

Vyvinutí technologie tváření velmi malých součástí v tixotropním stavu

Ing. David Aišman ve své práci představil pilotní experiment, ve kterém vytváří vzorky procesem, při kterém je zpracováván materiál částečně v tuhém a částečně v roztaveném stavu. Tento stav nazývá semi solid stav. Zpracováváný materiál ocel X210Cr12, tedy nástrojová ocel s vysokým obsahem chromu a uhlíku. Její výběr respektoval základní požadavek zpracování kovů v semi solid stavu – co největší teplotní interval mezi solidem a likvidem.

Poměrně široce stanoveným cílem experimentálního programu je vývoj technologie minitixoformingu, tedy vývoj technologie přípravy velmi malého kovového produktu tvářecím procesem, kdy kov je v semi solid stavu.

Motivačních faktorů, proč byl cíl práce takto stanoven, je zřejmě více, například tváření složitých geometrických tvarů z obtížně tvařitelných materiálů nebo snížení tvářecí síly. Autor rovněž předpokládá možnost vývoje technologie s vysokou finální kvalitou produktu a snížení pravděpodobnosti výskytu vad.

V rámci práce byl skutečně vyvinut experimentální postup, který umožňuje realizovat proces tváření kovu v semi solid stavu do uzavřené formy. Po náročné optimalizaci procesu bylo dosaženo stavu, kdy kov vyplnil celou dutinu formy a vytvořil relativně kvalitní povrch. Detailní analýza kvality získaného povrchu v práci uvedena není. Vyplnění celé formy kovem při procesu, kdy kov je v semi solid stavu bylo skutečně věnováno značné úsilí, byla optimalizována teplota polotovaru, teplota formy, rychlost plnění formy, odplynění formy atd. Lze bez nadsázky konstatovat, že výsledek této snahy je z hlediska výsledného tvaru vzorku vzniklého tvářením v semi solid stavu, zdařilý.

Práce se do značné míry zabývá mikrostrukturou vzorků, které vznikly buď přímo při tixotropním zpracování anebo při následném tepelném zpracování. Zde lze pozorovat zajímavý jev a to zvýšenou stabilitu austenitických zrn vzniklých při tixotropním procesu. Zatímco při standardním zpracování ocel tohoto typu obsahuje jen jednotky procent zbytkového austenitu, po tixotropním tváření v materiálu zůstalo zachováno kolem 90% zbytkového austenitu. Další experimenty ukázaly i vysokou teplotní stabilitu takto vzniklého austenitu, kterou lze vysvětlit přerozdělením prvků v materiálu při tixotropním procesu.

Mechanické vlastnosti materiálu oceli, který vznikl tixotropním procesem, zatím nejsou uspokojivé. Austenitická zrna jsou obalena eutektickým, tedy ledeburitickým, síťovým s vysokým zastoupením karbidů chromu. Takováto mikrostruktura nedává dobrou šanci na vysokou kvalitu mechanických vlastností ani po následném tepelném nebo termomechanickém zpracování. Principiálně je velice nízká tažnost takového materiálu. Je škoda, že v práci není zdokumentováno z hlediska mechanických vlastností více zpracovaných stavů, aby byly známy alespoň trendy vývoje pevnosti a tažnosti. Pokud bude v návaznosti na uvedený experimentální program tixotropní tváření tohoto materiálu prováděno s cílem získat materiál s příznivou mikrostrukturou a dobrými mechanickými vlastnostmi, je nutné nalézt jiné strategie jeho zpracování, které především zabrání vzniku souvislého eutektického síťoví. Jelikož v případě semi solid stavu velice snadno dochází k odmišení legur do tekuté fáze, jedná se o velmi náročnou úlohu.

Závěrem lze konstatovat, že se cíl práce podařilo splnit. Byla vyvinuta metoda přípravy malých ocelových součástí pomocí procesu tixofoming. Řada zjištěných parametrů bude patrně přenositelná i na přípravu komponent s jinou geometrií. Reservy zůstávají v získávání mikrostruktury s příznivými mechanickými vlastnostmi. Práci doporučuji k obhajobě.

Dotazy:

1. Při tixoforním procesu na uvedené oceli vzniká kolem austenitických zrn karbidické síťoví. Lze charakter síťoví a jeho účinek na výsledné vlastnosti ovlivňovat změnou samotného procesu tixofoming? Mění se charakter tohoto síťoví při následném zpracování, například při termomechanickém zpracování?
2. Vysvětlete podrobněji příčinu stability austenitické fáze po tixotropním tváření.

V Dobřanech 22.10. 2014

Dr. Ing. Zbyšek Nový



doc. Ing. Martin Kusý, PhD.
Ústav materiálov, Materiálovotechnologická fakulta STU
J. Bottu 25, 917 24 Trnava

Oponentský posudok

Dizertačnej práce Ing. Davida Aišmana:

Vyvinutí technologie tváření velmi malých součástí v tixotropním stavu

Predložená dizertačná práca je zameraná na vyvinutie technológie tvárnenia veľmi malých telies v tixotropnom stave. Autor rozpracoval problematiku celkovo v 11 kapitolách na 102 stranách s použitím 76 citovaných literárnych zdrojov. Práca obsahuje 85 obrázkov a 13 tabuliek.

(a) V práci sa autor preukázateľne venuje aktuálnej problematike spracovania materiálov v semi-solid stave technológiou tixoformingu. Konkrétne sa zameril na tvárnenie ocele X210Cr12 pomocou mini-tixoformingu, ktorá nebola vo svetovej literatúre doteraz popísaná. Vzhľadom na originalitu zamerania je jej prínos pre odbor nepopierateľný o čom svedčí aj séria publikácií, ktoré predkladateľ dizertačnej práce publikoval ako prvý autor alebo spoluautor.

(b) Pri riešení dizertačnej práce boli použité moderné prístupy, ktoré efektívne kombinovali teoretický aj experimentálny prístup. Autor svojím návrhom experimentálneho zariadenia ako aj série realizovaných tvárniacich experimentov jednoznačne dokázal schopnosť systematicky a cieľavedome riešiť vedecký problém. Efektívne využil simulačné programy ThermoCalc, JMatPro a ANSYS na predikciu teplôt spracovania materiálu a plnenie kavity tvárniaceho nástroja. Tiež využil FEM simulácie na stanovenie optimálneho tvaru dutiny formy. Tieto výsledky vhodne využíval pre nastavenie režimu prvých experimentov. Pozitívne hodnotím autorovu snahu o experimentálnu verifikáciu a spresnenie hodnôt, ktoré boli výstupom simulácií.

Veľkú univerzálnosť autor preukázal pri hodnotení štruktúry a vlastnosti experimentálneho materiálu modernými analytickými metódami, ktoré boli aplikované či už v jeho východiskovom alebo pretvorenom stave. Za mimoriadnu považujem spoluprácu s pracoviskom Rakúskej akadémie vied v Leobene, kde bol realizovaný in-situ experiment skúšky mikro-tlakom. Táto spolupráca viedla aj k spoločnej publikácii.

Ciele, ktoré si autor stanovil v kapitole 4 „Motivace a cíle práce“ boli napriek pomerne širokému rozsahu a interdisciplinárnemu charakteru naplnené.

(c) Počas riešenia dizertačnej práce autor vytvoril súbor originálnych návrhov a výsledkov. Za najdôležitejšie považujem návrh funkčnej formy pre mini-tixotvárenie ocele s využitím patentovaného ohrevu, ktoré umožňuje získať malé funkčné demonštrátory, vhodné pre overenie základných mechanických vlastností. Rovnako tiež, návrh postupu termomechanického spracovania vedúceho k dosiahnutiu nových nekonvenčných štruktúr ocele X210Cr12 s tvrdosťami presahujúcimi HV800.

(d) Dizertačná práca je logicky usporiadaná tak, aby čitateľovi umožňovala dobrú orientáciu v problematike. Teoretický návrh a simulácie predchádzajú experimentálnemu overeniu a výsledkom. Grafy, obrázky, tabuľky a tiež prílohy sú primerane kvalitne graficky spracované a vhodne dopĺňajú text práce.

(e) Publikačná činnosť dizertanta je podľa môjho názoru nadštandardná, čo možno dokumentovať účasťou na sérii medzinárodných konferencií a tiež podtrhnúť publikáciami v impaktovanom časopise Journal of Alloys and Compounds.

Formálna stránka práce je na veľmi dobrej úrovni, napriek tomu mám k nej niekoľko pripomienok:

1. Autor v práci používa rovnako anglický výraz thixoforming ako aj český tixoforming
2. V prípade niektorých obrázkov napr. Obr. 12 a 14 v teoretickej časti práce pravdepodobne chýba referencia na pôvodný literárny zdroj.
3. Niektoré obrázky (napr. 14, 16, 17, 18) a tabuľka 11 sú uvedené bez odkazu v texte dizertačne práce.
4. Hodnoty podielu polyedrických austenitických zŕn pre režimy 4 až 6 sú v rozpore s hodnotami uvedenými v tabuľke 11. Tabuľka 11 navyše bez bližšej zmienky neobsahuje hodnoty tvrdosti HV 10 pre polovicu režimov.
5. V texte autoreferátu predstavujú režimy 4 až 6 iné spracovanie než v dizertačnej práci. Nepovažujem to za chybu, avšak vzhľadom na zdroj, t.j. dizertačnú prácu, by pravdepodobne bolo vhodnejšie prebrať pôvodné číslovanie režimov.
6. Detailná fotografia na obr. 60 (vpravo) je identická s fotografiou na Obr. 74 (vpravo), pričom text odkazuje na inú vzorku.

K predloženej dizertačnej práci mám nasledujúce otázky:

1. Je možné na základe Vami uvedených dôkazov (str. 38) (meranie EDX obr. 20) jednoznačne tvrdiť, že feritická matrica neobsahuje Cr? Disponujete prípadnými ďalšími analýzami, ktoré potvrdzujú Vaše tvrdenie z práce?
2. Na stanovenie podielov jednotlivých fáz v závislosti na teplote ohrevu ste použili program JMatPro (str. 40). Je dôvod, prečo ste pre túto úlohu nepoužili ThermoCalc? Aké sú prednosti JMatPro pre riešenie tejto konkrétnej úlohy?
3. Aký najužší teplotný interval je možné na základe Vašich skúsenosti a s použitím Vášho originálneho návrhu mini-tixo tvárniaceho zariadenia a formy úspešne regulovať? Mohli by ste uviesť, či Vaše technické riešenie umožňuje rozšíriť súbor vhodných ocelí na tixo-tvárnenie o ďalšie akosti?
4. Vysvetlite dve skupiny kriviek na obr. 38. Z grafu a popisu obrázku nie je jasné, prečo sa krivky v grafe vyskytujú dva krát a tiež prečo sú tak rozdielne.
5. Pomerne nelogické je použitie jednoduchej tvárniacej dutiny s rozmermi 5×1.5×20 mm pre prvé experimenty a to predovšetkým, ak ste v predchádzajúcej kapitole: "5.3 Numerická simulace tixoformingu" simuláciou dokázali, že tento tvar je pre plnenie formy najnepriaznivejší. Mohli by ste bližšie vysvetliť dôvod tohto postupu?
6. Bolo by možné pri detailnejšej analýze RTG difrakčného spektra identifikovať austenitickú zložku nachádzajúcu sa v karbidickom sieťovi? Čo by mohlo pomôcť k jej úspešnej identifikácii? Aké ďalšie charakteristiky tejto minoritnej zložky austenitu by ste prípadne mohli získať?
7. Aké dôvody Vás vedú k tomu, že štruktúru na obrázku 60 a 74 v detailom zobrazení považujete za perlit? Ako si predstavujete mechanizmus jeho vzniku?
8. Počas merania mikro vzorky austenitu na tlak je možné pozorovať zaujímavú zmenu v mechanickej odozve materiálu oproti tej, ktorá bola zaznamenaná na obr. 68. Vedeli by ste vysvetliť, aké sú dôvody zdvojnásobenia medze úmernosti?

(f) Napriek vyššie uvedeným pripomienkam odporúčam predloženú dizertačnú prácu k obhajobe (podľa zákona č. 111/1998 Sb. §47) a po jej obhájení a zodpovedaní vyššie uvedených otázok odporúčam udeliť Ing. Davidovi Aišmanovi titul Philosophiae doctor v odbore materiálové inžinierstvo a strojírenská metalurgia.

V Trnave dňa: 31. 10. 2014


doc. Ing. Martin Kusý, PhD.