

Jaderná energie Jadrová energia

Základní úlohou časopisu „Jaderná energie/Jadrová energia“ je přispívat k úrovni kultury jaderné bezpečnosti. Časopis je psaný v českém a slovenském jazyce, vědecké a odborné články, abstrakty a anotace též v anglickém jazyce. Časopis vychází čtyřikrát ročně nákladem 400 výtisků a v elektronické podobě, která je volně dostupná na adrese jadernaenergie.online

OBSAH ČASOPISU JE ZAMĚŘEN NA:

- jadernou bezpečnost a radiační ochranu s důrazem na ochranu životního prostředí, zdraví profesionálních pracovníků a obyvatelstva,
- výzkum, vývoj a nové technologie,
- provoz a výstavbu jaderných elektráren,
- zpracování a ukládání radioaktivních odpadů,
- aplikace radioizotopů a ionizujícího záření,
- aktuální informace z dozorných orgánů,
- vzdělávání a rozvoj know-how.

Vydavatel:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec
Česká republika
IČO: 26722445

Úrad jadrového dozoru SR
Bajkalská 27
P.O.Box 24
820 07 Bratislava
Slovenská republika
IČO: 30844185

Redakční rada:

Ing. Aleš John, MBA – předseda
Ing. Daneš Burket, Ph.D., doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D., Ing. Jiří Duspiva, PhDr. Tomáš Ehler, MBA,
Ing. Miroslav Hrehor, Ing. Jiří Hůlka, prof. Ing. Jan John, CSc., Ing. František Pazdera, CSc.,
Ing. Alena Rosáková, prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc., Mgr. Petr Šuleř, Ing. Radek Trtílek,
Ing. Zdeněk Típek, Mgr. Miriam Vachová, Mgr. Ilona Vysoudilová, RNDr. Marek Vyšinka, Ph.D.,
RNDr. Vladimír Wagner, CSc., Ing. Jan Zdebor, CSc.

Grafika, sazba, jazykové korektury a tisk:

TOP Partners, s.r.o.
Classic 7 Business Park
Jankovcova 49
170 00 Praha 7
Česká republika

Redakce:

Michal Šafránek – šéfredaktor
redakce@jadernaenergie.online
+420 775 374 384
Mgr. Tereza Smékalová, Ing. Jiří Kuf,
Ing. Jan Procházka, Jan Trejbal.

Adresa redakce:

Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Hlavní 130, Řež
250 68 Husinec
Česká republika

Registrace MK ČR

Časopis Jaderná energie/Jadrová energia
byl zapsán do evidence periodického tisku
Ministerstva kultury České republiky a bylo
mu přiděleno evidenční číslo MK ČR E 4671.
ISSN 2694-9024

Speciální číslo/2020, ročník 1 [66]

Vychází 10. 9. 2020

Zařízení studeného kelímku pro tavení oxidů kovů

Ing. David Rot, Ph.D., Ing. Michal Knedlík

Snahou tohoto článku je představit unikátní vybavení studeného kelímku, jež umožňuje indukční tavení oxidů kovů, tzv. induction skull melting (ISM). Tavení je založeno na principu indukčního ohřevu, kdy je energie od induktoru přenášena do vsázky prostřednictvím takzvaného studeného kelímku. Tento způsob tavby umožňuje dosahovat velmi vysokých teplot taveniny (až 4 000 °C). To je umožněno tím, že na rozhraní mezi studeným kelímkem a taveninou si v průběhu tavby vytváří tavenina vlastní skořepinu (skull). Mezi touto skořepinou a studeným kelímkem přitom zároveň vzniká vzduchová mezera.

This article aims to present unique equipment of a cold crucible (CC) that allows induction melting of metal oxides (the so-called induction skull melting - ISM). Melting is based on the principle of induction heating, in which energy is transferred from the inductor to the load using the CC. This method of melting makes it possible to reach very high temperatures of melt (up to 4,000 °C). This is allowed by the fact that the melt forms its own skull crucible at the interface between the CC and the melt during melting. At the same time, an air gap is created between the skull and the CC.

ÚVOD

Ač je technologie studeného kelímku známa již celou řadu let, stále nalézá uplatnění i v současnosti, např. při výzkumu nových materiálů, studiu fázových diagramů materiálů, simulaci jaderných havárií či výrobě umělých drahých kamenů a mnohém dalším. Obecně technologie studeného kelímku umožňuje tavbu jak oxidů kovů, tak kovů. Oba zmíněné procesy jsou vzájemně poměrně odlišné, a to jak z pohledu mechanické konstrukce studeného kelímku, tak i z pohledu elektrických parametrů vhodného frekvenčního měniče pro indukční ohřev. Ač se věnujeme oběma procesům, tento článek se zaměřuje na prezentaci možností taveb oxidů kovů pomocí zmíněné metody ISM v našich podmínkách.

VLASTNÍ PROCES

V závislosti na konkrétním taveném materiálu (vsázce) a startovacím materiálu lze proces tavby rozdělit do několika fází. V tomto článku jsou prezentovány ukázky z taveb vsázek tvořených Al_2O_3 , ZrO_2 a jejich eutektik. Ve všech případech byl startovacím materiálem metalický hliník. V zásadě je možné celý proces tavby od jejího spuštění rozdělit na čtyři fáze: startovací fáze, formovací fáze, stabilizační fáze a ochlazovací fáze.

ZÁKLADNÍ

PRVKY ZAŘÍZENÍ

Frekvenční měnič s elektronickou regulací založenou na PLC Siemens, chlazená vakuovatelná pracovní komora, chladič vodní hospodárná pracovní komora, chladicí vodní hospodárná pracovní komora, manipulační systém, filtrační systém pracovní komory, systém sběru mechanických a elektrických dat.

FREKVENČNÍ MĚNIČ

Základem zařízení je frekvenční měnič (HFG160) pro indukční ohřevy od slovinského podniku Induktio, založený na triodovém rezonátoru. Jedná se o poměrně unikátní zařízení z hlediska jeho provozních parametrů. Vzhledem k fyzikálně-chemickým vlastnostem oxidů kovů (v kapalné fázi), jež je možné indukčně tavit, a principu indukčního ohřevu je nezbytné pro dosažení únosného poměru mezi hloubkou vniku a poloměrem vsázky použít velmi vysoké frekvence elektrického proudu vytvářejícího elektromagnetické pole. Konkrétně je důvodem uvedeného velmi nízká elektrická vodivost kapalných fází oxidů kovů, řádově se typicky pohybujeme v rozmezí 1–1 000 S/m.

Jmenovitý činný výkon zařízení je 160 kW (lze regulovat v rozsahu 10–100 %), pracovní



Obr. 1: Přehledová fotografie laboratoře se zařízením pro tavení ve studeném kelímku. Čísly jsou označeny hlavní součásti zařízení. 1 frekvenční měnič, 2 vakuovatelná pracovní komora, 3 elektrický rozvaděč, 4 řídicí panel, 5 filtrační systém pracovní komory. Na obrázku není vidět chladicí systém, který je na protilehlé straně.

frekvence se pohybuje v rozsahu 1,5–2 MHz. Popisované zařízení studeného kelímku je na obr. 1.

STUDENÝ KELÍMEK

Vlastní tavení vsázky probíhá v kelímku vytvořeném z dutých měděných svisle orientovaných trubek, které jsou bandáží přitlačeny do svislých válcových drážek na povrchu masivního válcového dna. Intenzivní chlazení těchto trubek spoluvytváří na rozhraní při jejich vnitřním povrchu výše zmíněnou skull vrstvu se vzduchovou mezerou. V našich aplikacích používáme vlastní segmentové studené kelímky, jeden z nich je znázorněn na obr. 2.

PRACOVNÍ KOMORA

Funkcí komory studeného kelímku na obr. 3 je zejména: odvádět vyzářenou energii z povrchu taveniny, vytvářet prostor pro ochrannou atmosféru či řízenou oxidaci taveniny a chránit pracovníky před elektromagnetickým polem, zplodinami a případným únikem taveniny. Stěny komory jsou tvořeny dutým pláštěm z nerezové oceli, kde dutinou protéká chladicí voda. Komora disponuje několika průřazy ze speciálního skla a otvorem pro dosypávání vsázky do studeného kelímku za provozu. Komora je dále vybavena polohovacím zařízením pro manipulaci se studeným kelímkem. Během taveb se plyny přiváděné a vznikající uvnitř komory extrahují pryč pomocí filtračního zařízení.

CHLADICÍ SYSTÉM

Chlazení celého indukčního systému je realizováno uzavřeným chladicím okruhem ze tří nerezových tanků o celkovém objemu 10 500 l. Intenzivně jsou během provozu chlazeny tyristorové moduly, výkonová trioda s prvky rezonančního obvodu, induktor, studený kelímek, dno studeného kelímku (v závislosti na provedení studeného kelímku) a pracovní komora. U všech vodou chlazených součástí indukčního systému jsou kontrolovány průtoky a teploty na vstupech a výstupech. Generátor je také osazen klimatizačními jednotkami pro udržování konstantní teploty uvnitř skříně generátoru a kvůli odvodu vlhkosti ze skříně, aby se nemohl tvořit kondenzát na vodou chlazených součástech.

Obr. 2: Zobrazený studený kelímek je tvořen naohýbanými měděnými trubkami o vnějším průměru 10 mm (2 mm tloušťka stěny). Tyto trubice jsou prostřednictvím bandáže přitlačeny do axiálních povrchových drážek masivního měděného dna. V levé části obrázku je zobrazen vyrenderovaný model řezu studeným kelímkem, na modelu je orientačně prostorově znázorněna také tavenina (bílá) a skull vrstva (žlutá). Uprostřed je celkový pohled na reálný studený kelímek. V pravé části obrázku je znázorněn studený kelímek připravený na tavení (mezery mezi segmenty jsou vyplněny hmotou vsázky).



ŘÍDICÍ SYSTÉM

Princip řízení frekvenčního měniče. Třífázové napájení je přivedené přes tyristorový blok na vysokonapěťový transformátor a z něj následně na vysokonapěťový diodový usměrňovač. Pomocí tyristorového modulu je možné spojitě provádět regulaci frekvenčního měniče od 10% do 100%. Maximální trvalé anodové napětí je tak 10 kV. Anodové napětí je přiváděno do rezonančního obvodu přes speciální vodou chlazené vodiče. Vysoké napětí je pak vedeno přes triodu na výstup 6 rezonančních kondenzátorů vždy po 2 paralelně připojených k induktoru. Celé zařízení je řízeno prostřednictvím Siemens Simatic controlleru S7 a uživatelského panelu KTP1200.

ZÁVĚR

Cílem tohoto článku bylo představení unikátního zařízení studeného kelímku, kterým nyní ZČU v Plzni disponuje, a základního principu jeho funkčnosti. Toto zařízení je vhodné např. pro výzkum nových materiálů, studium fázových diagramů samostatných materiálů (či jejich eutektik), případně při výrobě umělých drahých kamenů a mnoha dalších.

Prezentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy – projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.01/08 a CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_008/0000293.

Reference:

- [1] MÜHLBAUER, A. History of induction heating and melting. Essen: Vulkan, c2008. ISBN 3802729463.

Obr. 3: Vnitřek pracovní komory se studeným kelímkem v jejím středu. Studený kelímek je uchycen k pertinaxové desce a není tudíž vodivě spojen s pracovní komorou. Každý segment (trubice ohnutá do tvaru písmene U) studeného kelímku je samostatně připojen k chladicí vodě z vodního rozdělovače.

