

Recenzované výzkumné články

Zlepšení vnitřní jakosti kovárenského ingotu úpravou skladby hlavové části kokilové sestavy

Improvement of the Internal Quality of the Forging Ingot by Adjusting the Structure of the Head Part of the Ingot Mold Assembly

Ing. Vladislav Kurka, Ph.D.; Ing. Jaroslav Pindor, Ph.D.; Ing. Jana Kosňovská

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Regionální materiálově technologické výzkumné centrum, Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Prezentovaná práce obsahuje návrh, numerickou simulaci a následně provozní ověření nového typu hlavového nástavce kokilové sestavy osmihranného polygonálního kovárenského ingotu o hmotnosti 1650 kg, typu V2A. Nový hlavový nástavec úpravou skladby materiálů a jinou konstrukcí zajišťuje přísun tekutého kovu během tuhnutí a také výrazně snižuje porozitu uvnitř ingotu. Snižování porozity ingotu zvyšuje výtěžnost kovu z ingotu a zlepšuje se vnitřní homogenita odlévaného ingotu.

Klíčová slova: ocel; ingot; odlévání; homogenita; makrostruktura

The presented work includes design, numerical simulation and subsequent verification of the new ingot head part of the ingot mold assembly of the forging octagon polygon ingot weighing 1650 kg, type V2A. The new head part with new material composition and new design ensures the flow of liquid metal from the head to the ingot during solidification and it also greatly reduces the porosity inside the ingot. The porosity reduction in the ingot increases the metal yield from the ingot, improving the internal homogeneity of the cast ingot. In the numerical software Magma 5, the design and verification of a new head part of ingot mold assembly was designed and verified. Subsequently the head part was manufactured in the company MMV and it was verified by experimental melting. Macrostructure analysis of the cast ingot showed porosity reduction compared to the ingot with the original head part. The newly designed head part solves the main drawbacks of the original head part and it allows casting of steels with a lower incidence of internal defects. This new head with a new exothermic insulation ensures sufficient flow of liquid metal into the ingot during solidification. This greatly eliminates the formation of porosity in the body of the ingot.

Key words: steel; ingot; casting, homogeneity; macrostructure

Ve společnosti MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. (dále jen MMV) bylo zjištěno, že původní hlavový nástavec pro kokilové sestavy V2A je nedostatečný. Kokilová sestava V2A slouží pro odlévání osmihranného polygonálního kovárenského ingotu o hmotnosti 1650 kg. Odlévané legované oceli vykazují vysokou míru porozity a segregaci prvků [1]. Provedené rozborů makrostruktur ukázaly, že během tuhnutí dochází na rozhraní hlavového nástavce a těla ingotu k rychlému utužení taveniny a tím ke znemožnění

dosazování tekutého kovu z hlavového nástavce do těla ingotu (obr. 1). Makrostrukturní rozbor byl proveden u oceli modifikované molybdenem, označované 14209Mo. Její chemické složení udává tab. 1. Původní hlavový nástavec svou konstrukcí a skladbou materiálů zabraňoval porozitě stažením a necelistvostí vznikajícím v ingotu během tuhnutí v transportu do hlavové části ingotu. Docházelo k uzavření těchto vad v těle ingotu.

Tab. 1 Chemické složení taveniny oceli označované 14209Mo (hm. %)

Tab. 1 The chemical composition of the molten steel quality 14209Mo (wt. %)

14209Mo	Chemické složení									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	P	S	Al
Tavenina v lici pánvi	1,00	0,44	0,99	1,53	1,24	0,035	0,08	0,018	0,009	0,018



Obr. 1 Makrostrukturní rozbor ingotu typu V2A, značky 14209Mo
Fig. 1 Analysis of macrostructure of the Ingot Type V2A, grade 14209Mo

1. Numerická simulace a poloprovozní ověření nového hlavového nástavce

V návaznosti na výše uvedená zjištění se přistoupilo k posouzení upravené skladby hlavového nástavce pomocí numerického software pro odlévání a tuhnutí označovaného Magma 5. V Magma 5 bylo modelováno chování oceli značky 100CrMo6-12 při odlévání do kokilové sestavy V2A. Numerická simulace se provedla pro více typů hlavových nástavců. Ocel 100CrMo6-12 se zvolila jakožto zástupce ocelí s prvky, jež mají tendence k segregacím. Její chemické složení je uvedeno v tab. 2. Dále byly zvoleny vstupní metalurgické parametry odlévání, jež jsou shodné s podmínkami, při kterých se tato ocel v MMV odlévá.

Vstupní parametry numerické simulace

- Teplota lití 1551 °C.
- Teplota likvidu 1440 °C.
- Teplota solidu 1284 °C.
- Doba lití:
 - o tělo 330 s,
 - o hlavový nástavec 91 s,
 - o celkem 421 s.

Tab. 2 Chemické složení taveniny oceli, značky 100CrMo6-12 (hm. %)

Tab. 2 Chemical composition of the molten steel grade 100CrMo6-12 (wt. %)

100CrMo6-12	Chemické složení									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	P	S	Al
Tavenina oceli	1,0	0,5	1,0	1,5	1,25	0,2	0,2	0,02	0,02	0,0

Pro nalezení vhodné skladby hlavového nástavce bylo provedeno velké množství numerických simulací. Z tohoto množství jsou níže uvedeny vybrané tzv.

okrajové typy, stávající i nový typ hlavového nástavce, které byly použity pro numerickou simulaci odlévání a tuhnutí ingotu:

- Verze 1 – Původní hlavový nástavec s izolací hlavové části ingotu, která je odsazena 50 mm nad tělem ingotu; jedná se o tzv. klasické uložení (obr. 2).
- Verze 2 – Zvětšený průměr hlavového nástavce s exotermickým obložení hlavové části ingotu, které je odsazeno 50mm nad tělem ingotu; leží na vnitřní obrubě hlavového nástavce – klasické uložení (obr. 3).
- Verze 3 – Nový hlavový nástavec, zvětšený průměr hlavového nástavce s exotermickým obložení hlavy, které zasahuje až k tělu ingotu, a mezi exotermickým obložení a kovovou konstrukcí hlavového nástavce je umístěn CT písek (obr. 4).
- Verze 4 – Extrémně velký hlavový nástavec s průměrem shodným s průměrem ingotu, tzv. testování hranic (obr. 5).

Pro první hodnocení bylo vybráno pořadí verzí 1, 2, 3 a 4, a to od klasické izolace, přes exotermické obložení, navržený nový hlavový nástavec až po extrémně velký (nereálný) hlavový nástavec, který je záměrně vložen na konec pořadí. Extrémně velký hlavový nástavec byl zvolen pouze pro porovnání výsledků různých režimů odlévání oceli.

Vliv změny typu izolace hlavového nástavce (z izolace na exotermické obložení) a velikosti hlavového nástavce na hodnoty Niyamova kritéria byl velmi nevýrazný (obr. 6). Naopak při hodnocení celkové porozity ingotu je zřejmé, že exotermické obložení má velký vliv na snížení porozity u verze 2 a největší při jeho umístění přímo na tělo ingotu u verze 3 a 4 (obr. 7). To potvrzuje také hodnocení podle mikroporozity na obr. 8 a tepelného uzlu na obr. 9.

Z tab. 3 je patrné, že změna izolace verze 1 na exotermické obložení verze 2 prodloužila celkovou dobu tuhnutí ingotu o cca 15 min a hlavového nástavce o 9 min. Posazením exotermického obložení na tělo ingotu verze 3 se, oproti původní izolaci verze 1, prodloužila celková doba tuhnutí ingotu o 28 min a hlavového nástavce o 11 min.

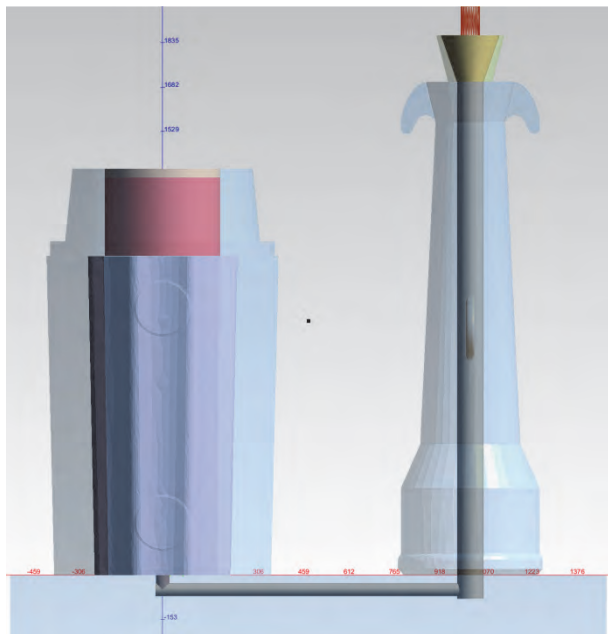
Volba teploty odlévání

Pro ucelené zakončení numerických simulací byly u nového hlavového nástavce v software Magma provedeny numerické simulace tuhnutí a odlévání oceli 100CrMo6-12 s cílem vybrat nejvhodnější teplotu odlévání z rozsahu teplot od 1445 do 1555 °C, s krokem 10 °C. Při hodnocení vlivu teploty odlévání na redukci tepelného uzlu, mikroporozity a porozity, vyplynulo, že vzhledem k odlévacím možnostem ve společnosti MMV je nejvhodnější odlévat tento materiál při teplotě 1535 °C.

Tab. 3 Celkové doby tuhnutí ingotu, doba tuhnutí těla a doba tuhnutí hlavového nástavce po utuhnutí těla ingotu (min)

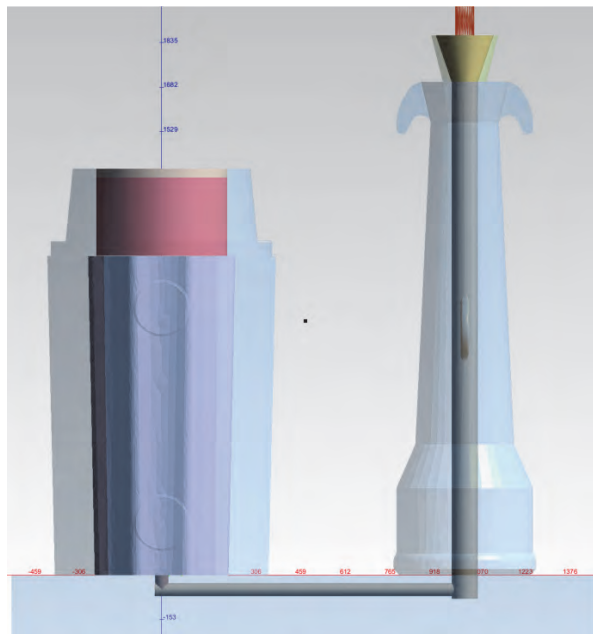
Tab. 3 Total time of ingot solidification, time of body solidification and time of head solidification after solidification of the ingot body (min)

Verze hlavového nástavce	Tělo	Hlava po utuhnutí těla	Celkem
Verze 1 – Původní hlavový nástavec	63	31	94
Verze 2 – Zvětšený hlavový nástavec s extermickým obložení končícím 50 mm nad tělem	69	40	109
Verze 3 – Nový hlavový nástavec s extermickým obložení ležícím na těle ingotu	80	42	122
Verze 4 – Hlavový nástavec na největší průměr ingotu (extrémní test)	93	58	151



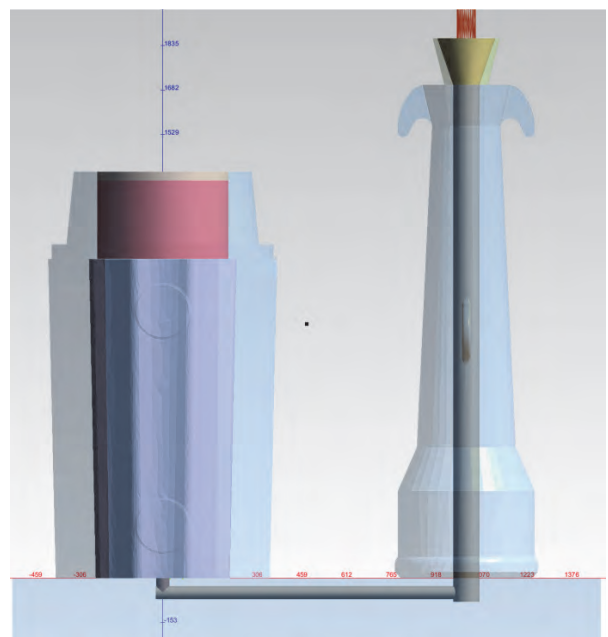
Obr. 2 Magma 5 – kokilová sestava V2A s původním hlavovým nástavcem, verze 1

Fig. 2 Magma 5 – ingot mold assembly V2A, with original head part, version 1



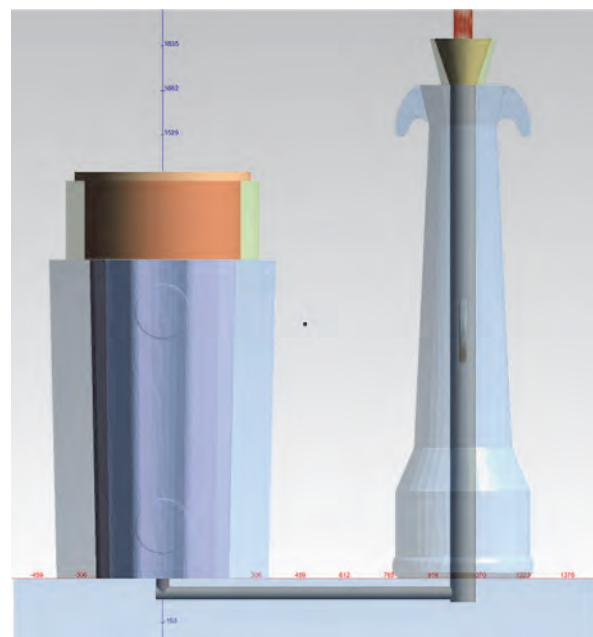
Obr. 4 Magma 5 – kokilová sestava V2A s novým hlavovým nástavcem a extermickým obložení, verze 3

Fig. 4 Magma 5 – ingot mold assembly V2A, with new head and exothermic insulation, version 3



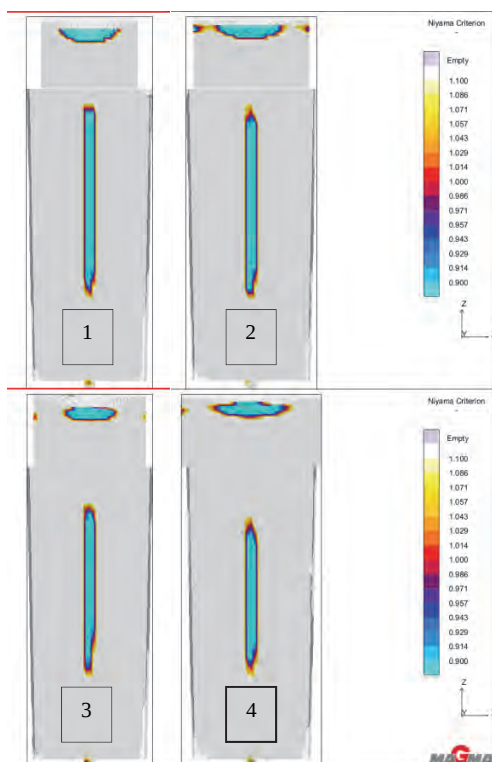
Obr. 3 Magma 5 – kokilová sestava V2A s hlavovým nástavcem s extermickým obložení, verze 2

Fig. 3 Magma 5 – ingot mold assembly V2A, with exothermic insulation, version 2

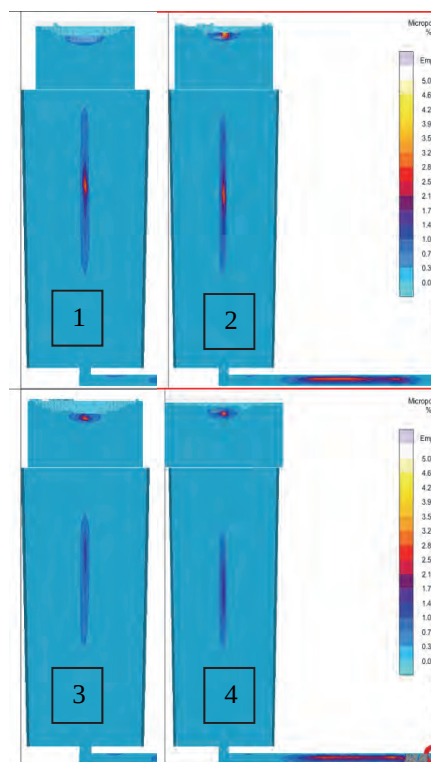


Obr. 5 Magma 5 – kokilová sestava V2A s extrémně velkým hlavovým nástavcem a extermickým obložení, verze 4

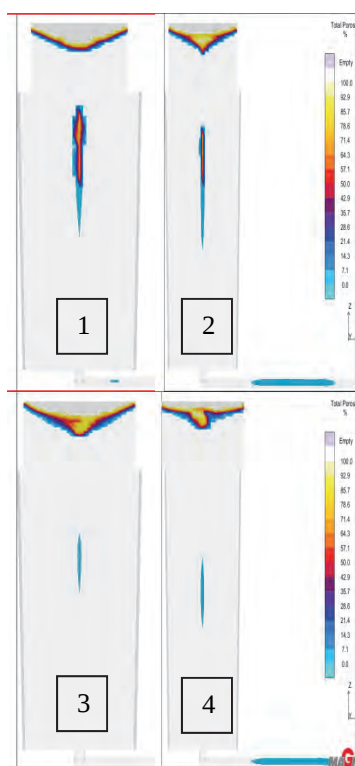
Fig. 5 Magma 5 – ingot mold assembly V2A, with extremely large head part and exothermic insulation, version 4



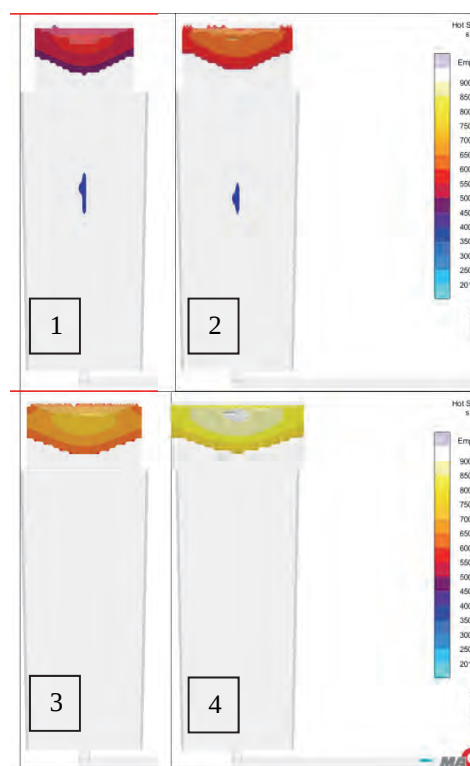
Obr. 6 Niyamovo kritérium verze 1, 2, 3 a 4, rozsah 0,9 – 1,1
Fig. 6 Niyama criterion versions 1, 2, 3 and 4, range of 0.9 – 1.1



Obr. 8 Mikroporozita verze 1, 2, 3 a 4, rozsah 0 – 5 %
Fig. 8 Microporosity versions 1, 2, 3 and 4, range of 0 – 5 %



Obr. 7 Celková porozita verze 1, 2, 3 a 4, rozsah 0 – 100 %
Fig. 7 Total porosity versions 1, 2, 3 and 4, range of 0 – 100 %



Obr. 9 Tepelný uzel verze 1, 2, 3 a 4, rozsah 2010 – 9000 s
Fig. 9 Hot spot versions 1, 2, 3 and 4, range of 2,010 – 9,000 s

2. Experimentální ověření nového hlavového nástavce

Navržený nový hlavový nástavec, modelovaný v software Magma 5, byl následně ve společnosti MMV vyroben pro kokilovou sestavu V2A. Nový hlavový nástavec byl podroben ověření během výroby ingotu typu V2A z oceli 14MoV6-3 s chemickým složením uvedeným v tab. 4. Toto chemické složení taveniny sice obsahuje menší podíl prvků, jež mají tendenci k segregacím, ale v rámci postupného ověřování pozitivních účinků změny hlavového nástavce se očekával pozitivní dopad na snížení vnitřní nehomogenity. Ingot byl po odlití stripován, dochlazen na vzduchu a v osové části po celé výšce rozříznut. Takto rozříznutý ingot byl podroben metalografickému rozboru. Na snímku jeho makrostruktury na obr. 10 je jasně patrné, že došlo k razantnímu snížení porozity tohoto ingotu oproti ingotu odlévanému do klasického hlavového nástavce znázorněného na obr. 1.

Tab. 4 Chemické složení taveniny oceli 14MoV6-3 (hm. %)

Tab. 4 Chemical composition of the molten steel 14MoV6-3 (wt. %)

14MoV6-3	Chemické složení									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	P	S	Al
Tavenina v lici pánvi	0,15	0,27	0,5	0,57	0,54	0,03	0,03	0,012	0,004	0,019

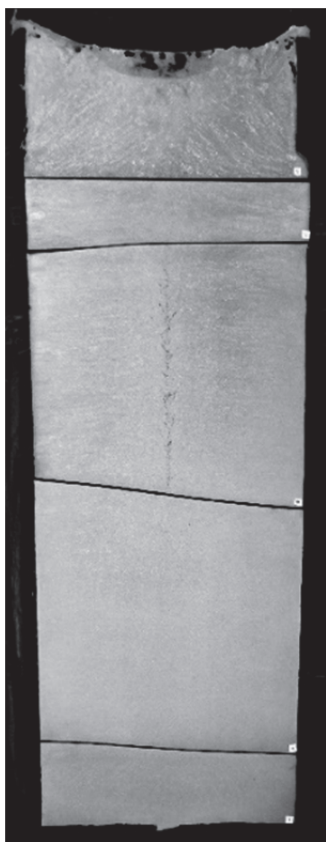


Fig. 10 Makrostrukturní rozbor ingotu typu V2A s novým hlavovým nástavcem, ocel 14MoV6-3

Fig. 10 Analysis of macrostructure of the ingot type V2A with new head extension, steel 14MoV6-3

Závěr

V numerickém software Magma 5 byly modelovány účinky několika konfigurací nového hlavového nástavce pro kokilovou sestavu kovárenského polygonálního ingotu typu V2A s hmotností 1650 kg. Takto navržený hlavový nástavec byl ve společnosti MMV vyroben a následně ověřen na experimentální tavně. Makrostrukturní rozbor odlitého ingotu prokázal snížení vnitřní porozity oproti ingotu s původním hlavovým nástavcem.

Nově navržený hlavový nástavec řeší hlavní vady klasického hlavového nástavce a dovoluje odlévat kvalitnější materiály s nižším výskytem vnitřních nečistot. Nová, rovná a objemově větší hlava, s novým exotermickým obložním zabezpečuje dostatečný přísun tekutého kovu do těla ingotu po celou dobu jeho krystalizace. Tímto je výrazně snížen vznik porozity v těle ingotu.

Poděkování

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] PINDOR, J., KURKA, V., KOSŇOVSKÁ, J., ŠTEFANIŠINOVÁ, Š., SOCHA, L., PYSZKO, R. Effect of Cooling of the Ingot on its Macro-structural and Chemical Heterogeneity. *Hutnické listy*, 70 (2017) 3, 47–57. ISSN 0018-8069.
- [2] ŠMRHA, L. *Tuhnutí a krystalizace ocelových ingotů*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 308 s.
- [3] CHVOJKA, J. *Vady ingotů*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1968, 256 s.