

En 5-trinsproces til at identificere støbefejl

Af: *Sudesh Kannan, University of Phoenix, Co Power LLC (Schaumburg, Illinois); Abhishek Pathak, CWX Textron Foundry (Muskegon, Michigan); Tom Cobett, T. Cobett and Associates (Strongsville, Ohio)*

Denne artikel omtaler, hvordan en omfattende tjekliste kan hjælpe med fejlfinding og eliminering af visse støberitekniske problemer.

En effektiv fremgangsmåde til identifikation, diagnosticering og minimering eller eliminering af kvalitetsafgørende støbefejl er en betingelse for, at et støberi kan producere med minimale omkostninger og stor effektivitet. Den kan påvise, at konventionel viden ikke altid er fyldestgørende, og at brug af utraditionelle metoder faktisk kan være den bedste måde til at løse et problem på. En effektiv fremgangsmåde kræver at tre indsatsområder overholdes:

1. Fokuser på at identificere en støbefejl på baggrund af dens udseende.
2. Vær opmærksomhed på, hvordan støberiets processer og parametre påvirker hinanden.
3. Brug konsekvente eksperimentelle designmetoder til at forstå komplekse årsager til defekter.

Støberiets personale er ofte hurtige til at identificere en støbefejl på et for løst grundlag... The International Casting Defect Atlas (jf. Gussfehler Atlas og Gjutfelsanalyse, o.a.) angiver en specifik klassifikation og kode for fejl baseret på defekternes udseende. Denne håndbog over støbefejl gør også læseren opmærksom på, at de fleste støbefejl skyldes et samspil mellem flere procesvariabler og ikke en enkelt faktor, fx støbetemperatur eller indløbssystem. Kendskab til disse forhold hjælper støberingeniøren til at kunne udføre målrettede støbeforsøg

for at afdække fejlårsagens kompleksitet. Den amerikanske støberiforenings firmamedlem CWC Textron Foundry, Muskegon i Michigan, anvendte sådanne målrettede støbeforsøg til defektkategoriisering, identifikation, årsagsbestemmelse og defektreduktion til at løse et problem med støbning af knastakslers.

Støbefejlene begyndte efter en opgradering fra manuel støbning til automatisk støbning. Automatisk støbning anses at øge sikkerheden og være mere pålidelig og effektiv sammenlignet med manuel støbning.

Imidlertid viste de første forsøg, at knastakslers fremstillet med automatisk støbning havde betydeligt højere vragprocent end manuelt støbt gods. Det var nærliggende at give støbeautomaten skylden, men andre variabler såsom støbetemperatur og transporttid kan jo også påvirke vragprocenten.

CWC Textron har fremstillet knastakslers i både grå- og SG-jern i mange årtier. Alle støbeforme fremstilles på et horisontalt automatisk vådsands højtryks kasseformanlæg. De færdige forme flyttes via et transportbånd til støbeområdet.

Den primære fremstilling af basisjernet foretages i en kupolovn, hvorefter basisjernet overføres til en varmholdingsovn. Magnesiumbehandling med MgFeSi foretages i en tundish-behandlingske. Ved manuel støbning bliver jern fra behandlingskeens fordelt i mindre støbeskeer. Podning foregår vha. formpodning (inmold proces). De primære fejlårsager ved manuel

støbning blev blot noteret som snask eller slagge.

Nu er den manuelle støbning erstattet med automatisk støbning. Støbeautomaten blev købt og installeret for at øge personalesikkerheden og gøre støbning mere ensartet fra form til form. Ved automatisk støbning bruges behandlingskeens som transportske til støbeautomaten. Støbeautomaten indeholder således betydelig mere jern end de manuelle støbeskeer. Under overgangen til automatisk støbning blev det manuelle støbeområde holdt intakt, så der fortsat kunne støbes manuelt.

Knastakslerne, der blev støbt med den nye støbeautomat havde en høj vragprocent. Støbefejlene bestod af små overfladefordybninger, der dog var dybe nok til at godset ikke kunne anvendes.

For at afhjælpe disse slagge-, pinhole- og dross-lignende fejl (fig. 1) gennemførte CWC Textron et gennemprøvet trin-for-trin forsøg.

Femtrins-processen

I det følgende gennemgås femtrins processen i detaljer for hvert procestrin. Vær opmærksom på, at hvert støberi har sine specifikke arbejdsprocesser, og derfor kan der være behov for metode- og værktøjstilpasninger, når processen indføres i andre støberier.

Trin 1 - Identificer defekten

Det er ganske almindeligt, at støberiets personale identificerer en fejl som forårsaget af for eksempel en slagge- eller sandindeslutning. Mens dette er en acceptabel metode, efter diagnosen er udført, an-

befaler International Atlas of Casting Defects, at fejl, hvor årsagen endnu ikke kendes, klassificeres ud fra udseende frem for en formodet årsag. Ved brug af fotos og beskrivelser angivet i fejlatalaset, konkluderede støberiet, at disse fejl synes at være G121 (indeslutninger) eller B123 (pinholes). Den væsentligste fordel ved dette klassifikationssystem er, at der kan være flere årsager til defekten, og at støberiet derfor kan være mere motiveret for at undersøge de forskellige årsager til defekten.

Detaljerede undersøgelser bekræftede, at fejlen skyldes dross og pinholes forårsaget af magnesiumdampe. Det er vigtigt at verificere støbefejlene gennem en detaljeret analyse, inden årsag og afhjælpningstrin igangsættes. Foruden optisk mikroskopi blev SEM (scanningselektronmikroskopi) sammen med spektroskopi anvendt (fig. 2 og 3).

Trin 2 - Eksperimentelt design

Ved manual støbning var vragprocenten meget lav, og ved automatisk støbning var vragprocenten meget høj. Det blev også observeret, at når der på samme dag og på samme tid støbtes med begge støbemetoder, og hvor både jern og formsand således måtte have samme egenskaber, så var vraget ved automatisk støbning fortsat højere. Dette kunne tyde på, at jern og formsand ikke var de primære årsager til defekten, og af denne grund blev der ikke udført forsøg med en modificeret sammensætning af hverken basisjernet eller formsandet.

I stedet for fokuserede CWC på at undersøge støbetemperaturen, støbetid, støbemetode, magnesiumbehandling og podningsmetoden (inmold ved manuel støbning og strålepodning ved automatisk støbning). Tabel 1 viser de vigtigste parametre og faktorer, der blev taget i betragtning. Detaljerede fraktionelle faktorialdesigneksperimenter blev sat i værk ud fra velkendte statistiske metoder. De fleste støbefejl er forårsaget af interaktive variabler (for eksempel en lav støbetemperatur i kombination med en specifik kemisk sammensætning af jernet)

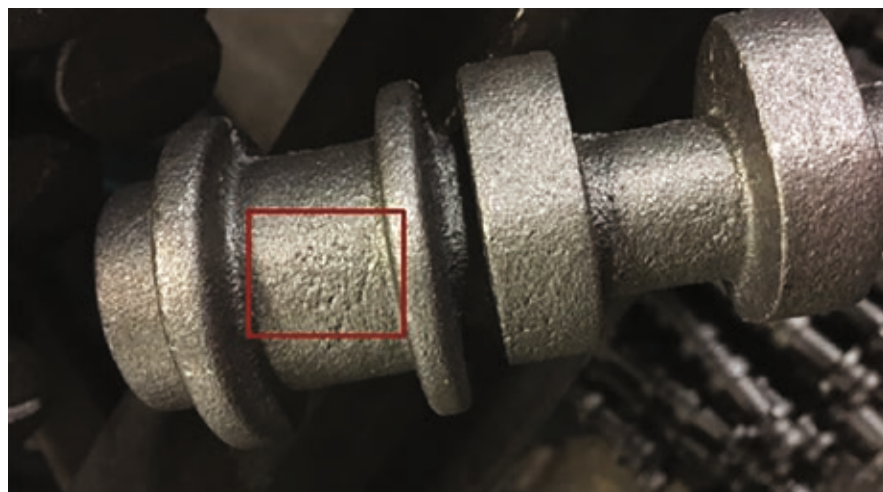


Fig. 1: Knastaksel med dross og pinholes.

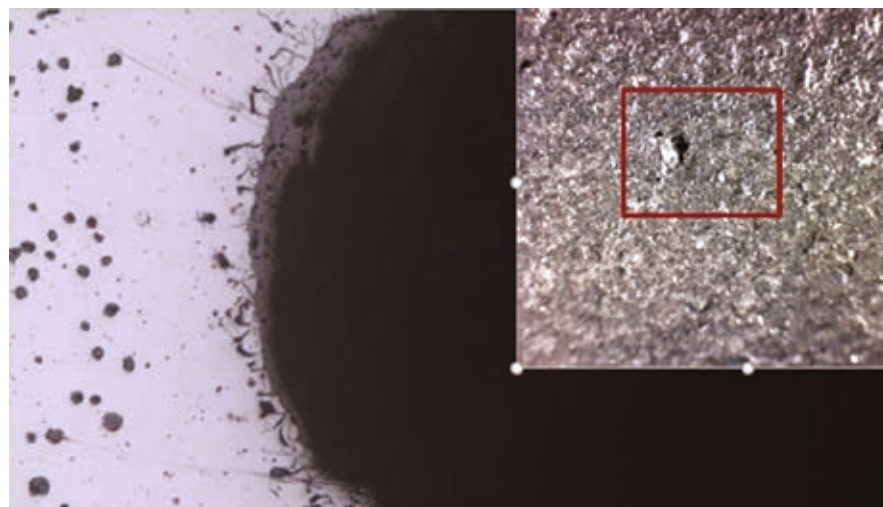


Fig. 2: Analyser af overfladefejl (pinholes) på en knastaksel.

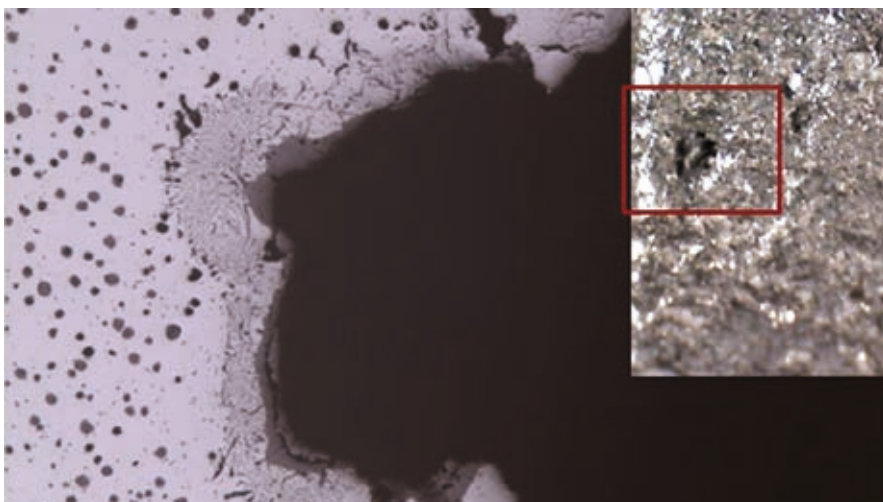


Fig. 3: Analyser af overfladefejl viser (dross og pinholes) på en knastaksel.

bination med en specifik kemisk sammensætning af jernet)

Faktorialdesign er et værktøj, der muliggør forsøgsstøbning med mange forskelligt optrædende fak-

torer samtidigt. Tre faktorer, der blev undersøgt i forsøget, var: type støbeske (almindelig og isoleret ske), temperatur (høj og lav støbetemperatur) og støbekoppen i

Tabel 1. Nøglefaktorer og variabler som grundlag for forsøgsrækken

Faktor	Manual støbeske	Støbeautomat
Jernmængde	500 kg	1800 kg
Temperaturkontrolområde	+/- 5°C	+/- 35 °C
Tid i skeen	2-3 min	12-15 min (hvoraf 7-8 min under transport)
Type skefoer	ProCast 80	ProCast 80
Type skillesten i støbeske	ProCast 80	KRICON 70
Type ildfast materiale støbetud	BluRAM 60	PHLOCAST SiC 60
Podningsmetode	Formpodning	Strålepodning
Temperaturmåling	Dyppepyrometer	Infarødprometer kamera

Nøglefaktorer, der blev betragtet i denne undersøgelse, var relateret til tiden for metaltransport og isoleringsproblemer i støbeautomaten, der resulterede i lavere støbetemperaturer

Tabel 2. Parameterkombinationer til indledende forsøg

Forsøg	Forsøgsbeskrivelse	Støbeske	Støbetemp. °C	Støbekop
Nr. 1	Reduceret støbehastighed med reduceret choker areal (1,33 sq in.), ingen trækstang, tilsætning af 4 vismuttabletter	Almindelig	1510	D cup
Nr. 2	-do-	Almindelig	1510	Offset
Nr. 3	-do-	Isoleret	1510	Offset
Nr. 4	-do-	Isoleret	1510	D cup
Nr. 5	-do-	Isoleret	1565	Offset
Nr. 6	-do-	Isoleret	1565	D cup
Nr. 7	-do-	Almindelig	1565	D cup
Nr. 8	-do-	Almindelig	1565	Offset

formen (D-formet og offset). I det pågældende tilfælde skal der udføres i alt 8 forsøg. Tabel 2. viser detaljerne af de otte forskellige forsøg med eksperimentelt design.

Trin 3 - Vurdering af indløbs- og filtreringssystemet

Når der observeres slaggeindeslutninger eller dross, er det ikke ualmindelig at støberipersonalet som første tiltag vælger at ændre indløbssystemet. Det er rigtigt, at turbulens i indløbssystemet kan være en vigtig faktor at tage i betragtning, men selve indløbssystemet er dog en af de få konstante

faktorer i støberiets multi-variable produktionsmiljø. Da indløbssystemet fungerede godt ved manuel støbning, blev der ikke foreslået større ændringer. Det blev dog bemærket, at tværsnitsarealet af stigetappen og slaggerenden var meget stort, og støbetiden var derfor afhængig af støberens evne til at holde indløbssystemet fuldt.

Det anbefales kraftigt, at der altid udføres en computersimulering af størkning og strømning for at kunne vurdere, om der kan opstå turbulente strømninger i indløbssystemet og formhulrummet. Oxidation af jern og dannelse af

indeslutninger vil sandsynligvis øges efterhånden som jernstrømmens hastighed stiger. Ved at sænke strømningshastigheden og holde indløbssystemet fuldt, kan mængden af overfladeindeslutninger reduceres.

Filtre bør helst betragtes som en "forsikringsforanstaltning" snarere end en hovedfunktion til at holde store mængder slagge og dross tilbage. Også når der anvendes filtre, skal jernet være så rent som muligt, da en utilstrækkelig afslagning af støbeskeen kan føre til filterblokeringer, der medfører langsom formfyldning og koldløbninger. Dross i støbegods skyldes ofte turbulens i indløbssystemet, og derfor anvendes filtre ofte for at give en ensartet jernstrømning og dermed forhindre turbulens.

Der er to aspekter ved valg af filterstørrelsen: Det primære aspekt er for at sikre, at filteret ikke fungerer som choker. Normalt er det en tommefingerregel, at filterets tværsnitsareal skal være mindst 4-6 gange større end indløbssystemets mindste tværsnitsareal.

Det sekundære aspekt er relateret til filterkapaciteten eller det volumen af kuglegråfitjern, som kan strømme gennem filteret før en tilstopning finder sted. Denne kapacitet er typisk omkring 1-2 kg/cm² for SG-jern men kan variere betydeligt fra støberi til støberi. Årsagen til variationerne er især 'jernets renhed', som påvirkes af visse legeringselementer, fx nikkel, og urenheder såsom slagge og uopløste tilsætningsstoffer.

Filterets porestørrelse kan klassificeres som fint, medium og stort. Til de fleste anvendelser med SG-jern foretrækkes mellemstore eller store åbninger, især når jernet ikke har optimal renhed. Filterleverandøren kan ofte levere passende filterholdere til bestemte filterpositioner og filterstørrelser.

I forbindelse med dette projekt blev filteret anset for tilstrækkeligt til den specifikke anvendelse. Filterleverandørene kan ofte give fremragende retningslinjer for anvendelse, dimensionering og placering af filtre i et indløbssystem.

Trin 4 - Præliminære forsøg

Det er vigtigt, at forsøg udføres med så få variable som muligt. Korrekte eksperimentelle designs er nødvendige for at sikre, at de interaktionseffekter opdages (for eksempel den samlede effekt af støbetid, støbetemperatur og jernets kemiske sammensætning). Støbningerne blev grupperet i temperaturgrupper, og mindst 10-20 forme blev støbt i hver gruppe. Det er vigtigt at måle og dokumentere alle variabler, der er relateret til støbningen.

Trin 5 - Produktionsprøver

Antal af produktionsprøver og produktionsdetaljer er vigtige i et kvalitetssikringsprogram. Produktionsforsøg til bilindustrien kræver typisk tusindvis af støbninger. Nogle støberier skal gen-

nemgå data fra flere produktions-skift og behandlingscharges for at sikre reproducerbarhed og pålidelighed af kvalitet. Dataregistrering omfatter støbetemperatur, støbetid, mikrostruktur, kemisk sammensætning, laboratorieprøvning relateret til mekaniske egenskaber og anden relevant information.

Såvel under de indledende forsøg som under produktionsforsøgene blev støbningen udført automatisk, mens jerntransporten var manuel (behandlet jern med gaffeltruck til støbeautomaten) og tog derfor mere tid, hvilket resulterede i et højere temperatortab end normalt. Efter gennemførelsen af 5-trinsprocessen kom man frem til følgende anbefalinger til at reducere fejlen på knastakserne:

- Forøg støbetemperaturen.
- Kontroller støbetemperaturen (ved at forbedre skeens isolering).
- Reducer magnesiumtilsætningerne.
- Øg vismuttilsætningen efter MgFeSi-behandling.
- Forbedre den automatiske støbning så der hældes i midten af støbekoppen.
- Reducer jernets hastighed og turbulens i formen.
- Betjen støbeautomaten med fuldautomatisk opfyldning.

**Artiklen er bragt i *Modern Casting* July 2016. Den er gengivet med venlig tilladelse af *American Foundry Society*.
Oversættelse:
Herbert Wolthoorn**