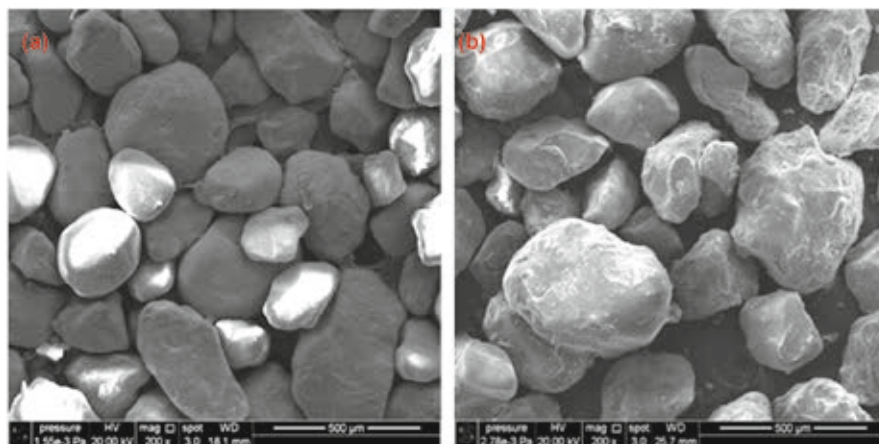


Fig. 2: Temperaturkurver målt i midten af sandprøverne

Fig. 3: Typiske SEM mikrobilleder af sandkorn: (a) nysand og (b) regenereret sand



Analysemetoder

Fugt, slemstof og syrebehovet måles på traditionel måde. Ved sigteanalysen benævnes sandpartikler mindre end 140 mesh for støv.

Træk- og trykstyrken måles ved hjælp af hhv. kødbensformede og cylindriske sandprøver, se fig. 1a og 1b. Sandprøverne blev opvarmet til den ønskede prøvetemperatur under konstant temperaturmåling (fig. 2 og tabel 2). For at kunne måle den tilbageværende styrke blev prøverne opvarmet til den ønskede temperatur og derefter afkølet i stillestående luft til stuetemperatur. Ved hvert forsøg

anvendtes 3 prøver, hvorefter gennemsnittet af måleresultaterne beregnes. Prøvernes brudflader blev analyseret ved SEM-elektronmikroskopi.

2. Prøveresultater

2.1 Karakteristika af nysand og regenereret sand

Fig. 3 a og b viser typiske SEM mikrobilleder af nysand og regenereret sand. Nysandets korn har en ellipsoformet form, men der findes også en del runde korn (fig. 3a). Regenereret sand har flere kantede korn end nysandet har (fig. 3b). De afrundede sandkorn er karakteristiske for flodsand. På det regenererede sand kan der iagttages flere punktagtige partikler; disse er forureningspartikler, især slemstof og støv.

Figur 4 viser resultatet af EDS analyserne. Overfladen på nysand indeholder en stor andel aluminium og silicium, mens overfladen på regenereret sand indeholder mere svovl og kulstof hidrørende fra bindemidlet, da sandet kun er mekanisk og ikke termisk regenereret.

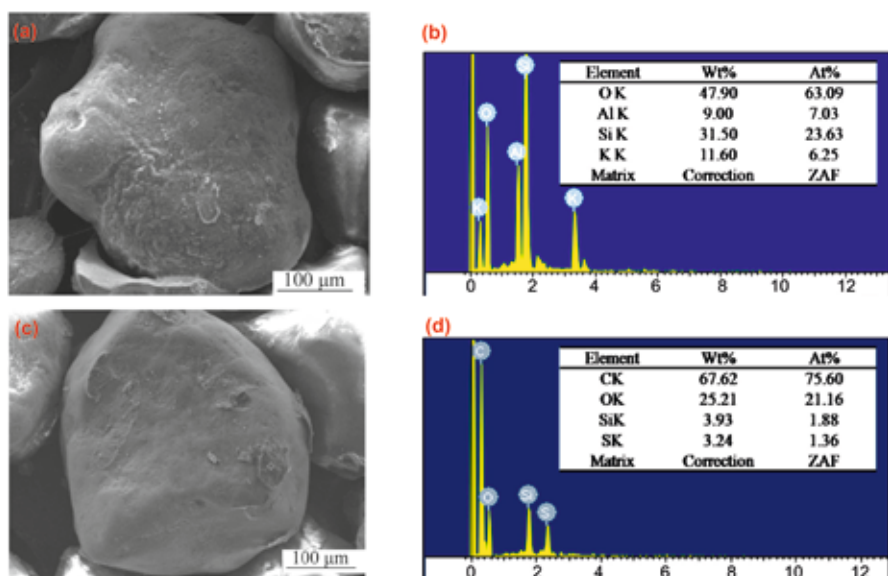


Fig. 4: Typiske SEM mikrobilleder og EDS resultater af forskellige sandtyper: (a) SEM af NS, (b) EDA spektrum af NS's kornoverflade, (c) SEM af RS og (d) EDS spektrum af RS's kornoverflade.

Fig. 5 viser de termogravimetriske kurver. Den blå kurve (TG) viser bindemidlets vægttab under opvarmning, mens den røde kurve (DTG) viser den afledte termogravimetriske kurve. De første termiske nedbrydninger sker ved ca. 66 oC når opløsningsmidlet i binderen afgives og ved 98oC når bindemidlet afgiver sit vand. Vægttabet er omtrent hhv. 16 % og 5 %. I området 150 oC til 300 oC er vægttabet ca. 35 %, og det er her at den termiske nedbrydning af de svage furanbindinger finder sted. I området 450 oC til 650 oC er nedbrydning af metylen årsagen til en total nedbrydning af furanbindingerne.

2.2 Indflydelse af mængden af regenereret sand på slemstof, støv, fugt og syreværdi.

Indholdet af slemstof, støv og fugt

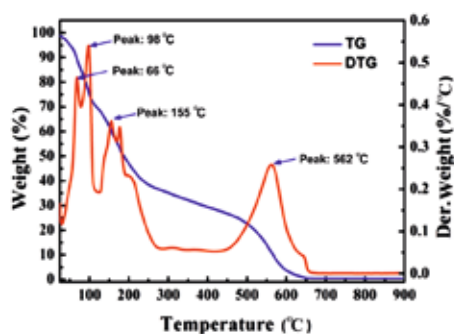


Fig. 5: TG+DTG kurver af furanbinder

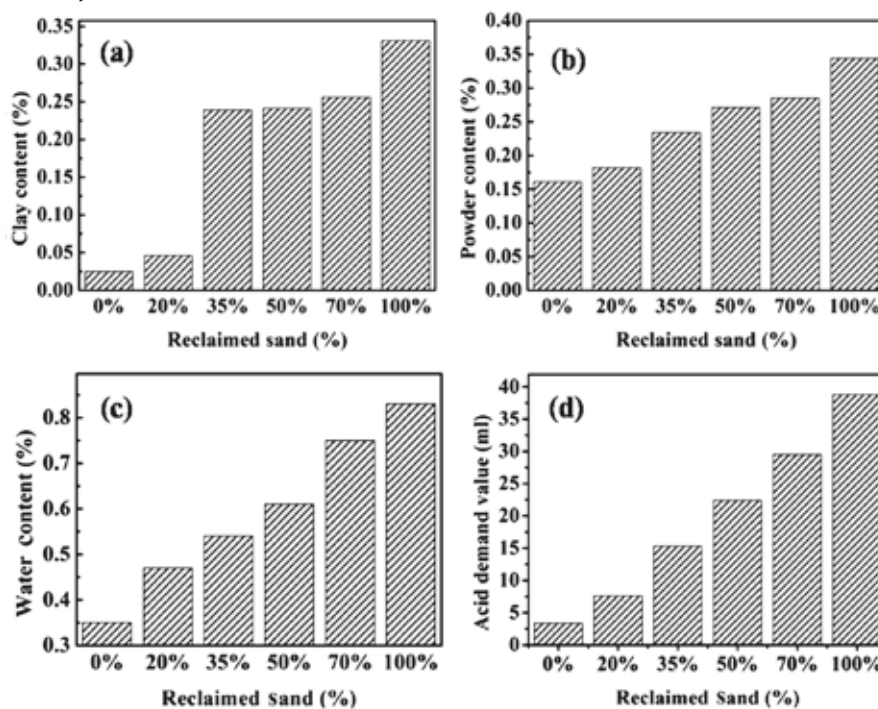


Fig. 6: Måleresultater af (a) slemstof, (b) støv, (c) fugt, og (d) syrebehov i forskellige sandblandinger

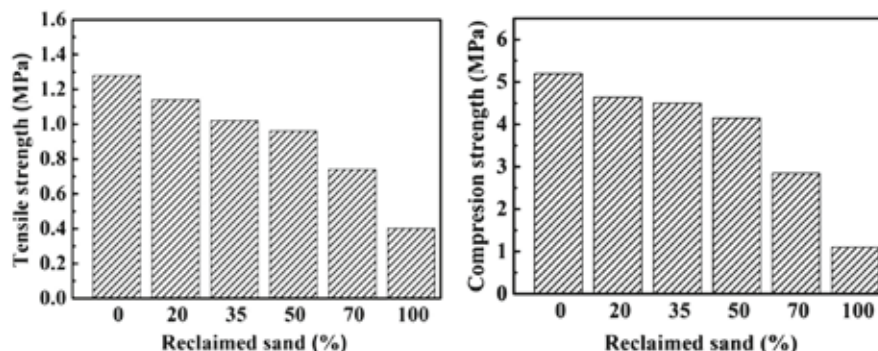


Fig. 7: Trækprøveresultater ved forskellige sandblandinger

samt syreværdi ved tilsætning af forskellige mængder regenereret sand er vist i fig. 6. Sammenlignet med nysand er alle værdier højere og forøges når tilsætningen af regenereret sand øges fra 20 % til 100 %.

2.3 Mekaniske egenskaber

2.3.1 Mekaniske egenskaber ved stuetemperatur

Fig. 7 viser trækstyrkerne for de forskellige NS/RS blandinger. Ved tilsætning af 35 % RS falder trækstyrken med ca. 20 %. Ved 70 % og 100 % tilsætning falder styrken med hhv. 40 % og 70 %.

Fig. 8 viser trykstyrker for de forskellige blandinger. Også her

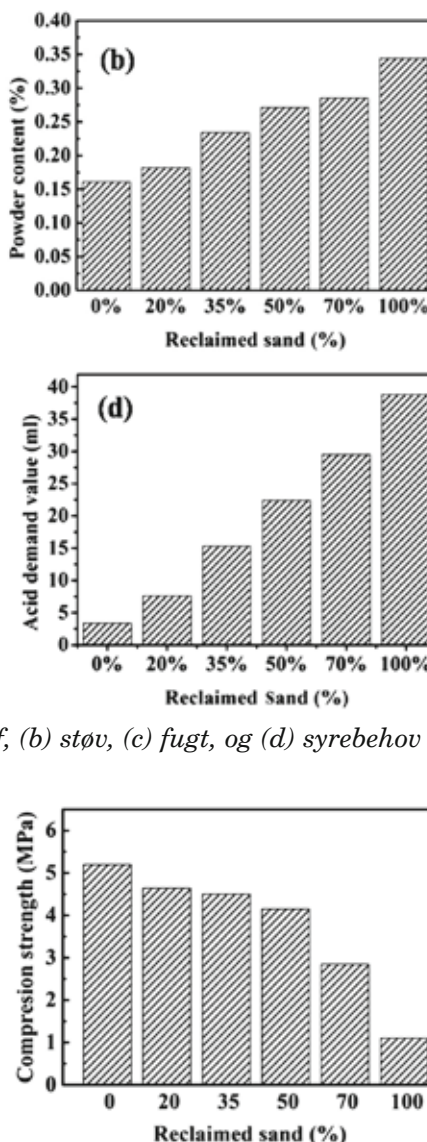


Fig. 8: Trykprøveresultater ved forskellige sandblandinger

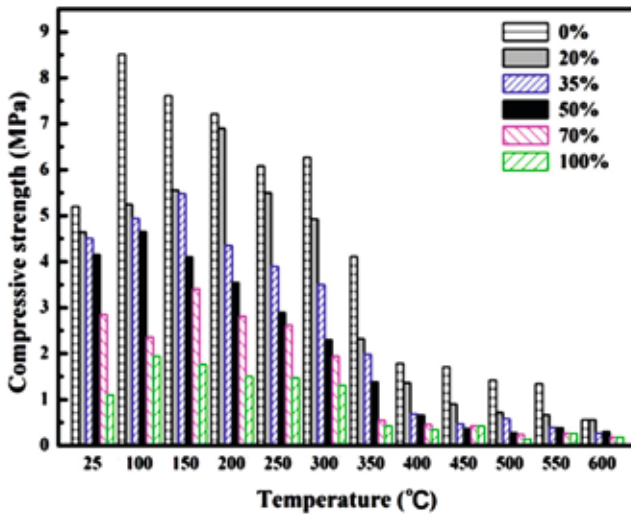


Fig. 9: Trykprøveresultater af forskellige sandblandinger ved forskellige temperaturer

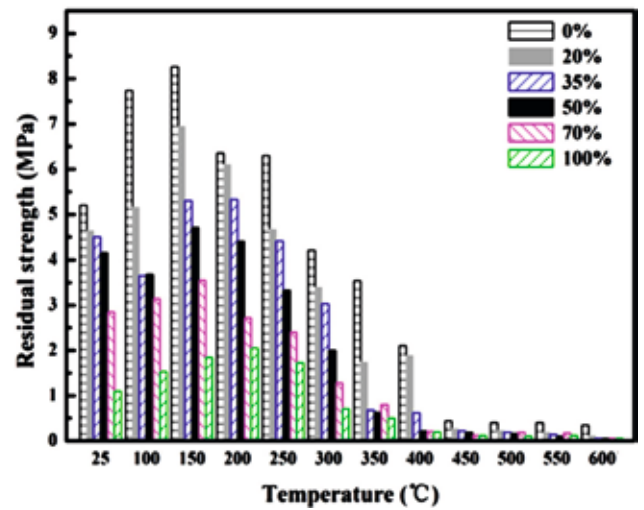


Fig. 10: Tilbageværende trykstyrke af forskellige sandblandinger ved forskellige temperaturer

reduceres styrken betydeligt, især når tilsætningen af regenereret sand er over 50 %. 70 % og 100 % tilsætning reducerer trykstyrken med hhv. 45 % og 80 %.

2.3.2 Mekaniske egenskaber ved forhøjet temperatur

Fig. 9 viser de forskellige sandblandingers trykstyrker ved forskellige temperaturer. I området 100 – 300 oC forøges styrken i forhold til styrken ved stuetemperatur, men ved temperaturen over 300 oC formindskes styrken drastisk, mens mængden af regenereret sand spiller her ingen stor rolle. Bemærk at i området 100 - 300 oC er styrkeforskellen mellem prøver af 100 % nysand og prøver med regenereret sand betydeligt stor. I området 350 - 600 oC er denne forskel væsentligt mindre.

Fig. 10 viser de forskellige blandingers tilbageværende styrker efter opvarmning til forskellige temperaturer. Ved 25 oC formindskes styrken ved tilsætning af regenereret sand. I området 100 - 150 oC iagttages en væsentlig styrkeforøgelse med sin maksimum ved 150 oC. Over 200 oC finder en stor styrkereduktion sted, og nu spiller indholdet af regenereret sand en væsentlig rolle. I området 300 - 400 oC finder en yderligere styrkereduktion sted, og i området 450 - 600 oC har blandinger med regenereret sand stort set ingen styrke tilbage.

2.4 Analyser af brudfladerne

Fig. 11 viser typiske billeder af brudflader efter trækprøvning af formsandsprøver med forskelligt indhold af regenereret sand ved stuetemperatur. Alle billeder viser sandkorn (sand), brudte binderlag (fractured resin film) og intakte binderlag (bonding bridge). Ved 0 – 20 % RS (fig. 11 a+b) udviser brudoverfladerne mange brudte binderlag med mikrorevner. De brudte harpiksbindinger har en ujævn overflade, hvilket indikerer, at når der dannes mikrorevner i binderlaget, kan disse revner fortsætter langs binderlagets grænseflader med andre binderlag, eller de kan bevæge sig tværs igennem binderlaget som kohæsive brud, dvs. brud igennem selve harpikslaget.

Når tilsætningen af regenereret sand er mellem 35 – 70 % (fig. 11 c+d+e) udviser brudfladerne mange plane og hakket afgrænsede områder på de enkelte sandkorn, revner og selv små huller kan observeres på der brudte binderflader. Det tyder på et blandet brud (kohæsivt og adhæsivt brud). Ved 100 % RS bliver brudfladerne endnu mere glatte, og mikrorevner, der dannes i grænsefladen mellem binder og sandkorn fortsætter langs med kornoverfladen, hvorefter binderlaget løsner sig fra kornoverfladen. I sådan fald er der tale om et rent adhæsivt brud.

Fig. 12 viser typiske billeder af brudflader efter trykstyrkeprøvning af formsand med forskellige indhold regenereret sand ved stuetemperatur. Der kan iagttages nogle brudte harpiksbindinger og sandkorn (fig. 12a). Nogle få fordybninger og mikroporositeter kunne også ses. Dette tyder på et kohæsivt brud. Ved øget RS tilsætning op til 70 % (fig. 12 b+c) kunne der iagttages både brudte binderlag og løsrevetbinderlag. Dette tyder på, at bruddet gradvist er ændret fra et kohæsivttil et blandet brud.

Ved 100 % RS tilsætning svarer brudfladens udseende til fig. 11f, det vil sige et typisk adhæsivt brud.

Fig. 13 viser typiske SEM billeder af brudflader efter trykstyrkeprøvning af nysand ved forskellige temperaturer. Nysand blev valgt til disse SEM undersøgelser for at opnå nogle referencetilstande til forsøgene med sandblandinger. Ved 100 oC iagttages store sandkorn, intakte binderlag og brudte binderlag (fig. 13 a), hvilket antyder et kohæsivt brud. Ved 250 oC iagttages brudte binderlag, det vil sige fortsat et kohæsivt brud, men ved 450 oC var det brudte harpikslag mere flad sammenlignet med prøverne fra 100 oC og 250 oC. Ved 600 oC kan der yderligere ses betydelige flere af disse flade brudte binderlag, hvilket hovedsageligt skyldes den termiske ned-

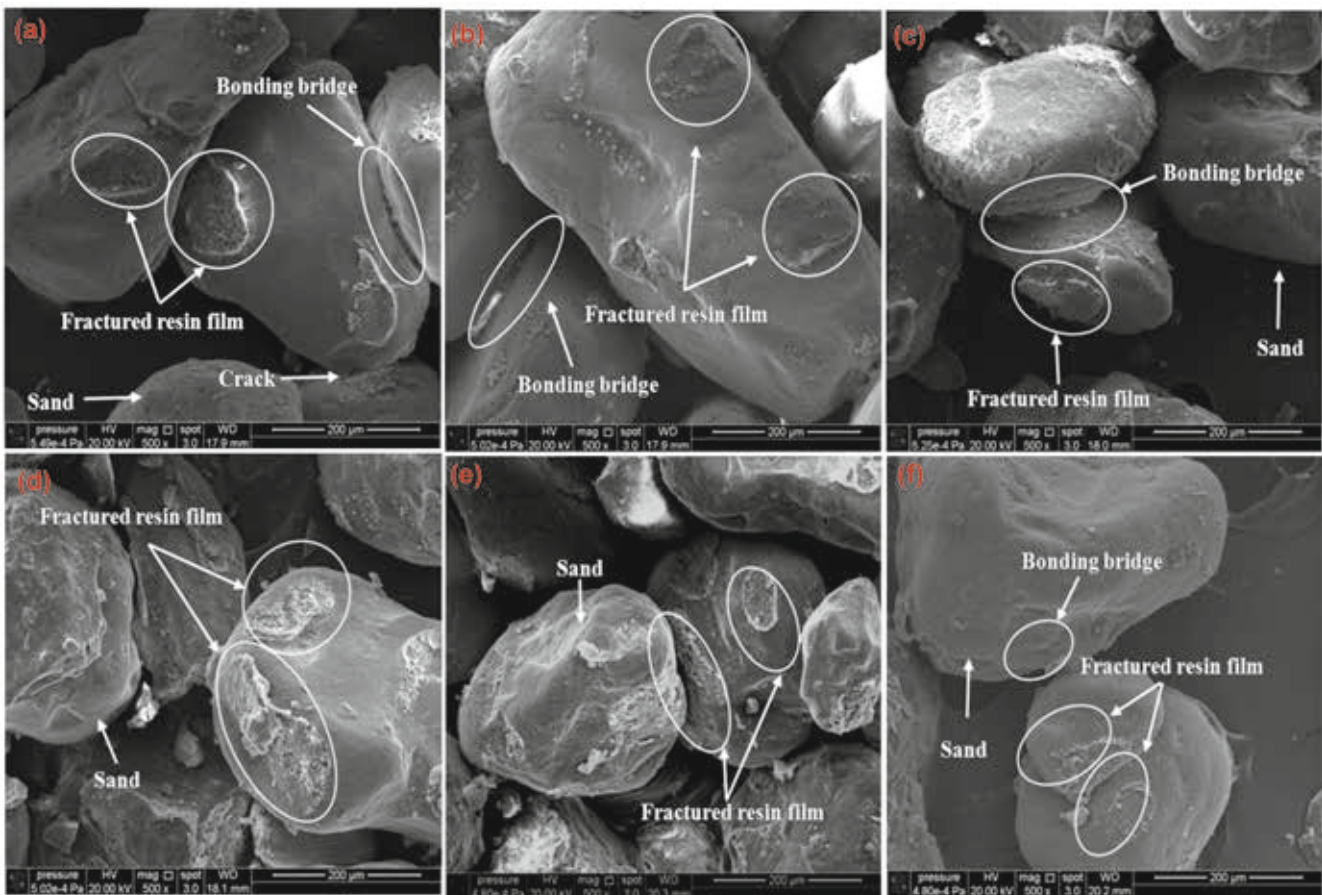
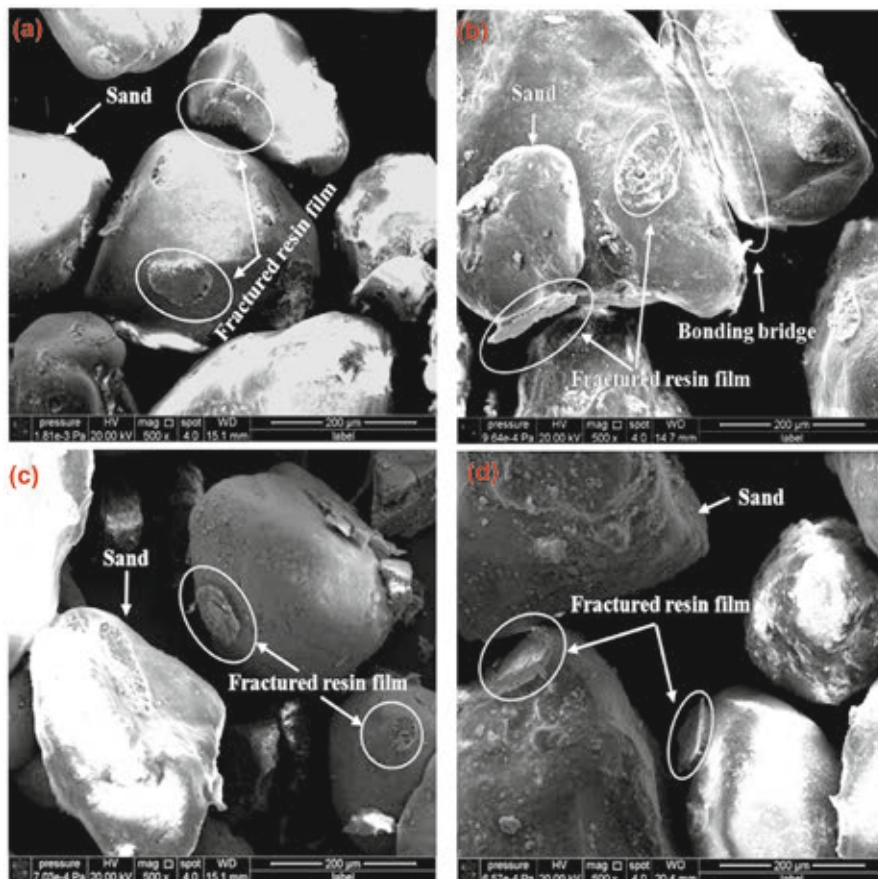


Fig. 11: Typiske SEM-mikrobilleder af trækprøvernes brudflader ved forskellige RS-tilsætninger: (a) 0, (b) 35%, (c) 70%, og (d) 100%



brydning af bindemidlet.

3. Diskussion

I nærværende rapport beskrives, hvordan tilsætning af regenereret sand gradvist reducerer formsandets mekaniske egenskaber ved forhøjet temperatur. I det følgende forsøges årsagen forklaret.

En forøget tilsætning af regenereret sand reducerer formsandets mekaniske egenskaber betydeligt. Denne styrkereduktion skyldes, at regenereret sand har et forøget indhold af støv og slemstof samt et større syrebehov. Desuden viser SEM-billeder, at regenereret sand er belagt med rester af bindemidlet (fig. 3 + 4). Det har været fremført, at binderrester kan øge sandets syrebehov. Yderligere viser

Fig. 12: Typiske SEM-mikrobilleder af trykprøvernes brudflader ved forskellige RS-tilsætninger: (a) 0, (b) 35%, (c) 70%, og (d) 100%

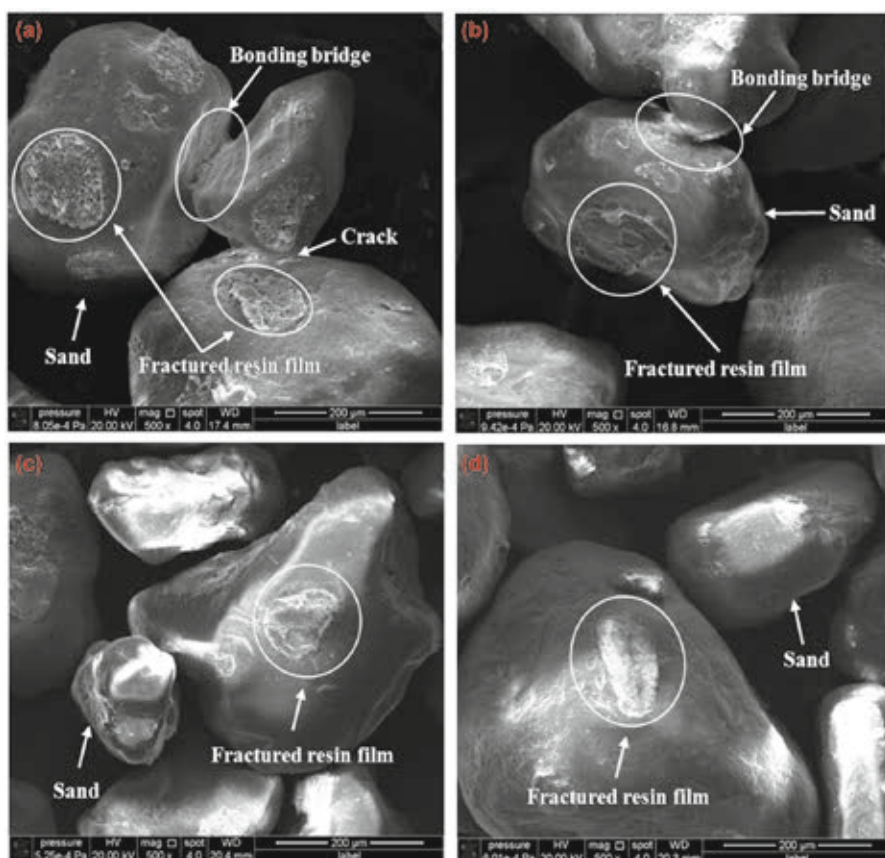


Fig. 13: Typiske SEM-mikrobilleder af trykprøvernes brudflader ved forskellige temperaturer: (a) 100 °C, (b) 250 °C, (c) 450 °C, and (d) 600 °C

EDS-analyser af det regenererede sand, at der også findes hærrester på sandkornene, hvilket vil øge binderforbruget. Desuden vil et øget indhold af støv og slemstof ligeledes forbruge bindemidlet, der derfor ikke kan bidrage til at danne furanbindinger mellem sandkornene, og derfor bliver slutstyrken reduceret. Ding og Kayal har også opdaget, at der altid findes vand i binderlaget, hvilket forårsager dannelse af små porøsiteter i binderlaget og dermed reducerer den kohæsive binderstyrke. En øget mængde regenereret sand vil derfor øge syrebehovet og den nødvendige mængde furanbinder.

Furansandets mekaniske egenskaber er tæt forbundet med binderlaget mellem sandkornene. Selv om de gængse forureninger (støv, slemstof og binderrester) påvirker furansandets styrke negativt, er deres indflydelse begrænset, idet de optræder i begrænsede mængder. Fig. 11 og

12 viser SEM-billeder af bindermidlets brudflader på de forskellige sandprøver. Ved tilsætning af 0-20 % regenereret sand er bruddet hovedsageligt kohæsivt; bruddet bliver til et blandet brud når tilsætningerne øges til 35 % - 70 % ; ved 100 % tilsætning bliver bruddet adhæsivt. Dette skyldes hovedsageligt bindemiddelrester i sandet. Ved en temperaturforøgelse fra 100 til 250 oC ændres brudtypen ikke væsentligt (fig. 13 a og b), men ved 450 oC indtræffer en ændring i brududseende. Binderlagets brudflader bliver mere jævn (fig. 13 d). Svækkelsen af de mekaniske egenskaber hænger sammen med at de enkelte sandkorn falder fra hinanden når furanbinderen nedbrydes. Det sker især når temperaturen kommer over 450 oC (fig. 4). Den afgørende styrkeformindelse kan derfor tilskrives binderens nedbrydning under opvarmning.

Til at begynde med stiger både

træk- og trykstyrke under opvarmning, men ved yderligere temperaturstigning finder en styrkeformindelse sted. TG-DTG resultater viser, at vægttabet mellem stuetemperatur og 150 oC skyldes fordamning af bindemidlets opløsningsmidler og afgivelse af binderens vand, hvilket kan medføre en midlertidig styrkeforøgelse. Tilsvarende resultater findes i undersøgelser med lerbundet og vandglasbundet formsand. I området 150 - 400 oC gør termisk nedbrydning at binderlaget brydes. En interessant iagttagelse er, at brudfladen viser en jævn overflade. (fig. 13 b-c); dette er et yderligere tegn på, at binderlaget ikke er tilstrækkelig termisk stabil til at modstå trykbelastning ved forhøjet temperatur. Ved yderligere temperaturforhøjelse fra 400 - 650 oC er alt binderlag nedbrudt, og der er ikke noget, der kan holde sandet sammen mere. Afsluttende kan siges, at sandstyrken forringes ved stigende temperatur. Tilsætning af regenereret sand medfører en styrkeforringelse i alle temperaturområder. Dette formodes ligeledes at hænge sammen binderens nedbrydning. En passende forvarmning kan give en forbedring af styrkeegenskaberne, mens høje temperaturer forårsager termisk nedbrydning af bindemidlet, hvorefter der dannes revner, der fremskynder brud af binderlaget.

4 Konklusion

I denne rapport er indflydelsen på furansands mikrostrukturelle karakteristika, mekaniske egenskaber og brudforhold ved tilsætning af regenereret sand systematisk undersøgt, og de vigtigste konklusioner er:

1. Øget andel af regenereret sand formindsker sandets mekaniske egenskaber betydeligt i alle temperaturområder. Tilsætning af 70 % og 100 % regenereret sand medfører relativ lave træk- og trykstyrker ved både stuetemperatur og forhøjet temperatur.

2. Sandet viser et varierende styrkeforløb i temperaturområdet 25 til 600 oC. Til at begynde med stiger både træk- og trykstyrke, når temperaturen øges, mens styrken forringes når temperaturen øges yderligere.
3. Ved tilsætning af 0 - 20 % regenereret sand er sandprøvernes brudflader kohæsive. Når tilsætningen øges til 35 % - 70 % bliver brudfladen af blandet karakter. Typisk adhæsive brud kan ses ved 100 % tilsætning af regenereret sand. Tilsætning af 20 % til 50 % regenereret sand viser en moderate styrke ved stuetemperatur samt højere temperaturer.

Referencer

- Ding G L, Zhang Q X, Zhou Y H. Strengthening of cold-setting resin sand by the additive method. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997, 72(2): 239–242.
- Robert A L, Michael M G. The development of hardened furan resin. *Modern Casting*, 1997, 87(10): 33–35.
- John R. Brown. *Foseco Ferrous Foundryman's Handbook* (Eleventh Edition). London: Butterworth Heinemann Publisher, 2000: 167–203.
- Fox J T, Cannon F S, Brown N R, et al. Comparison of a new, green foundry binder with conventional foundry binders. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2012, 34: 38–45.
- Siddique R, Schutter G, Noumowe A. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 2009, 23 (2): 976–980.
- Wen Z G, Li H F. Analysis of potential energy conservation and CO2 emissions reduction in China's non-ferrous metals industry from a technology perspective. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2014, 28: 45–56.
- Huisigh D, Zhang Z H, Mooreb J C, et al. Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103 (15): 1–12.
- Lazzarin R M, Noro M. Energy efficiency opportunities in the production process of cast iron foundries: An experience in Italy. *Applied Thermal Engineering*, 2015, 90(5): 509–520.
- Thollander P, Backlund S, Trianni A, et al. Beyond barriers—A case study on driving forces for improved energy efficiency in the foundry industries in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain, and Sweden. *Applied Energy*, 2013, 111: 636–643.
- Zanetti M C, Fiore S. Foundry processes: The recovery of green moulding sands for core operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 2003, 38(3): 243–254.
- Cruz N, Briens C, Berruti F. Green sand reclamation using a fluidized bed with an attrition nozzle. *Resources, Conservation and Recycling*, 2009, 54(1): 45–52.
- Sun Q Z, Xu R F, Zhao Z K, et al. Reclamation of green sand containing hot-box resin sand and its application. *Advanced Materials Research*, 2010, 97–101: 1037–1040.
- Fiore S, Zanetti M C. Industrial treatment processes for recycling of green foundry sands. *International Journal of Cast Metals Research*, 2008, 21(6): 435–438.
- Kurokawa Y, Kambayashi H, Ota H, et al. Reclamation Mechanism of Waste Green Sand Adhered with Oolitics. *Journal of Japan Foundry Engineering Society*, 1999, 71(7): 468–474.
- Zanetti M C, Fiore S. Foundry processes: The recovery of green moulding sands for core operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 2003, 38(3): 243–254.
- Manabe T, Yamamoto Y, Hoshiyama Y. Effect of using furan resin reclamation sand in evaporative pattern casting process. *Transactions of the American Foundry Society*, 2005, 113: 1029–1037.
- Kamińska J, Dańko J. Preliminary research on granulation process of dust waste from reclamation process of moulding sands with furan resin. *Archives of Foundry Engineering*, 2012, 12(3): 53–58.
- Holtzer M, Drożyński D, Bobrowski A, et al. The influence of reclaim on properties of moulding sand with furan resin. *Archives of Foundry Engineering* 2010, 10(2): 61–64.
- Guigo N, Mija A, Vincent L, et al. Eco-friendly composite resins based on renewable biomass resources: polyfurfuryl alcohol/ lignin thermosets. *European Polymer Journal*, 2010, 46(5): 1016–1023.
- Fan Z T, Huang N Y, Wang H F, et al. Dry reusing and wet reclaiming of used sodium silicate sand. *China Foundry*, 2002, 2(1): 38–43.
- Fan Z T, Huang N Y, Dong X P. In house reuse and reclamation of used foundry sands with sodium silicate binder. *International Journal of Cast Metals Research*, 2004, 17(1): 51–56.
- Stachowicz M, Granat K. Influence of melt temperature on strength parameters of cyclically activated used-up sandmixes containing water-glass, hardened with microwaves. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2015, 15(4): 831–835.
- GB/T 2684. Test methods for foundry sands and molding mixtures. State Standard of the People's Republic of China, 2009. (In Chinese)
- Abbas H H, Salih R A. Synthesis, characterization, thermal degradation and electrical conductivity of salicylidene-anthranilic acid-schiff base formaldehyde resin (R-AASA). *Chinese Journal of Polymer Science*, 2009, 27(4): 465–477.
- Guigo N, Mija A, Zavaglia R, et al. New insights on the thermal degradation pathways of neat poly (furfuryl alcohol) and poly (furfuryl alcohol)/SiO2 hybrid materials. *Polymer Degradation and Stability*, 2009, 94 (6): 908–913.
- Monti M, Hoydonckx H, Stappers F, et al. Thermal and combustion behavior of furan resin/silica nanocomposites. *European Polymer Journal*, 2015, 67: 561–569.
- Dungan R S, Reeves III J B. Pyrolysis of foundry sand resins: a determination of organic products by mass spectrometry. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2005, 40 (8): 1557–1567.
- Ren Y Y, Li Y M. Substitute materials of furfuryl alcohol in furan resin used for foundry and their technical properties. *China Foundry*, 2009, 4: 339–342.
- KAYAL S, Chakrabarti B K. Reclamation and utilization of foundry waste sand. *High Temperature Material and Sciences*, 2008, 27: 51–60.
- Wang J N, Fan Z T, Zan X L, et al. Properties of sodium silicate bonded sand hardened by microwave heating. *China Foundry*, 2009, 6 (3): 191–196.
- Loto C A, Adebayo H. Effects of variation in water content, clay fraction and sodium carbonate additions on the synthetic moulding properties of igbokoda clay and silica sand. *Applied Clay Science*, 1990, 5 (2): 165–181.
- Olasupo O A, Omotoyinbo J A. Moulding properties of a Nigerian silica-clay mixture for foundry use. *Applied Clay Science*, 2009, 45(4): 244–247.
- Stachowicz M, Granat K, Nowak D. Application of microwaves for innovative hardening of environment-friendly waterglass moulding sands used in manufacture of steel castings. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2011, 11(1): 209–219.

Rapporten er bragt i *China Foundry* Vol. 14 No. 2 March 2017 og bearbejdet af redaktionen med venlig tilladelse af *China Foundry* (www.foundryworld.com)