

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

| | |
|-----------------------------------|---|
| Název práce: | Mikrostruktura slitiny 6082 pro automobilový průmysl v podmínkách deformace a tepelného zpracování |
| Jméno autora: | Bockstefel Dominik |
| Typ práce: | bakalářská |
| Fakulta/ústav: | Fakulta strojní (FS) |
| Katedra/ústav: | Ústav materiálového inženýrství |
| Oponent práce: | Vladivoj Očenášek |
| Pracoviště oponenta práce: | SVÚM a.s. |

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

| Zadání | náročnější |
|--|-------------------|
| <i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> | |
| <p>Poměrně široce pojaté zadání bakalářské práce umožnilo provést řadu experimentů, které charakterizovaly vybrané stavy tepelného zpracování a deformace za tepla. Z pohledu náročnosti zadání a jeho realizace experimenty se jednalo - vzhledem ke zvoleným parametrům - o náročný program, a to zejména z pohledu vyhodnocení výsledků a jejich porovnání s literaturou a výsledky z běžné praxe používané při tváření za tepla slitiny 6082. Plán a provedení experimentu se z hlediska praxe výroby tvářených výrobků této vytvřovatelné slitiny (průtlačné lisování, kování) značně lišil od běžných postupů. Ty jsou založeny na homogenizačním žíhání lité struktury (lité čepy, tyče), tváření za tepla (obvykle 400 až 500°C), rychlém ochlazení z teploty tváření a umělým stárnutím na stav T5, nebo zařazení separátního rozpouštěcího žíhání a stárnutí na stav T6. Provedený experiment se od tohoto běžného postupu lišil v tom, že homogenizační žíhání výchozí lité struktury bylo současně rozpouštěcím žíháním s různými rychlostmi ochlazování. Následná teplota deformace při 350°C, je na dolní hranici tváření za tepla, dolní hranici teploty používané při rekrystalizačním žíhání za studena tvářené struktury. Současně je teplotou, při které probíhají intenzivně procesy umělého stárnutí ochlazené struktury po homogenizačním žíhání. Z tohoto pohledu je proto interpretace výsledků obtížná.</p> | |

| Splnění zadání | splněno |
|--|----------------|
| <i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i> | |
| <p>Předložená práce splňuje zadání. Byl posouzen vliv tepelného zpracování a následného tváření za tepla na mikrostrukturu hliníkové slitiny 6082. Široký záběr experimentu a zvolené parametry umožnily analyzovat strukturu a tvrdost ve vybraných stavech po odlití, po ochlazování z teploty homogenizace různou rychlostí a po deformaci při teplotě 350°C.</p> | |

| Zvolený postup řešení | správný |
|---|----------------|
| <i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i> | |
| <p>Byly použity správné experimentální postupy pro hodnocení struktury a vlastností (metalografie, SEM, ODS analýza a EBSD analýza, tvrdost).</p> | |

| Odborná úroveň | B - velmi dobře |
|---|------------------------|
| <i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> | |
| <p>Odbornou úroveň bakalářské práce hodnotím „velmi dobře“ s tím, že autor neměl jednoduchou úlohu při interpretaci dosažených výsledků (viz výše v části Zadání). Některé připomínky a dotazy jsou uvedeny v části „Další komentáře a hodnocení“</p> | |

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

A - výborně

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

K formální úpravě práce a jazykové stránce nemám připomínky.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Pro hodnocení výsledků a jejich diskuzi bylo využito relevantních literárních pramenů. Nedošlo k porušení citační etik, bibliografické citace jsou v souladu s citačními zvyklostmi.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Str.

10₁₀ - homogenizačním žíháním dojde nejen k vyrovnání chemického složení ale ke změnám ve složení a morfologii intermetalických fází

13⁹ – přítomnost precipitátů, „*měkkých částí*“ a stupně deformačního zpevnění ve slitinách-jaké měkké části mají příznivý vliv na obrobiteľnosť

Kap. 2 – chybí rozdělení slitin Al na vytvrzovatelné a nevytvrzovatelné

16³ - deformačně „*vytvrzené*“ - má být „*zpevněné*“

16₁₁ - Lithium - nižší „*hmotnost*“ – má být „*hustota*“

Odst. 2.2 - chybí tabulka číselného označení slévárenských slitin, tj. ekvivalent Tab. 4 uvedené pro tvářené slitiny

18¹⁴ - termín „*samokalitelné*“ se u Al slitin nepoužívá

19¹² - Tab. 5 „*Tuhé*“ fáze – má být „*intermetalické fáze a precipitáty*“

19 - poslední odstavec „*V tomto případě se mohou atomy Si objevit i ve slitinách, kde by měl Si obvykle zaujmout místo ve sloučenině Mg₂Si*“ - nejasná formulace.

Kap. 4 i dále v textu: V práci použitá slitina je EN AW 6082. Použití označení **EN AC 6082** je formálně i věcně chybné, protože slitina 6082 není díky chemickému složení vhodná jako slévárenská slitina. Tato slitina je určena přednostně pro tváření (i když je nutné ji před tvářením odlít do čepů nebo tyčí). Čep odlitý ze slitiny 6082 a výrobky z něj se proto značí vždy jako EN AW 6082.

odst. 5.1 - nepřesný popis pojmu „*žíhání*“ (například rozpouštěcí žíhání nevede k rovnovážnému stavu).

25² - při žíhání na odstranění vnitřního pnutí se nejedná o plastickou deformaci. Plastickou deformací se odstraňuje vnitřní pnutí při vypínání profilů nebo rovnání výkovků bezprostředně po rozpouštěcím žíhání.

25 - Odst. 5.1.5 - žíhání na měkko nezlepšuje obrobiteľnosť

Odst. 5.1.6 - „*Výsledkem je vznik částečně rekrystalizované struktury, ale určitý podíl struktury je ve stejném stavu jako po tváření.*“ - Nelze tvrdit, že je ve stejném stavu, protože i v nerekrystalizované části struktury dojde při žíhání k částečnému odpevnění, a to zotavením.

39² - Odst. 7.2, „*vysoké napětí*“ - vysoká hustota dislokací (vysoká uložená deformační energie)

39⁶ - „*rovnoramenných zrn*“ – má být „*rovnoosých zrn*“

39⁹ – „*Hnací silou k vytvoření těchto nezdeformovaných zrn je rozdíl vnitřní energie mezi napjatou a nenapjatou strukturou.*“ – má být „*je rozdíl mezi uloženou energií v deformované a nedeformované struktuře.*“

13 - Odst. 7.2.3 (poznámka)- mezi faktory, které ovlivňují průběh rekrystalizace po tváření za studena, je třeba v první řadě jmenovat: velikost deformace, teplotu a čas.

48 - Odst. 8.1

EN AC 6082 – viz připomínka výše

Z přípravy vzorků není jasné, zda výchozí vzorky \varnothing 50 mm byly odebrány z litých čepů většího průměru, nebo zda se jednalo o lité tyče. Pokud se jednalo o lité tyče, byl povrch na \varnothing 50 mm soustružen?
48 – Odst. 8.2

Proč byla zvolena teplota deformace 350°C? Teplota 350°C se u slitiny 6082 pro tváření za tepla v praxi nepoužívá. Je to teplota, jejíž účinky na strukturu fází a jejich změny v lité, nebo lité a homogenizované struktuře nejsou obvykle předmětem výzkumu. Teplota deformace 350°C výrazně ovlivňuje strukturu po ochlazení z homogenizační teploty, a to nedefinovaným způsobem. Při této teplotě dochází k umělému stárnutí a v závislosti na době na teplotě k přestárnutí. Proto je o získaných stavech struktury a vlastnostech při této teplotě deformace málo informací při porovnání výsledků s literárními údaji.

60 - Obr. 28 - „**Závěň lze pozorovat, že i Fe a Mn se podílí na tvorbě matrice.**“ - obsah Fe a Mn v matici je zanedbatelný. Tyto prvky se po homogenizaci přednostně vyskytují v komplexních intermetalických fázích typu α -Al (Fe, Mn, Si) nebo v jemných disperzoidech Al_3Fe a Al_6Mn . Železo je v matici prakticky nerozpustné. Disperzoidy Al_6Mn (které brzdí rekrystalizační procesy), mají velikost pouze v desetinách μm .

62 - Obr. 31 - pravděpodobně se jedná o subzrna. Zvolená teplota deformace 350°C je na statickou i dynamickou rekrystalizaci poměrně nízká (jedná se o dolní hranici rekrystalizačních teplot). V oblasti této teploty jsou (v závislosti na velikosti a rychlosti deformace) u Al slitin upřednostňovány statické i dynamické zotavovací procesy.

Poznámka:

Pro vlastnosti výrobků ze slitiny 6082 po tváření za tepla (průtlačné lisování, kování) je rozhodující závěrečné tepelné zpracování na stav T4 nebo T6. Pro vzorky připravené pēchováním v této práci by bylo proto zajímavé celý postup přípravy ukončit tímto tepelným zpracováním. Vzhledem k řadě sledovaných parametrů a vzhledem k velikosti konečných vzorků by ale bylo vyhodnocení výsledků a jejich interpretace (struktura, tvrdost) obtížné.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Poznámky do diskuse jsou uvedeny výše v odstavci „**Další komentáře a hodnocení**“

Dotazy:

- Jaká byla doba na teplotě tváření 350°C (ohřev, výdrž)? Jak chladl vzorek po deformaci?
- 56 - Obr. 23 - jedná se skutečně o korozní napadení? Pokud ano, tak kdy mohlo ke koroznímu napadení dojít? Tvar vady a ostrohranné částice uvnitř vady spíše svědčí o tom, že se jedná o licí vadu. Zajímavá by proto byla analýza těchto částic.
- 61 - Obr. 30b,d - jedná se o velkoúhlové nebo maloúhlové hranice?
- 64 - Obr. 33 - čím lze vysvětlit, že je tvrdost největší ve výchozím stavu?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře.**



Datum: 9.8.2024

Podpis: