

## **Dosahování vynikajících kombinací mechanických vlastností u vícefázových ocelí řízeným vývojem mikrostruktury**

**Masek, Bohuslav; Klauberova, Danuše; Staňková, Hana; Malina, J.**

**Západočeská Univerzita v Plzni, Fakulta Strojní, FORTECH, Univerzitní 22,  
CZ-30614, Česká republika  
masekb@kmm.zcu.cz, d.klauberova@seznam.cz, hstankov@kmm.zcu.cz**

### **Abstrakt**

Současný trend vývoje v automobilovém průmyslu je snižování hmotnosti dílů při současném zvyšování bezpečnosti cestujících a snižování výrobních nákladů. Pro podporu tohoto trendu jsou vyvíjeny nízkolegované ocele s vysokou pevností, které jsou ekonomicky výhodné a vytvářejí jednu z cest jak dosahovat úspor v hmotnosti součástí.

Experiment se zabýval termomechanickým zpracováním nízkolegovaných vysokopevných ocelí. Zpracování bylo provedeno na termomechanickém simulátoru FORTECHu. Tento simulátor umožňuje přesné řízení teplotního a deformačního režimu včetně provedení rychlé inkrementální deformace. Cílem experimentu bylo dosáhnout kombinaci vysoké pevnosti při současném zachování relativně vysoké tažnosti. Pro získání takových vlastností byla zvolena aplikace speciálního tepelného zpracování (Q&P proces). Tímto zpracováním byla získána mikrostruktura tvořená martenzitickou maticí a jemně rozptýleným zbytkovým austenitem mezi martenzitickými jehlicemi. Mikrostruktura ocelí po termomechanickém zpracování byla analyzována pomocí světelného, konfokálního a řádkovacího elektronového mikroskopu.

### **1. Úvod**

V současné době se objevuje na trhu celá řada nových materiálů, pro které je nutno najít nové optimální technologie a postupy zpracování. Jednou z efektivních možností jak toho dosáhnout, je i materiálové modelování na termomechanickém simulátoru, což umožňuje vytvoření virtuálního technologického zařízení. S jeho pomocí lze ověřovat chování materiálů a stanovovat praxí velmi často požadované rozsahy parametrů. Stejně tak lze velmi hospodárně modifikovat a optimalizovat stávající technologie, vyvíjet nové strategie zpracování, vyvíjet nové materiály i legovací koncepty, modifikovat struktury a optimalizovat mechanické vlastnosti bez provozních rizik.

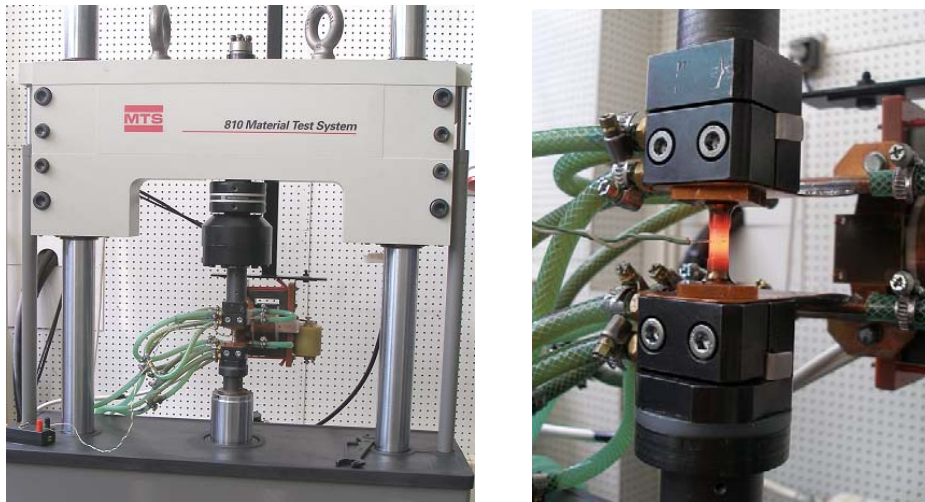
### **2. Simulátor termomechanického zpracování**

Ve Výzkumném centru tvářecích technologií FORTECH na ZČU v Plzni byl uveden do provozu nový simulátor pro přesné modelování náročných termomechanických aplikací (Obr. 1).

Díky pokročilé technice, kterou v současné době představuje simulátor termomechanického zpracování (TMZ simulátor), se podařilo dosáhnout toho, že současný stav modelování umožňuje nastavit přesné teplotní průběhy a parametry deformace tak, jak je tomu ve skutečném procesu, nebo jak by tomu mohlo ve skutečném procesu být v případě, že se jedná o vývoj nových technologií nebo materiálů, resp. struktur [1].

Současné zařízení dovoluje realizovat velmi rychlé změny parametrů a přesně napodobit podmínky procesu. U ocelí se dosahuje teplotních gradientů přes 100°C za

vteřinu při ohřevu a 250°C za sekundu při ochlazování. Samozřejmostí je přesné monitorování procesu. Vedle vlastní vysoce přesné senzorky TMZ simulátoru jsou k dispozici i další externí monitorovací prostředky. Ty lze propojit s řídicím systémem.



**Obr.1** Termomechanický simulátor v Plzni

### 3. Experiment

Cílem experimentu bylo termomechanicky zpracovat nízkolegovanou ocel tak, aby byla dosažena vysoká pevnost kolem 2000MPa při současně vysoké zbytkové tažnosti. Pro získání takovýchto vlastností bylo aplikováno speciální tepelné zpracování, tzv. Q&P proces (Quenching and Partitioning). Q&P procesem lze po optimalizaci parametrů dosáhnout vhodné mikrostruktury skládající se z jemného martenzitu a fóliovitého zbytkového austenitu, která je schopna zabezpečit požadované mechanické vlastnosti.

#### 3.1. Materiál

Pro experimenty byla použita nízkolegovaná vysokopevná ocel s obsahem uhlíku 0,4% - CSiMnCr (Tab. 1) s výraznějším množstvím křemíku kolem 2%. Vyšší obsah křemíku přispívá k intenzivní stabilizaci zbytkového austenitu a potlačení tvorby karbidů. Celkově nízký obsah legujících prvků zaručuje ekonomickou výhodnost této ocele.

| Materiál | C<br>[hm.%] | Si<br>[hm.%] | Mn<br>[hm.%] | Cr<br>[hm.%] | Mo<br>[hm.%] | Al<br>[hm.%] | Nb<br>[hm.%] | B<br>[hm.%] | Cu<br>[hm.%] |
|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| CSiMnCr  | 0,42        | 2,04         | 0,58         | 1,34         | 0,02         | 0,005        | 0,04         | 0,003       | 0,13         |

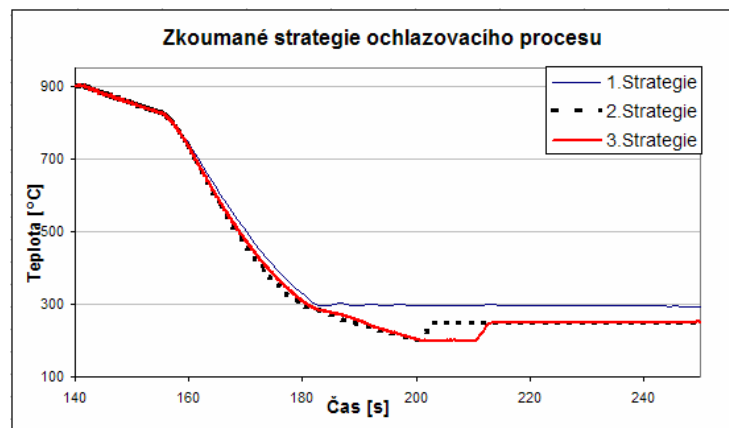
**Tabulka 1** Chemické složení materiálu v hm. %

#### 3.2 Termomechanické zpracování

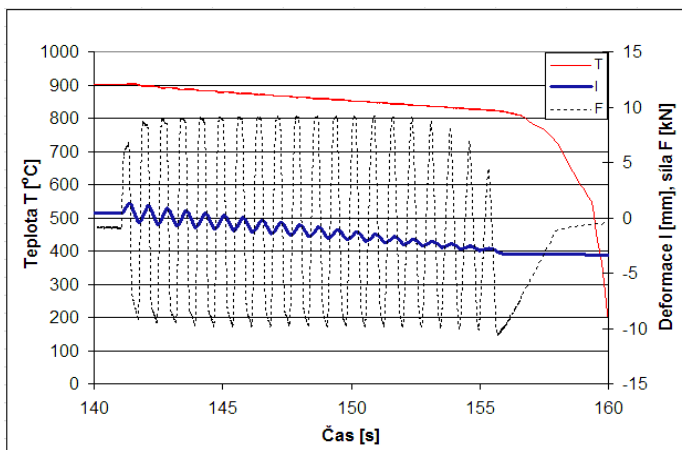
Pro experiment zvolený Q&P proces [2,3] spočívá v rychlém zakalení materiálu hluboko pod teplotu  $M_s$  tak, aby nedošlo k proběhnutí martenzitické přeměny v celém objemu. Výsledná struktura procesu je martenzitická matrice se zbytkovým austenitem. Následný ohřev těsně pod  $M_s$  způsobí popuštění martenzitu a difúzi přebytečného uhlíku z martenzitu do zbytkového austenitu. Difúzí uhlíku z přesyceného martenzitu k netransformovanému austenitu se zvyšuje stabilita zbytkového austenitu při následném ochlazení na pokojovou teplotu. Cílem Q&P procesu je tedy dosažení velmi jemné martenzitické struktury s fóliovým zbytkovým austenitem.

Aby bylo možno, takovéto struktury dosáhnout, bylo nutno stanovit veškeré parametry procesu. Z dilatometrického měření byla zjištěna teplota  $A_{r3} = 840^{\circ}\text{C}$ . Na základě toho byla navržena teplota ohřevu na  $900^{\circ}\text{C}$  s prodlevou 100s. Poté následovaly tři různé strategie ochlazování. První strategie byla srovnávací s ochlazením na  $300^{\circ}\text{C}$  a s izotermickou výdrží (Obr. 2). Další dvě strategie byly realizovány s ochlazením na  $200^{\circ}\text{C}$ , kde byla nebo nebyla provedena prodleva. Pak následoval ohřev na  $250^{\circ}\text{C}$  a izotermická výdrž na této teplotě po dobu 600s.

Deformační proces (Obr. 3, Obr. 4) v teplotním intervalu při teplotě  $900^{\circ}\text{C}$  trval 10s a byl složen z 20-ti inkrementálních deformačních kroků tah tlak s celkovou logaritmickou deformací  $\varphi=5$ .



Obr. 2 Zkoumané strategie ochlazovacího procesu



Obr. 3 Inkrementální deformační proces



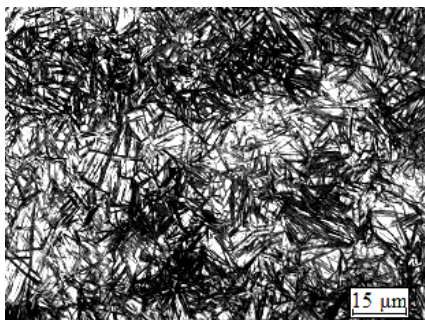
Obr. 4 Zkušební těleso před a po deformaci

### 3.3. Výsledky

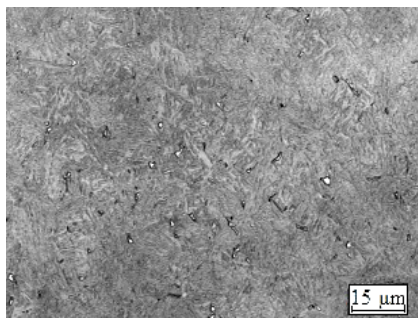
Pro porovnání výsledků všech tří procesů byl proveden metalografický rozbor, změřena tvrdost podle Vickerse a RTG analýzou zjištěno množství zbytkového austenitu.

V první porovnávací strategii pouze s izotermickou výdrží na  $300^{\circ}\text{C}$  s prodlevou 570s vznikla martenzitická struktura s 10-ti% podílem zbytkového austenitu, který byl dokumentovatelný i optickou mikroskopií (Obr. 5). Průměrné hodnoty tvrdosti HV10 i HV30 byly stanoveny na 602 HV.

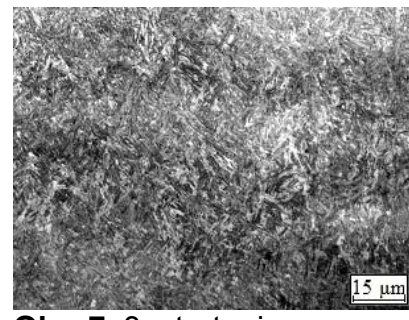
V dalších dvou strategiích byl aplikován Q&P proces. Strategií s ochlazením na 200°C bez následné prodlevy byla získána martenzitická mikrostruktura s jemně rozptýleným feritem a zbytkovým austenitem (Obr. 6). RTG analýzou byly zjištěny hodnoty zbytkového austenitu cca 15%. Dosažená tvrdost byla 546HV10 a 535HV30. U třetí strategie s 10s prodlevou na teplotě 200°C byla získána martenzitická struktura s výrazným množstvím zbytkového austenitu 16,5% (Obr. 7) a tvrdostí 546HV10 a 566HV30. Při metalografickém pozorování nebyl zbytkový austenit viditelný, byl však opakovaně detekován RTG analýzou.



**Obr. 5** 1. strategie  
ochlazování, martenzitická  
matrice se zbytkovým  
austenitem 10%



**Obr. 6** 2. strategie,  
martenzitická matrice se  
zbytkovým austenitem  
a rozptýleným feritem 15%



**Obr. 7** 3. strategie,  
martenzitická matrice se  
zbytkovým austenitem  
16,5%

#### 4. Závěr

Výsledky experimentu prokázaly široké možnosti ovlivňování vývoje struktury variováním ochlazovací strategie a parametrů Q&P procesu. I při poměrně malých změnách v charakteru ochlazování a délce prodlevy došlo k výrazné změně struktury. Aplikací Q&P procesu došlo k nárůstu podílu zbytkového austenitu až cca o 30 %. Lze předpokládat, že tyto struktury značně ovlivní výsledné mechanické vlastnosti, zejména vysoký součin hodnoty pevnosti a tažnosti. Tyto vlastnosti budou dále podrobeny analýze mechanickým zkoušením a na základě získaných výsledků budou provedeny další optimalizační kroky vedoucí ke zdokonalení Q&P procesu u tohoto druhu ocelí.

#### Poděkování

Tento článek vznikl za podpory Výzkumného centra tvářecích technologií - FORTECH, 1M06032, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni, Česká republika, 2008.

#### Literatura

- [1] Mašek, B. – Staňková, H. - Nový, Z.: Nové možnosti materiálového modelování pro návrhy a optimalizace kovářských technologií, Kovářenská konference, 2006.
- [2] Edmonds, D. V. - He K.- Rizzo F. C. - De Cooman B.C. - Matlock D.K. - Speer J.G.: Quenching and partitioning martensite – A novel steel heat treatment, Materials Science and Engineering A 438–440 (2006) 25–34, 2006.
- [3] Speer, J.G. – Assuncao, F.C.R. – Matlock, D.K. – Edmonds, D.V.: The „Quenching and Partitoning“ Process: Background and Recent Progress, Materials Research Vol.8, No.4, pp. 417-423, 2005.