

Zasedání odborné komise lití pod tlakem

Mikulov 2016

ANALÝZA PŘÍČIN ÚNAVOVÝCH LOMŮ ODLITKŮ Z PODEUTEKTICKÝCH AI SLITIN

Obsah

- Příčiny vzniku únavových lomů - prasklin
- Příklady z praxe výroby odlitků – řešení únavových lomů
 - hlava válců_oblast olejový prostor – vodní plášť
 - hlava válců_oblast vodní plášť – spalovací prostor

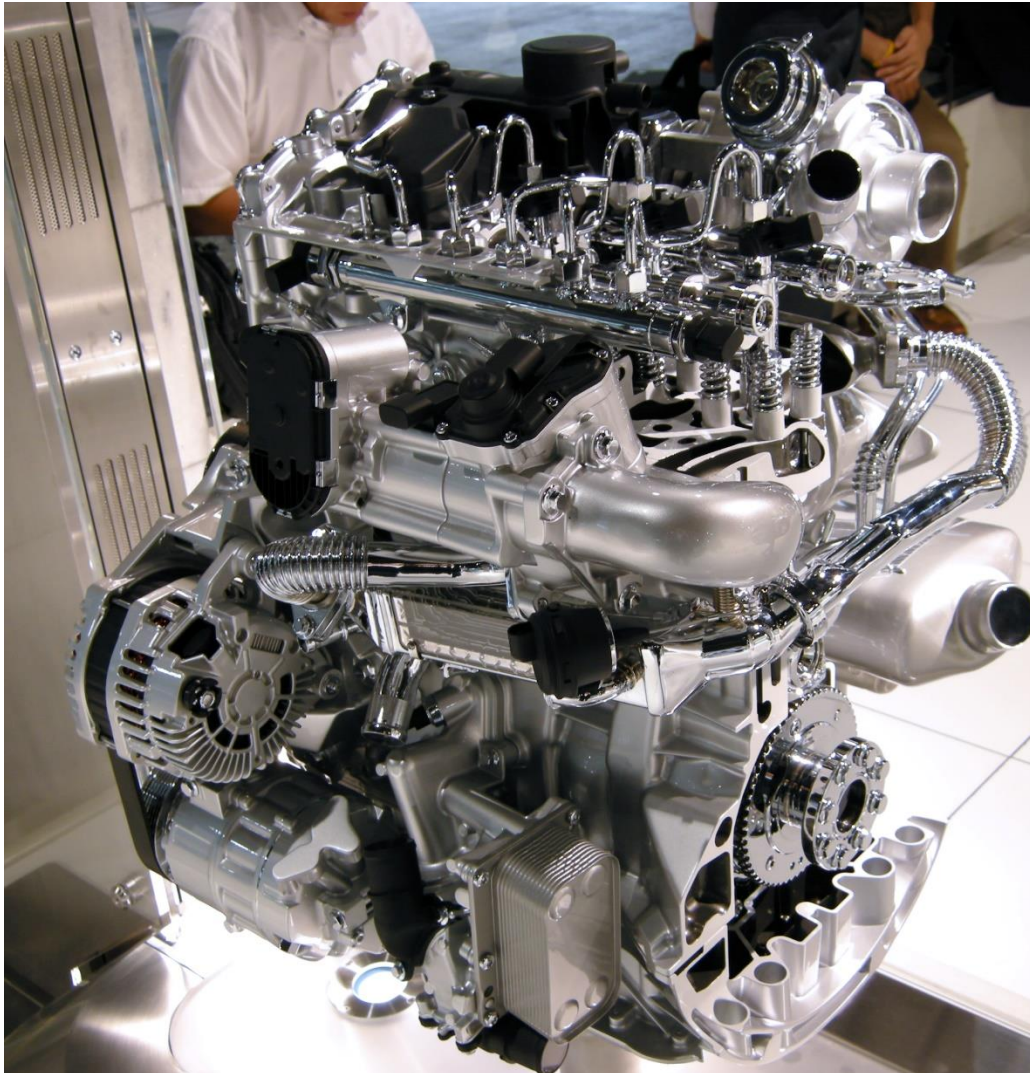
Příčiny vzniku lomů

- dendritická pórovitost
- lokální strukturní heterogenita
- naplynění taveniny
- oxidické vměstky – blány
- exogenní vměstky
- vysoké lokální napětí (včetně vlivu konstrukce)

!!! prasklina/lom Al slitiny vzniká, když současně komplexně působí

tři faktory: koncentrace napětí, struktura a metalurgické defekty

Příklad z oblasti hybné síly strojírenství (alespoň prozatím) – automobilový průmysl / spalovací motory, odlévané komponenty



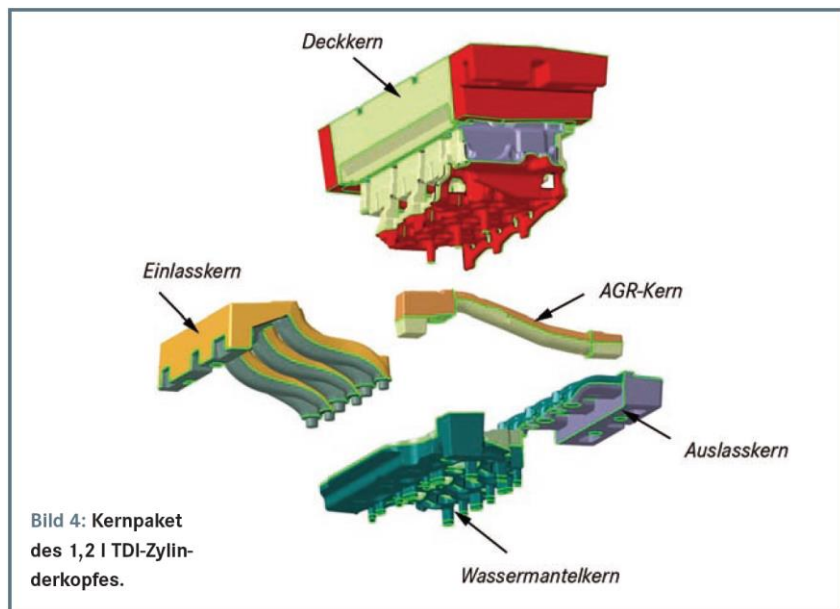
Příklad řešení destrukce odlitku při motorovém testu I

Oblast olejový prostor – vodní plášť

Ukázka komplexity hlavy válců

Paket jader pro výrobu konvenční hlavy válců

Zdroj: Gießerei 98_06/2011, str. 63



Kokila se sadou jader pro výrobu hlav válců

Zdroj: Gießerei 101_01/2014, str. 150



Poznámka: dostupné jsou technologie s dalšími jádry pro předlití:

- Olejových vysokotlakových kanálů
- Zvláště olejových přepadů
- 2-patrového vodního pláště
- Skříně turbo

Příklad hlavy válců



Foto odlitku hlavy válců
Zdroj: <http://shop.koreamotors.com/new-head-assy-cylinder-of-engine-gasoline-g4fc-euro-3-4-set-hyundai-2015-mnr-22100-g4fc-06-10-699.00.html>

Popis případu:

Odlitek hlavy válců – zážehový motor 1,6 l

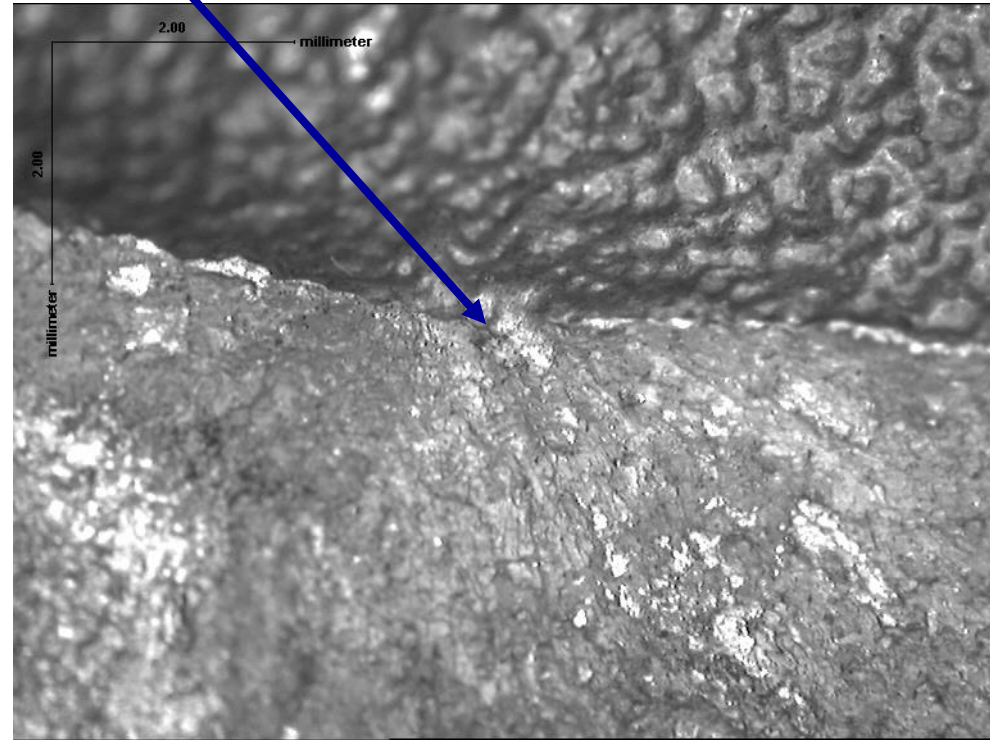
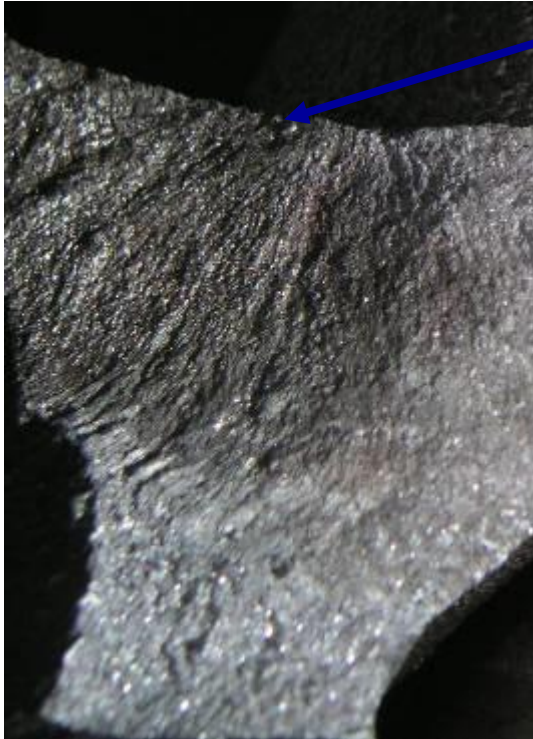
Slitina AlSi6Cu4

Gravitační odlévání do kokily s jádrem

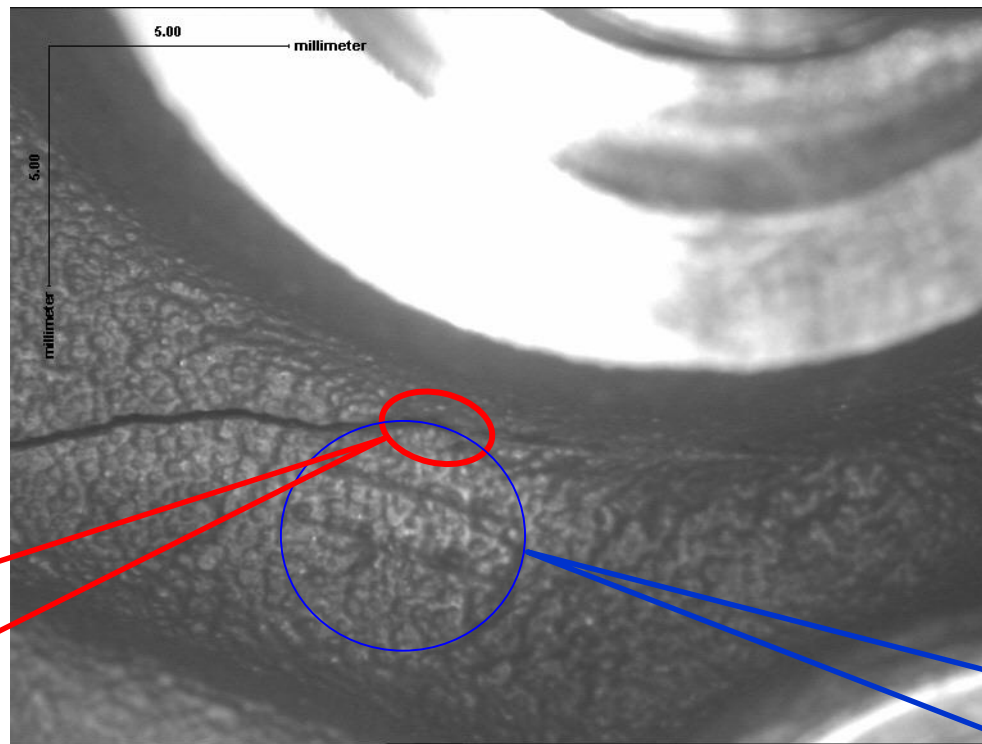
Jedna rozsáhlá prasklina mezi olejovým prostorem a vodním pláštěm

Fraktografická analýza

Oblast vzniku praskliny – typická lomová plocha identifikuje snadno kořen praskliny



Analýza oblasti kořenu praskliny



design
dílu v
oblasti
defektu –
kořen
praskliny

„otisk“
odsávacího
sítka
jaderníku

Analýza a určení kořenové příčiny tvorby praskliny

- V oblasti vzniku praskliny se nenacházejí materiálové vady jako oxidické vměstky nebo porozita
- Prasklina vznikla v oblasti otisku sítky jaderníku (sítky se v jaderníku volí z ohledem na vyrobiteľnosť jader)
- Konštrukce dílu umožňuje lokálnú koncentraciu napätí
- Tvar jadra – tzv. nos, lokálne prehrieva oblasť odlitku, čo spôsobuje hrubozrnnú štruktúru materiálu
- Kombinace koncentrovaného napätí, vrubového účinku otisku sítky na povrchu stěny odlitku a hrubozrnné štruktúry a tým nižší pevností materiálu jsou příčiny tvorby praskliny při motorovém testu odlitku hlavy válců

Okamžité nápravné opatření ve výrobě:

odstranění efektu vrubu

- Nátěr jader do doby úpravy jaderníku – telurový nátěr nejenom zahltí povrchové nerovnosti, ale rovněž ovlivní lokálně strukturu materiálu Al-slitiny

Robustní nápravné opatření ve výrobě:

konstrukční změna na nářadí

- Úprava ocelového jaderníku – vylití tvaru odolnou pryskyřicí
- Výroba nového nářadí

Poznámka: podmínkou úspěchu v tomto případě a při většině obdobných situací (týká se i řešení materiálových vad) je nutná součinnost konstruktéra dílu !

Příklad řešení destrukce odlitku při motorovém testu II

Odlitek hlavy válců – diesel 2,0 l

Slitina AlSi9Cu1

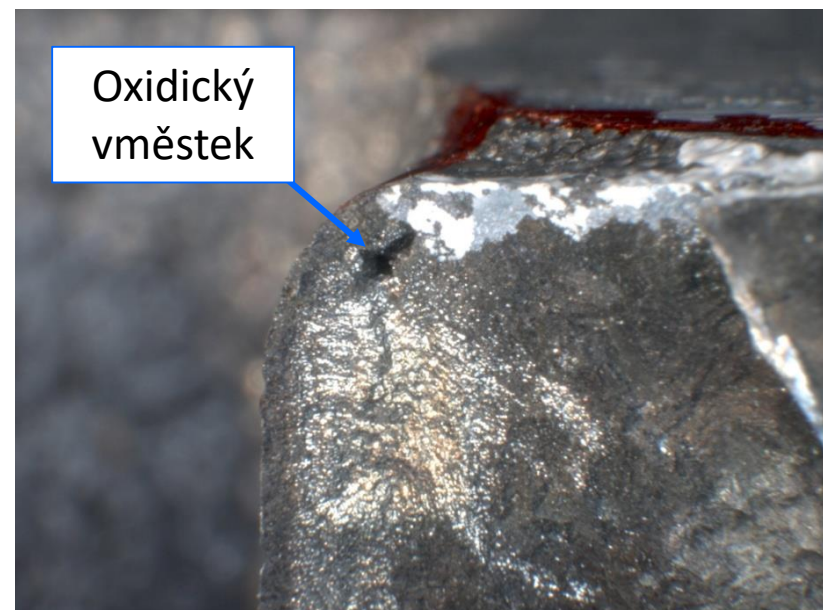
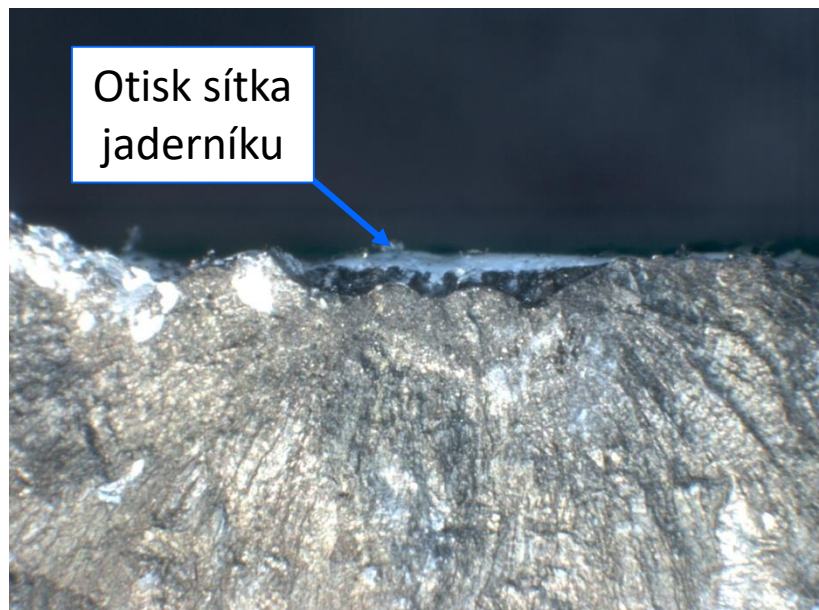
Gravitační odlévání do kokily s jádry

2 typy testů u zákazníka – simulace celé životnosti a error test

Vybraný případ: Praskliny na 7 místech mezi spalovacím prostorem (výfukovými kanály) a vodním pláštěm



Analýza lomových ploch



Zákazníkem dodaná zpráva - fakta

- Destrukce stěn odlitku na 7 místech - komplexní selhání dílu
- Hodnoty tvrdosti v tepelně významně ovlivněné zóně spalovacích komor a v méně ovlivněné oblasti
- Lom se ve všech případech šíří směrem od vodního pláště
- Všechny praskliny mají vertikální projev
- Téměř všechny praskliny probíhají napříč celou stěnou odlitku
- Nejmasívnější destrukce se projevila v místě označeném 2
- Praskliny 1 a 7 jsou shodné výskytem
- Praskliny 2 až 6 jsou shodné výskytem
- Prasklina v oblasti 1 se šíří od povrchu vodního pláště s otiskem stopy po odvzdušňovacím sítku v jaderníku
- Lomová plocha praskliny v oblasti 3 vykazuje interní slévárenský defekt, který nelze z foto jednoznačně identifikovat

Diskuse

- Doporučujeme provést fraktografickou analýzu lomových ploch na REM s plošnou EDX analýzou.
- Lom vzniká vždy v vodním plášti - tvarový faktor, malé rádiusy (výpočet napěťového pole nemá slévárna k dispozici)
- Je pozoruhodné, že nevznikly trhliny typu oblasti 1 a 7 i na 2. a 3. válci. Na 2. a 3. válci vznikly napěťové špičky dříve v jiných oblastech.
- V oblastech 4 a 6 je signifikantní vliv struktury - konstrukce odlitku
- Jestliže vznikla prasklina i v oblasti 5, tak není příčinou prasklin v oblastech stejného designu vnitřní slévárenská vada jako v oblasti 3.
- Všechny praskliny vertikální - root cause (kořenová příčina) není dána dělicí rovinou jaderníku
- Vhodná slitina?
- Je pokles tvrdosti až o 30 HB v provozu dílu standardní?
- Proč se odlitek při zátěži chová jinak na krajních válcích než na 2. a 3. válci?

Analýza reklamovaného dílu – další postup

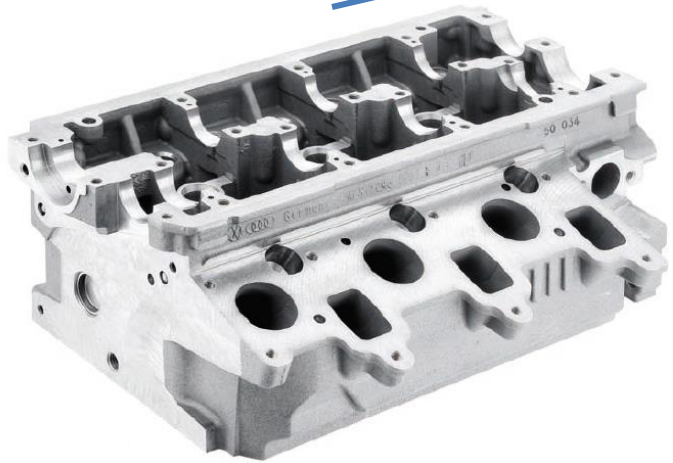
Reklamaci nelze řešit zodpovědně bez dodání reklamovaného dílu

- Interní fraktografické vizuální analýzy neobjevily zásadní nové poznatky
- Metalografické analýzy identifikovaly defekty větší než 0,5mm – tj. zákazníkem definovaná max. přípustná velikost defektu (klíčový parametr a cíl experimentů)
- Úlohu nelze řešit počítačovou simulací – jde o technologické ladění řady procesních parametrů
- V dalším postupu se nadále důsledně držet metodiky DMAIC (Define, Measure, Analyse, Implement, Control)
- Využít metodiku DOE (Design of Experiment) pro snížení počtu experimentů
- Experimenty metalograficky hodnotit na vybrané reprezentativní oblasti odlitku

Experimentální práce – volba parametrů

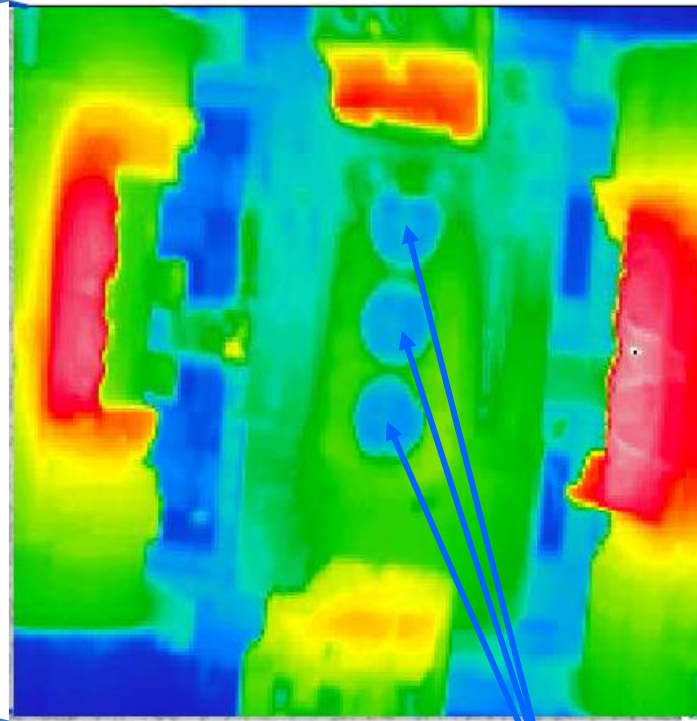
- Nejnižší **teplota formy** (po 15 min chlazení základové desky vodou a přerušení cyklu na 25 min/reálné podmínky při přechodu směn)
- Nejnižší **teplota taveniny** (nízká teplota v udržovací peci v kombinaci s delším časem výdrže taveniny v dávkovací lžíci)
- Nejvyšší teplota taveniny a formy (nastavit limity a vysoké tempo výroby)
- **Modifikace** stronciem (rozpětí 130 – 250 ppm Sr)
- **Odplynění (dusík)** - **stav zařízení a doba zkrácena na polovinu** (standard 12 min)
- **Voda** v nástřiku k ošetření líce kokily (forma „šlichtovaná“ velmi intenzívně – riziko vypařování vody do taveniny při plnění formy)
- **Pojivo** (snížení obsahu pryskyřice); z 1,5 na 1,4%
- Výroba jader s 3% **prašných podílů**

Příklad teplotního pole formy



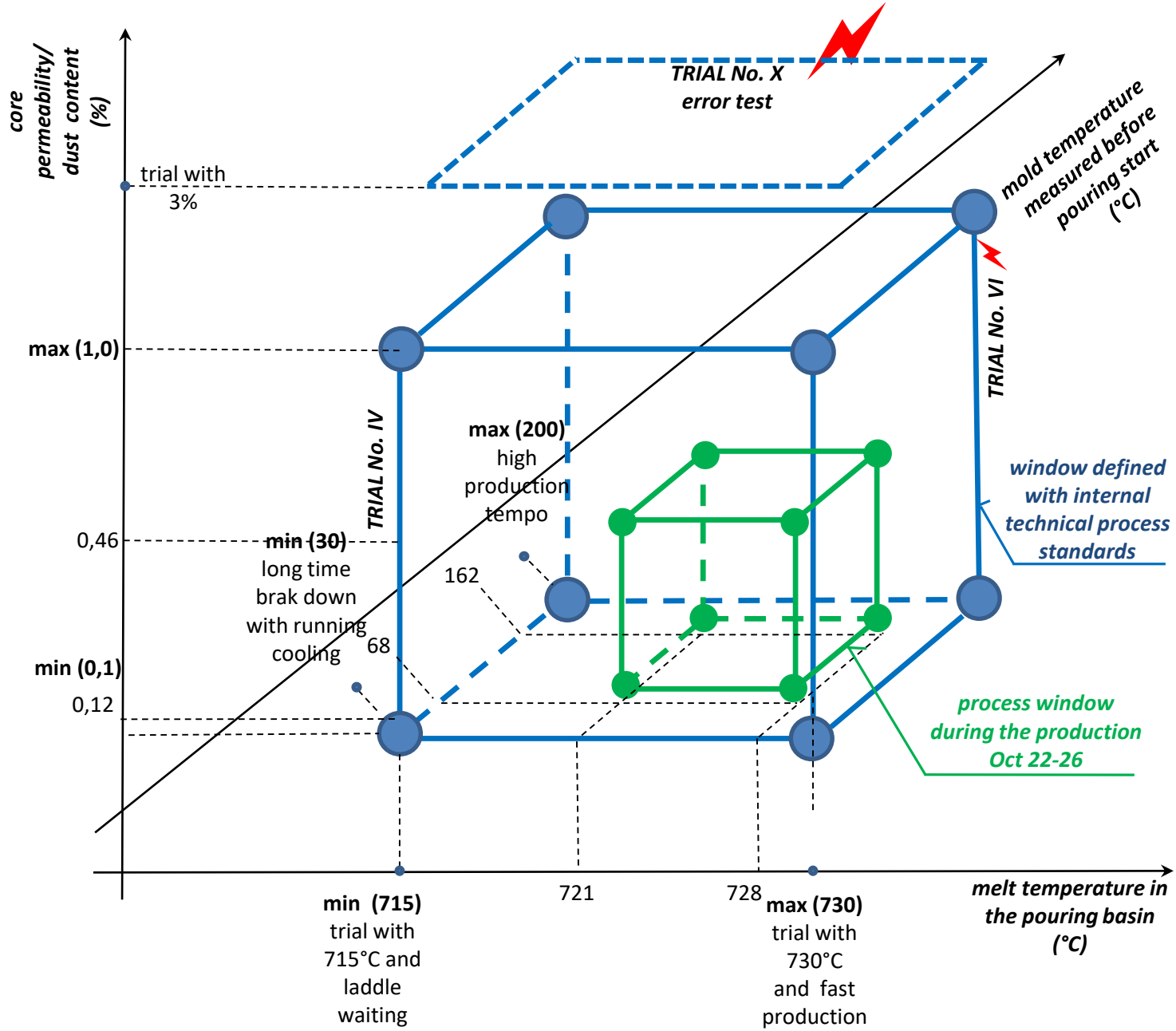
3-válcová dieselová hlava válců

Zdroj: Gießerei 98_06/2011, str. 63



Obzvláště dieselové hlavy je nutné vyrábět s sofistikovaným chlazením „kalot“ předlévajících spalovací komoru odlitku – rychlost tuhnutí se validuje hodnotou S-DAS

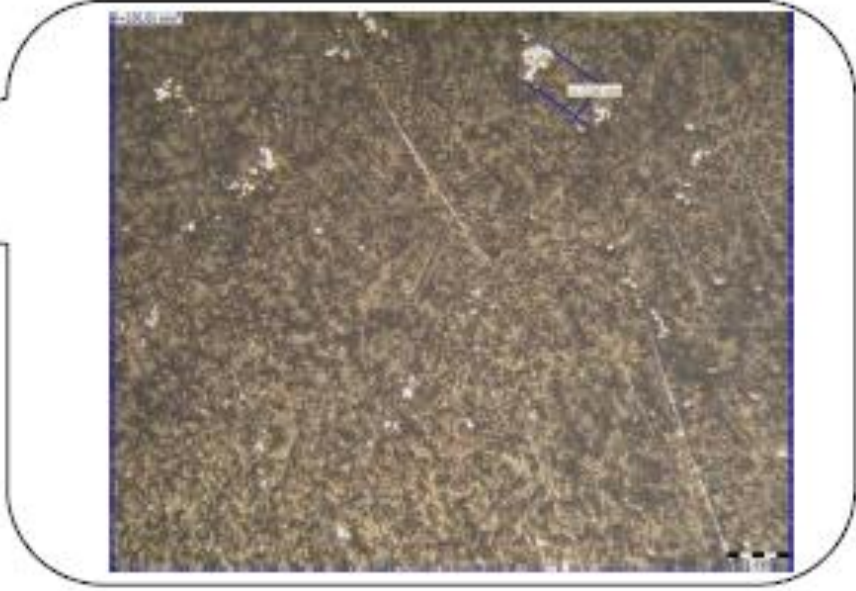
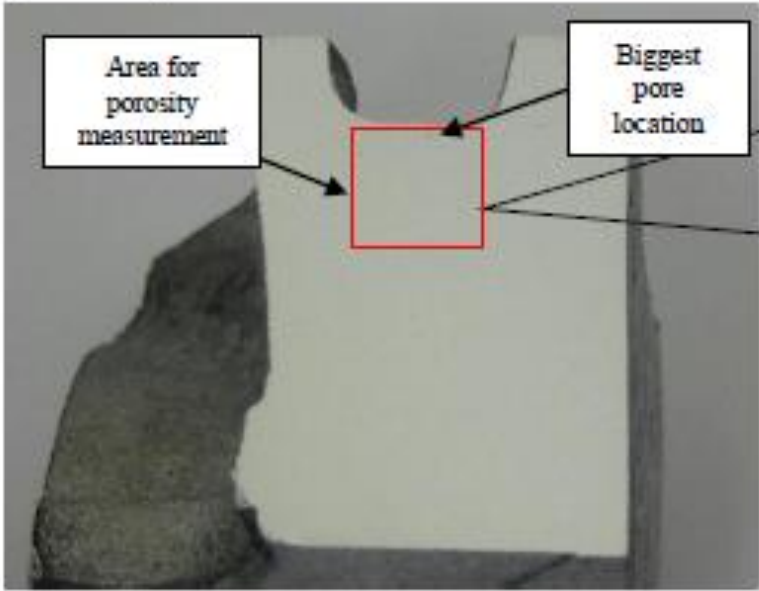
Experimentální práce – procesní okno



Experimentální práce – hodnocení metalografického výbrusu

A1_A

Sample_A1



Experimentální práce – hodnocení

- NOK díl z motorového testu byl vyrobený studeným procesem – měření S-DAS
- NOK díl z motorového testu byl ovlivněný procesním faktorem podporujícím vznik materiálových vad
- Materiálové vady jsou kombinací mikrostaženin, vývoje vodíkových mikrobublin a vývoje plynů jader
- Se všemi „testy s teplotou“ bylo možné vyrobit strukturu s rozpětím S-DAS 3 μm . Bylo očekáváno 6 μm (19 ÷ 25 μm)
- Jasný vliv na mikroporozitu z plynů byl identifikován při error testu s NOK ošetřením líce kokily nástřikem
- Test s vysokou teplotou taveniny a rychlým taktem výroby vyprodukoval největší materiálové vady
- Pouze test s vysokými prachovými podíly ostřiva identifikoval signifikantní makrodefekty (nad limit 0,4÷0,5 mm, ve skutečnosti přes 1 mm)

Závěr

Přestože šlo z pouhých 20 experimentů určit správný směr a prakticky uspokojit zákazníka, šlo v konkrétním případě o několikaměsíční *projekt* a lze vyvodit:

- Problémy s NOK mechanickými vlastnostmi a defekty typu trhлина/prasklina jsou nejcitlivější slévárenské vady vůbec
- Podobné reklamace se musí řešit jako projekt, tj. jedna zodpovědná osoba jak komunikuje s zákazníkem, tak i koordinuje všechny interní aktivity
- Komunikace s zákazníkem musí být věcná a je nutná maximální odborná zdatnost; rychlé reakce na dotazy a připomínky jsou velmi oceňovány
- Při řešení využijeme DMAIC, přičemž v fázích Definuj a Měř je nutné dobře pochopit příčiny vady – neřešíme praskliny a všechny možné příčiny, ale v tomto případě jsme vyráběli odlitky, které na malé zákazníkem odsouhlasené kontrolní ploše musely vykazovat materiálové vady do velikosti 0,5 mm
- Spolupracujme s UNI a výzkumně-vývojovými institucemi, které jsou výborně laboratorně vybavené a mohou podpořit materiálové či fraktografické analýzy
- Uvedené technické detaily jsou nepřenositelné na řešení jiných problémů

Věci se nemění, jen vy se na ně díváte jinak :-)

Děkuji za pozornost