

Modelování progresivních materiálů v software Digimat

Progressive Material Modelling Using the Digimat Software

Ing. Martin Pohludka, Ph.D.; doc. Ing. Jitka Malcharcziková, Ph.D.; Ing. Tomáš Čegan, Ph.D.

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, Regionální materiálově technologické výzkumné centrum, 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika

Cílem této práce bylo provést simulaci tlakových zkoušek dvou rozdílných materiálů pomocí software Digimat. Prvním materiálem byl karbid wolframu s různou koncentrací kobaltu, druhým slitina Ni-22Al (at. %) v litém a směrově krystalizovaném stavu. Výhodou software Digimat je, že umožňuje generovat tzv. reprezentativní elementární objem struktury daného materiálu a zobrazit v něm rozložení napětí nebo deformace na jednotlivých komponentách struktury. Na oba použité materiály lze totiž pohlížet jako na kompozity. V případě slinutého karbidu WC (provozně zvaného tvrdokovu) tvoří kobalt pojivo držící zrna WC pohromadě, v případě slitiny Ni-22Al jsou dendrity dvoufázové oblasti $\gamma+\gamma'$ vlákna zpevňující matici tvořenou fází γ' . Simulace obou tlakových zkoušek byla provedena pomocí dvou rozdílných modulů. MF-Digimat, s jehož pomocí byly simulovány průběhy tlakových zkoušek tvrdokovu WC, je modul s rychlou odezvou umožňující získat inženýrské konstanty. Modul FE-Digimat, v němž byly simulovány tlakové zkoušky slitiny Ni-22Al, umožňuje generovat reprezentativní elementární objem struktury. Získané výsledky byly shodné s experimentálně pozorovanou praxí – jak rostoucí hmotnostní podíl kobaltu ve struktuře tvrdokovu WC, tak tvar a orientace dendritů dvoufázové oblasti $\gamma+\gamma'$ ve struktuře slitiny Ni-22Al mají pozitivní vliv na mechanické vlastnosti.

Klíčová slova: software Digimat; karbid wolframu; intermetalická fáze Ni₃Al; směrová krystalizace

The Digimat is a multi-scale modelling software predicting the non-linear behaviour of complex multi-phase materials and structures, such as composites with a polymer, rubber or metal matrix. For the prediction of their thermo-mechanical, thermal and electrical properties, two extra scales are available – MF-Digimat and FE-Digimat. The former uses the Eshelby-based semi-analytical mean-field homogenisation approaches while the latter is the finite element-based homogenisation scale and it enables generation of a realistic representative volume element of a large variety of material microstructures (for example plastics, rubbers, metals or graphite). The MF-Digimat was used for a compression test simulation of the WC hard metal with different content of cobalt. The FE-Digimat was also used for a compression test simulation, but in this case the tested material was a Ni-22Al alloy after casting and directional solidification processes. The case of the WC hard metal represents a structure of a particle composite, in which the WC grains are inclusions included in the cobalt matrix. The structure of the Ni-22Al alloy is the case of the fibre composite, in which the fibres are represented by the dendrites of the $\gamma+\gamma'$ two-phase area and the matrix by the γ' phase. The cast state differs from the directionally solidified one in the shape and orientation of the dendrites. The structure of the Ni-22Al alloy after casting process is full of short dendrites, the orientation of which is random. However, the alloy after directional solidification process consists of coarse dendrites with a fixed orientation. The results of the compression test simulations for both materials have confirmed the same conclusions observed in an experiment. An increasing cobalt weight fraction in the WC hard metal matrix leads to a decrease in the strength properties of the hard metal and the fixed orientation of the dendrites of the $\gamma+\gamma'$ two-phase area supports a homogeneous stress distribution in the matrix and fibres-dendrites in the structure of the Ni-22Al alloy, which improves its strength properties.

Key words: Digimat software; tungsten carbide; Ni₃Al intermetallic compound; directional solidification

Digimat od výrobce e-Xstream engineering [1] je vyspělý mnohomodulový software určený pro modelování materiálů. Tento software urychluje vývoj optimálních kompozitních materiálů a součástí pro dodavatele materiálu a koncové uživatele v oblastech, jako je automobilový a letecký průmysl, elektronika, uživatelské zboží a průmyslová zařízení. Software Digimat užívají projektanti, materiáloví vědci a specialisté ve výrobě kompozitních materiálů k přesné predikci nelineárního mikro-mechanického chování

komplexních mnohofázových kompozitních materiálů a struktur, tvořených kompozity s polymerní, pryžovou nebo kovovou maticí [1, 2].

Nejběžněji užívanými moduly software Digimat jsou MF-Digimat a FE-Digimat. Modul MF-Digimat využívá Eshelbyho poloanalytických postupů tzv. mean-field homogenization [2, 3] a analytického popisu materiálu k tomu, aby vypočetl termomechanické, tepelné nebo elektrické vlastnosti kompozitu jako funkce jeho

mikrostrukturní morfologie, tj. tvaru, orientace, objemového nebo hmotnostního podílu inkluzní fáze.

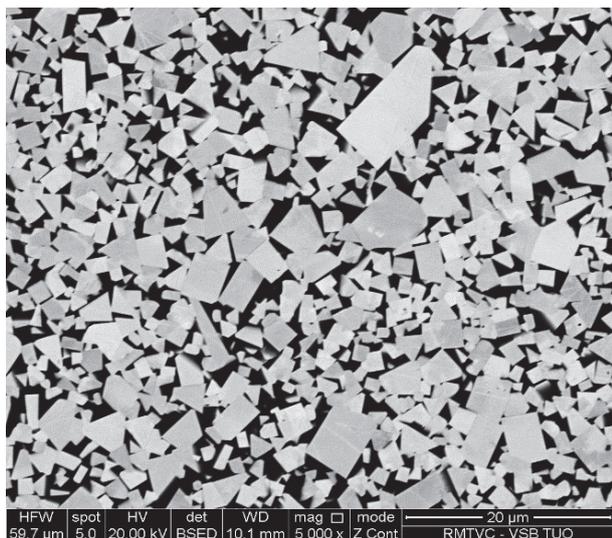
Modul FE-Digimat pracuje na principu homogenizace metodou konečných prvků [2, 4]. Používá se ke generování reprezentativního objemového elementu velkého druhu materiálových mikrostruktur (např. plastů, pryží, kovů, grafitu atd.). Výsledný model může být řešen pomocí analýzy konečných prvků. Modul FE-Digimat má zabudovaný vlastní generátor síťový, výpočetní zařízení i procesor pro zpracování výsledků. Umožňuje však také připojení na software Abaqus/CEA [5], ANSYS Workbench [6] a Marc [7].

1. Experiment

1.1 Simulace v modulu MF-Digimat

Aplikace modulu MF-Digimat byla provedena na příkladu simulace tlakové zkoušky karbidu wolframu WC, jehož vzorky byly připraveny postupy práškové metalurgie. Směsi prášků karbidu wolframu a čistého kobaltu byly smíchány v požadovaném poměru a sintrovány při teplotě přibližně 1400 °C. Takto byly připraveny vzorky obsahující 6, 8, 10 a 12 hm. % Co [8, 9].

Dokumentace mikrostruktury slinutého karbidu WC (provozně zvaného tvrdokovu) pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu QUANTA FEG 450 vybaveného sondou APOLLO X (obr. 1) potvrdila, že kobalt tvoří pojivovou část tvrdokovu, která obklopuje jednotlivá zrna karbidu wolframu. Pro účely simulace v modulu MF-Digimat bylo tedy kobaltové pojivo pokládáno za matici a zrna karbidu wolframu za inkluzní částice, které se vzájemně neprolínaly.

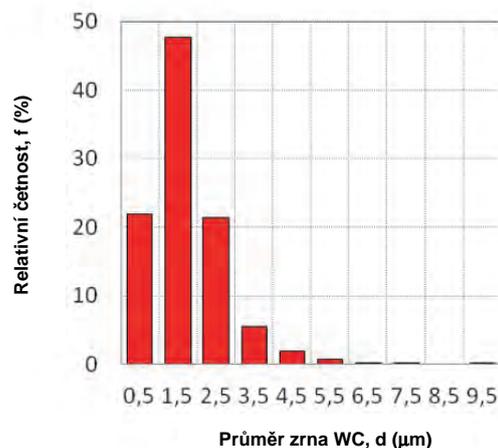


Obr. 1 Mikrostruktura tvrdokovu WC-12Co

Fig. 1 Microstructure of the WC-12Co hard metal

Statistický popis zrn WC byl proveden postupy obrazové analýzy pomocí software ImageJ [10] na fotografiích mikrostruktur jednotlivých vzorků pořízených pomocí elektronového mikroskopu. Obrazová analýza

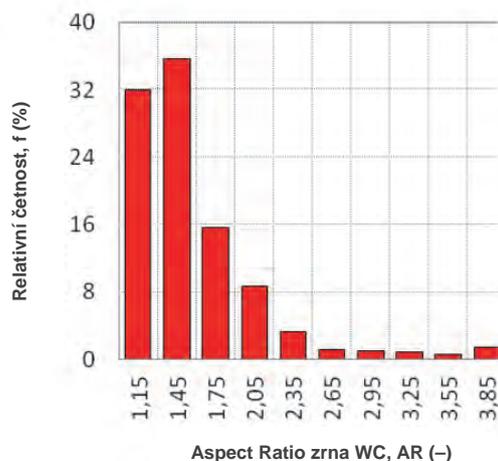
prokázala (obr. 2), že k přípravě vzorků tvrdokovu byl použit prášek WC o jednotné velikosti částic pohybující se v rozsahu od 0,5 do 9,5 μm. Rozdělení průměrné velikosti zrn WC odpovídá logaritmicko-normálnímu průběhu s maximem ve třídě s třídním znakem 1,5 μm, v níž leží 48 % z celkového množství 700 zrn WC, vyskytujících se na ploše 3 052 μm².



Obr. 2 Rozdělení průměrné velikosti zrn WC v připravených vzorcích tvrdokovu

Fig. 2 Distribution of the WC grain size in the prepared samples of the hard metal

Z obr. 1 je patrné, že zrna WC mají obdélníkový průřez. Pro úspěšnou simulaci tlakové zkoušky je nezbytné popsat tvar zrn WC pomocí tvarového faktoru Aspect Ratio. Tento faktor představuje poměr délky a šířky zrna, přičemž obor hodnot tvarového faktoru leží v intervalu od jednotky do nekonečna. Ve studovaném případě tvrdokovu WC se hodnota faktoru Aspect Ratio pro zrna WC mění v intervalu od 1 do 4. Rozdělení tvarového faktoru zrn WC je logaritmicko-normální s maximem ve třídě o hodnotě třídního znaku 1,45. Ze 700 zrn WC má tuto hodnotu tvarového faktoru 36 % zrn WC (obr. 3).

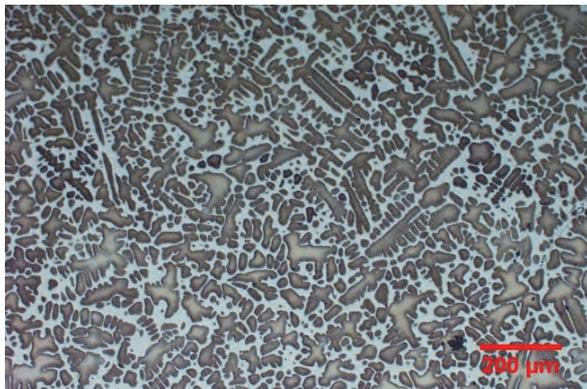


Obr. 3 Rozdělení tvarového faktoru Aspect Ratio zrn WC

Fig. 3 Distribution of the Aspect Ratio shape factor of the WC grains

1.2 Simulace v modulu FE-Digimat

Pro simulaci tlakové zkoušky v modulu FE-Digimat byla vybrána slitina Ni-22Al (at. %). Slitina byla připravena vakuovým indukčním tavením základních komponent v argonu. Tavenina byla odlita odstředivě. Odlitek slitiny Ni-22Al se následně podrobil procesu směrové krystalizace při teplotě 1550 °C a rychlosti růstu rozhraní krystal-tavenina 50 mm·h⁻¹ [11, 12].



Obr. 4a Mikrostruktura slitiny Ni-22Al v litém stavu
Fig. 4a Microstructure of the Ni-22Al alloy after casting process

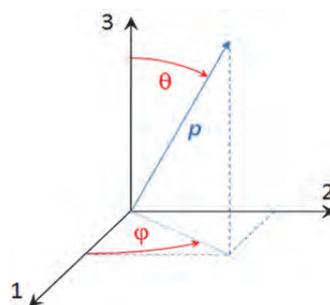
Pro simulaci tlakové zkoušky slitiny Ni-22Al byly vybrány vzorky v litém i směrově krystalizovaném stavu. Příčinu vysvětluje obr. 4a a 4b. Mikrostruktura slitiny Ni-22Al po odlití sestává z drobných zrn fáze γ' [13] o náhodné orientaci, v jejichž centrech leží drobné dendrity tvořené dvoufázovou oblastí $\gamma+\gamma'$ (obr. 4a). V případě mikrostruktury směrově krystalizovaného vzorku jsou zrna fáze γ' hrubá a dendrity dvoufázové oblasti $\gamma+\gamma'$ jsou uspořádány ve směru růstu rozhraní krystal-tavenina (obr. 4b). Tyto struktury jsou tedy příhodné k simulaci kompozitu s vlákny různého tvaru, délky a orientace.



Obr. 4b Mikrostruktura slitiny Ni-22Al ve směrově krystalizovaném stavu
Fig. 4b Microstructure of the Ni-22Al alloy after directional solidification process

Objemový podíl dendritů v litém i směrově krystalizovaném stavu byl shodně 60 %. Dendrity v odlitku slitiny Ni-22Al byly definovány jako krátká vlákna o třech různých hodnotách tvarového faktoru Aspect Ratio.

Většina dendritů (40 %) měla tvarový faktor od 1 do 2 s maximem o hodnotě třídního znaku 1,44. Průměrná velikost těchto dendritů činila 25 μm . Druhou skupinu, přibližně 18 %, tvořily dendrity s hodnotou tvarového faktoru Aspect Ratio pohybující se v intervalu od 2 do 3 s maximem o hodnotě třídního znaku 2,33. Průměrná velikost dendritů v této skupině činila 33 μm . 2 % zbylých dendritů měla hodnotu tvarového faktoru od 3 do 11 s maximem o hodnotě třídního znaku 4,15 a průměrné velikosti 25 μm . Dendrity dvoufázové oblasti $\gamma+\gamma'$ ve vzorku slitiny Ni-22Al po směrové krystalizaci byly pokládány za nekonečně dlouhá vlákna o průměrné šířce 178 μm a pevné orientaci úhlů $\theta = 90^\circ$ a $\phi = 0^\circ$ (obr. 5).

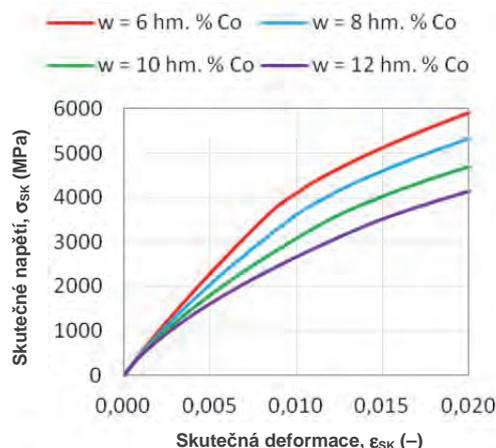


Obr. 5 Orientační tenzor pro simulaci pomocí software Digimat [2]
Fig. 5 Orientation tensor for a simulation in the Digimat software [2]

2. Výsledky

2.1 Simulace v modulu MF-Digimat

Simulace tlakových zkoušek tvrdokovu WC s obsahem Co o koncentracích 6, 8, 10 a 12 hm. % byly provedeny do hodnoty skutečné deformace $\epsilon_{\text{max}} = -0,02$. Hodnoty vstupních parametrů pro předpokládané fáze WC a Co byly přejaty z publikací [8, 9]. Grafické výstupy ze simulací jsou znázorněny na obr. 6. Závěr ze simulací je totožný s experimentálně pozorovanou praxí – s rostoucím hmotnostním podílem kobaltu dochází ke snížení pevnostních charakteristik tvrdokovu WC.



Obr. 6 Výsledky simulací tlakových zkoušek tvrdokovu WC s různými hmotnostními podíly Co
Fig. 6 Results of the compression test simulations of the WC hard metal with different weight fractions of cobalt

Tab. 1 Hodnoty inženýrských konstant tvrdokovu WC s různým hmotnostním podílem Co

Tab. 1 Values of the engineering constants of the WC hard metal with different weight fractions of Co

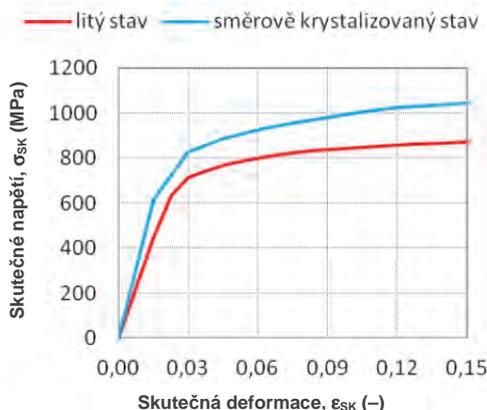
w _{Co} (hm. %)	E (GPa)	R _{p0,2} (MPa)	ν (-)	G (GPa)
6	530	4 024	0,2224	215
8	514	2 920	0,2243	207
10	499	2 191	0,2265	200
12	483	1 766	0,2291	193

Výhodou modulu MF-Digimat je rychlá odezva bez potřeby generování struktury a sítí. Kromě grafického výstupu (obr. 6) umožňuje simulace provedená v tomto modulu vypočítat také hodnoty inženýrských konstant, jako je modul pružnosti v tahu/tlaku E (GPa), smluvní mez kluzu pro 0,2 % deformaci $R_{p0,2}$ (MPa), Poissonovu konstantu ν (-) a modul pružnosti ve smyku G (GPa). Hodnoty těchto konstant jsou uvedeny v tab. 1. S rostoucím hmotnostním podílem kobaltu v matrici tvrdokovu WC klesají hodnoty všech zmíněných inženýrských konstant kromě Poissonovy konstanty.

2.2 Simulace v modulu FE-Digimat

Simulace tlakové zkoušky slitiny Ni-22Al po odlití a směrové krystalizaci byla provedena do hodnoty maximální deformace $\epsilon_{\max} = -0,15$. Vstupní parametry definující maticí a inkluzní fázi byly převzaty z publikací [14, 15]. Výsledné grafické znázornění závislosti skutečného napětí na skutečné deformaci reprezentuje obr. 7. Podle závěrů simulací nedosahuje odlitek slitiny Ni-22Al takové mechanické pevnosti jako směrově krystalizovaný vzorek. Tento závěr byl potvrzen i experimentálně v publikaci [14].

Na rozdíl od modulu MF-Digimat neumožňuje modul FE-Digimat výpočet inženýrských konstant (kap. 2.1). Hodnoty modulu pružnosti v tahu/tlaku a smluvní meze kluzu při deformaci 0,2 % byly odečteny z obr. 7 a vloženy do tab. 2.



Obr. 7 Výsledky simulací tlakových zkoušek slitiny Ni-22Al v litém a směrově krystalizovaném stavu

Fig. 7 Results of the compression test simulations of the Ni-22Al alloy after casting and directional solidification processes

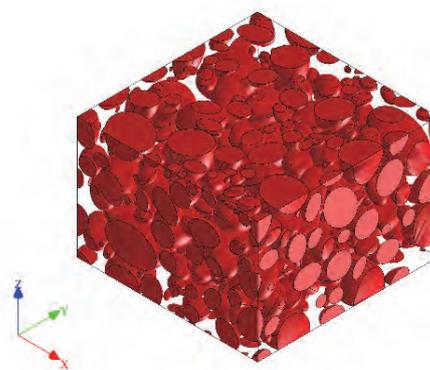
Tab. 2 Hodnoty inženýrských konstant slitiny Ni-22Al v litém a směrově krystalizovaném stavu

Tab. 2 Values of the engineering constants of the Ni-22Al alloy after casting and directional solidification processes

Stav*	Orientace	E	R _{p0,2}
		(GPa)	(MPa)
LS	nahodilá	29,74	446
SKS	90° – 0°	41,08	616

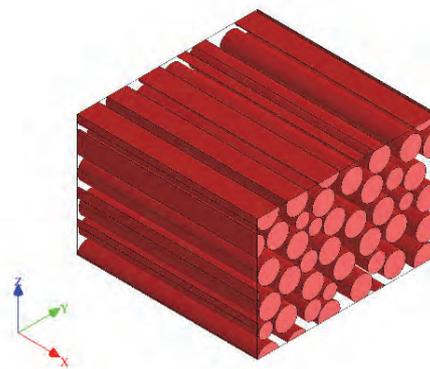
*LS – litý stav, SKS – směrově krystalizovaný stav

Simulace v modulu FE-Digimat umožňuje generovat tzv. reprezentativní elementární objem kompozitu [2, 16], jehož periodickým opakováním lze sestavit jeho mikrostrukturu. Obr. 8a a 8b znázorňují tyto objemy pro slitinu Ni-22Al v litém a směrově krystalizovaném stavu. Oba objemy byly sestaveny na základě statistických údajů popisujících dendrity dvoufázové oblasti $\gamma+\gamma'$, které jsou shrnuty v kap. 1.2.



Obr. 8a Reprezentativní elementární objem mikrostruktury slitiny Ni-22Al po odlití

Fig. 8a Representative elemental volume of the microstructure of the Ni-22Al alloy after casting process

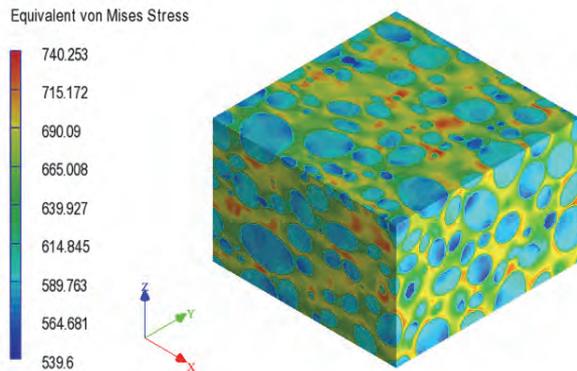


Obr. 8b Reprezentativní elementární objem mikrostruktury slitiny Ni-22Al po směrové krystalizaci

Fig. 8b Representative elemental volume of the microstructure of the Ni-22Al alloy after directional solidification process

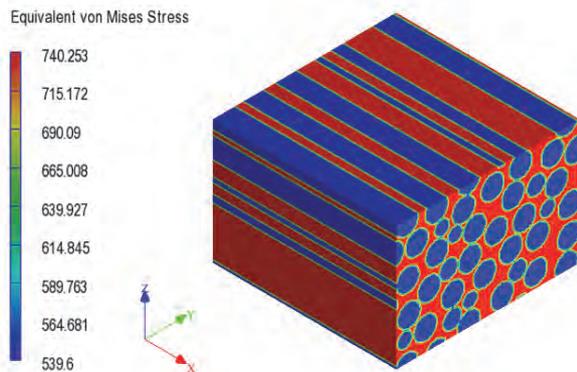
Obr. 9a a 9b srovnávají rozložení Von Misesova napětí na reprezentativním elementárním objemu mikrostruktury slitiny Ni-22Al po odlití a směrové krystalizaci při hodnotě meze kluzu. Z obr.9a a 9b jasně plyne, jaký vliv má tvar a orientace dendritů dvoufázové oblasti $\gamma+\gamma'$ na rozložení napětí. V případě litého stavu slitiny

Ni-22Al (**obr. 9a**) se matrice slitiny, tvořená čistou fází γ' , deformuje více než dendrity. Nejvíce namáhanými oblastmi jsou přechodové plochy mezi maticí a inkluzemi-dendrity ve směru osy x, která představuje směr působení tlakové síly. V případě směrově krystalizovaného stavu (**obr. 9b**), kdy jsou vlákna dendritů uložena rovnoběžně se směrem osy x, je rozložení napětí v matici a vláknech rovnoměrné. Stejně jako v případě lité struktury se u směrové krystalizace matrice deformuje více než vlákna.



Obr. 9a Rozložení Von Misesova napětí na reprezentativním elementárním objemu mikrostruktury slitiny Ni-22Al po odlití při mezi kluzu

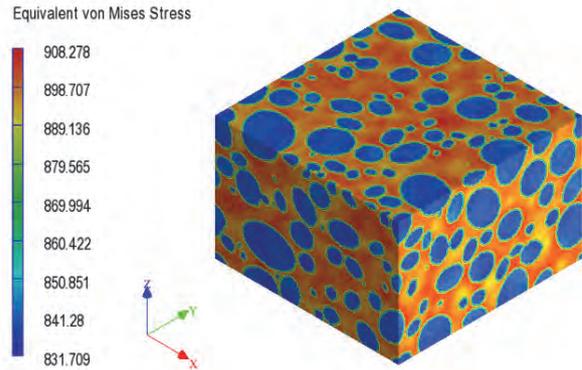
Fig. 9a Von Mises stress distribution on the representative elemental volume of the microstructure of the Ni-22Al alloy after casting process at the yield stress



Obr. 9b Rozložení Von Misesova napětí na reprezentativním elementárním objemu mikrostruktury slitiny Ni-22Al po směrově krystalizaci při mezi kluzu

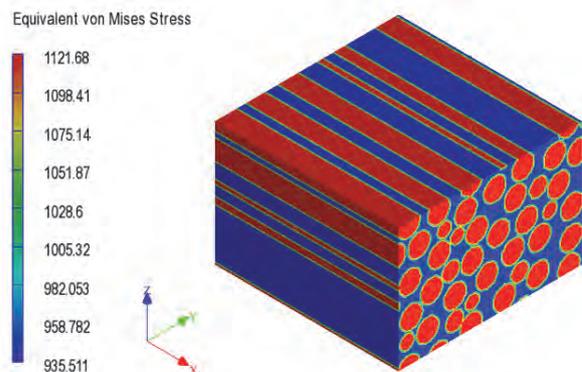
Fig. 9b Von Mises stress distribution on the representative elemental volume of the microstructure of the Ni-22Al alloy after directional solidification process at the yield stress

V průběhu zvyšování plastické deformace ve struktuře odlitku slitiny Ni-22Al dochází k většímu nárůstu Von Misesova napětí v matici slitiny, zatímco dendrity slouží jako zpevňující fáze (**obr. 10a**). Avšak model směrově krystalizovaného stavu slitiny Ni-22Al prokázal jiný závěr. S rostoucí plastickou deformací je sice rozložení napětí v matici a vláknech stále rovnoměrné v celém jejich objemu, ale vlákna jsou namáhána více než matrice a teoreticky jsou to ona, která se poruší jako první (**obr. 10b**).



Obr. 10a Rozložení Von Misesova napětí na reprezentativním elementárním objemu mikrostruktury slitiny Ni-22Al po odlití při maximální deformaci -0,15

Fig. 10a Von Mises stress distribution on the representative elemental volume of the microstructure of the Ni-22Al alloy after casting process at the maximal strain of -0.15



Obr. 10b Rozložení Von Misesova napětí na reprezentativním elementárním objemu mikrostruktury slitiny Ni-22Al po směrově krystalizaci při maximální deformaci -0,15

Fig. 10b Von Mises stress distribution on the representative elemental volume of the microstructure of the Ni-22Al alloy after directional solidification process at the maximal strain of -0.15

Závěr

Software Digimat se prokázal jako účinný nástroj umožňující simulovat průběh tlakové zkoušky u kompozitních materiálů, jako jsou tvrdokov WC a slitina Ni-22Al s rozdílnou morfologií mikrostruktury. V případě slinutého karbidu (tvrdokovu) WC byl prokázán pokles pevnostních charakteristik s rostoucím hmotnostním podílem kobaltu v úloze pojiva, držícího jednotlivá zrna WC pohromadě. Tato simulace byla provedena v modulu MF-Digimat, který umožňuje získat výstup důležitých inženýrských konstant, jako jsou moduly pružnosti v tahu a ve smyku a Poissonova konstanta.

Výsledky simulace tlakové zkoušky slitiny Ni-22Al v litém a směrově krystalizovaném stavu prokázaly důležitost tvaru a orientace dendritů dvofázové oblasti $\gamma+\gamma'$. Simulace provedená v modulu FE-Digimat umožnila vykreslit mikrostruktury obou stavů pomocí reprezentativních elementárních objemů, což odhalilo rozdílné chování obou stavů v průběhu jejich plastické

deformace. Do meze kluzu se matrice litého i směrově krystalizovaného stavu slitiny Ni-22Al deformují více, zatímco dendrity – ať nahodile či pevně orientované – slouží jako zpevňující fáze. Avšak po překročení meze kluzu dochází v případě směrově krystalizované slitiny Ni-22Al k obrácení této úlohy. Nakonec se pevná orientace dendritů, simulovaných jako nekonečná vlákna, projeví vyššími hodnotami pevnostních charakteristik než je tomu v případě nahodilě orientace krátkých dendritů v případě litého stavu.

Poděkování

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 „Regionální materiálové technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti“ financovaného z Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy a projektu SP 2016/103 „Specifický výzkum v metalurgickém, materiálovém a procesním inženýrství“.

Literatura

- [1] Digimat – The Nonlinear Multi-scale Material and Structure Modeling Platform [on-line], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <http://www.mscsoftware.com/product/digimat>
- [2] Digimat – Documentation [on-line], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <http://www.mscsoftware.com/product/digimat>
- [3] DOGHRI, I., et al. A Second-moment Incremental Formulation for the Mean-field Homogenization of Elasto-plastic Composites. *International Journal of Plasticity*, 27 (2011), 352–371.
- [4] YALIN, Y., et al. Stress Transfer Analysis of Unidirectional Composites with Randomly Distributed Fibers Using Finite Element Method. *Composites: Part B*, 69 (2015), 278–285.
- [5] Abaqus/CEA [on-line], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <http://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/>
- [6] ANSYS Workbench [on-line], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <http://www.ansys.com/Products/Platform>
- [7] Marc [on-line], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <http://www.mscsoftware.com/product/marc>
- [8] TEPPERNEGG, T., et al. High Temperature Mechanical Properties of WC-Co Hard Metals. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 56 (2016), 139–144.
- [9] KLÜNSNER, T., et al. Effect of Microstructure on Fatigue Properties of WC-Co Hard Metals. *Procedia Engineering*, 2, (2010), 2001-2010.
- [10] ImageJ [on-line], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <https://imagej.nih.gov/ij/>
- [11] POHLUDKA, M., et al. Microstructure and Properties of the Ni-Al-B Alloys after Directional Solidification. *Chemické listy*, 106 (2012) SI3, 511–512.
- [12] MALCHARCZIKOVÁ, J., et al. Microstructure Characteristics of Ni₃Al Based Intermetallic Compounds. *Chemické listy*, 106 (2012) SI3, 474–475.
- [13] Alloy phase diagram database [online], [cit. 2016-11-02]. Dostupný z WWW: <http://www1.asminternational.org/asmenterprise/apd/>
- [14] MALCHARCZIKOVÁ, J., et al. Deformation Behaviour of Ni₃Al Based Alloys in Compression. In *Metal 2016: 25. Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, 25th - 27th 2016, Hotel Voroněž I, Česká republika, EU, s. 1486-1491, ISBN 978-80-87294-67-3.
- [15] POHLUDKA, M., et al. Ni₃Al-B Alloys and their Mechanical Properties at High Temperatures. *Metal 2016: 25. Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, 25th - 27th 2016, Hotel Voroněž I, Česká republika, EU, s. 1498-1503, ISBN 978-80-87294-67-3.
- [16] AMIRMALEKI, M., et al. 3D Micromechanical Modelling of Dual Phase Steels Using the Representative Volume Element Method. *Mechanics and Materials*, 101 (2016), 27–39.

VoestAlpine přezkoumává své plány v Mexiku

Börsen-Zeitung

10.11.2016

Šéf představenstva největšího rakouského ocelářského koncernu VoestAlpine Wolfgang Eder nepočítá po volbě Donalda Trumpa se zřícením obchodu v severní Americe. „Doufáme, že se prosadí racionalita a střízlivý úsudek,“ řekl Eder na telefonní konferenci. Nový americký prezident oznámil, že chce nastartovat nový růst v USA, který je dnes oslaben. V tom případě by z toho koncern profitoval. Nezávisle na volbě prezidenta se však zdá, že nově otevíraný závod v Texasu, který bude vyrábět železnou houbu jako předprodukt pro surové železo, bude stát mnohem víc, než se dosud předpokládalo. Náklady nabobtnaly na dobrých 900 milionů € a tím o více než polovinu víc, než bylo doposud sdělováno, jak píše rakouský deník „Der Standard“ s odvoláním na insidery. Těžbou břidlicového plynu vyvolaný stavební boom v Texasu totiž vyhnal ceny stavebních surovin do výšek. I přes Trumpem oznámená cla na zboží z Mexika vyhlásil finanční šéf VoestAlpine Robert Ottel, že rozhodnutí o plánované investici v Mexiku padne ještě v tomto roce. Ocelářský koncern chce následovat velké automobilové koncerny a v příštích 12 až 18 měsících realizovat v Mexiku projekty pro dodávání autodílů. VoestAlpine ovšem také bojuje se stoupajícími náklady na suroviny jako železnou rudu a koksovateľné uhlí. Proto také koncern z rakouského Lince v první polovině obchodního roku 2016/2017 vydělal méně. Přesto se hodnota akcií zvýšila minulý týden o 3,8 % na 33,75 € Burzovní hodnota se v průběhu uplynulých pěti let zvýšila téměř dvakrát na 6 miliard €