

TITANEM STABILIZOVANÉ HLUBOKOTAŽNÉ OCELI

Eva SCHMIDOVÁ, Josef TOMANOVÍČ

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, CZ, e-mail: eva.schmidová@upce.cz, j.tomanovic@seznam.cz

ABSTRAKT:

Příspěvek se zabývá problematikou vlivu primárních a sekundárních precipitátů na plasticitu materiálu, tzn. IF ocelí (Interstitial Free Steels).

Intersticiální atomy uhlíku a dusíku, mají výrazný vliv na deformační chování IF ocelí.

Tažnost těchto ocelí může být dále zvýšena vhodným výběrem termomechanického zpracování a prostřednictvím minimalizace obsah dusíku a uhlíku z tuhého roztoku.

Velice jemné precipitáty vznikají jako důsledek technologického postupu výroby plechů a ovlivňují tak tvařitelnost materiálu.

1. Úvod

Na materiály pro výrobu karosérií osobních automobilů jsou kladeny vysoké požadavky, vedle dostatečné plasticity materiálu je nutná i vysoká absorpce energie při havárii vozidla a nezbytná odolnost materiálu proti korozi. Pro výrobu tvarově složitých dílů musí polotovar disponovat vysokými hodnotami parametrů plasticity, podmíněnými specifickými nároky na metalurgickou kvalitu a usměrněnou texturu v procesu tváření polotovaru.

Rozličné požadavky na materiálové vlastnosti jednotlivých částí karosérie vedou k vývoji ocelí pro úzký okruh aplikací. Jednou z perspektivních kategorií materiálů pro karoserie v automobilovém průmyslu jsou tzv. IF oceli (oceli „bez intersticií“) a oceli s tzv. BH („bake hardening“) efektem, u nichž je dosaženo zpevnění při teplotách vypalování laků, které byly vyvinuty v polovině osmdesátých let dvacátého století. Oba typy jsou určeny pro karosářské výlisky s vysokým stupněm přetvoření.

Bylo prokázáno, že velké množství intersticiálních prvků, jakou jsou C, N v tuhém roztoku snižují plasticitu IF ocelí, nepříznivý je rovněž vliv na exponent deformačního zpevnění.

Nárůst plasticity u IF ocelí je dosažen snížením koncentrace uhlíku v tuhém roztoku na hodnotu $C < 0,005 \%$ a mikrolegováním Ti, Nb, resp. kombinací Ti + Nb, které zcela vyváží interstitické prvky C, N formováním stabilních precipitátů, tj. karbidů typu TiCN, NbCN. Struktura oceli je tvořena čistým feritem a její vlastnosti jsou podstatně ovlivněny velikostí feritického zrna. V důsledku nepřítomnosti intersticií má IF ocel nízkou mez kluzu, nízký exponent

deformačního zpevnění n (0,2-0,28) a vysokou hodnotu tažnosti a koeficientu normálové anizotropie r . IF oceli jsou vhodné na tvarově složitě díly karoserie, jako jsou např. blatníky, kryty dveří, aj. Vyrábějí se lisováním při náročných podmínkách hlubokého tažení. Tyto oceli jsou rovněž odolné vůči stárnutí např. i po žárovém zinkování.

IF oceli dosahují optimální plasticity u textury typu {111}. K degradaci plasticity vede rovněž změna krystalografické textury z příznivé orientace {111} na {100} [1].

Odpor proti pohybu dislokací zvyšují precipitáty, a to v závislosti na jejich prostorovém rozmístění a objemovém podílu. IF oceli obsahují velmi malé množství legujících prvků, objemový podíl precipitátů je rovněž velmi malý, cca 10^{-4} až 10^{-5} [2].

2. Hodnocení metalurgické jakosti

V rámci vstupních experimentů pro hodnocení dynamického lomového chování IF ocelí byly provedeny základní materiálové analýzy daného typu hlubokotažného materiálu. Cílem těchto analýz bylo zjistit vliv primárních vs. sekundárních precipitátů na tvařitelnost IF ocelí, rozlišení rozhodujících tendencí strukturních, resp. fázových změn v souvislosti s omezením plasticity.

Chemické složení analyzovaných vzorků titanem stabilizované oceli uvádí tab.1.

Tab. 1 Chemické složení hodnocené části karoserie [hm. %]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
<0,01	0,07	<0,01	0,006	0,004	0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01
Al	Nb	Ti	B	O₂	N₂				
0,060	<0,01	0,06	<0,0005	0,0024	0,0026				

Stabilizace oceli je založena na působení především Ti a Al. Jejich vliv na plasticitu spočívá vedle schopnosti vázat rozpuštěné intersticiály, rovněž v tendenci stabilizovat zrno formováním jemných precipitátů.

Vedle přítomných precipitátů jako „primárních“ produktů odstraňování intersticiálních atomů mikrolegurami TiN, TiCN byla lokálně zjištěna tvorba velice jemných precipitátů, vznikajících v průběhu navazujících operací při zpracování plechů. Přítomnost těchto precipitátů má značný vliv na mikrostrukturu a její následné mechanické vlastnosti. V návaznosti na jednotlivé etapy výroby oceli i finálního polotovaru lze principiálně uvažovat následující možné typy vyskytujících se precipitátů:

- 1) TiN – vznikají při krystalizaci (v litém stavu) na hranicích zrna i ve feritické matici,
- 2) TiS, Ti₄C₂S₂ – vznikají dodatečně při opakovaném ohřevu a tváření za tepla (1250°C – 950°),
- 3) TiC – vznikají při rekrystalizaci.

Identifikace konkrétních sekundárních fází, při definované plastické kapacitě testovaného materiálu, byla provedena metodou energiové mikroanalýzy. U velice jemných precipitátů pod $1\mu\text{m}$ byly výsledky částečně ovlivněny maticí.

Jako výchozí byly provedeny analýzy typických inkluzí, kdy byl zjištěn nízký výskyt nitridů, resp. karbonitridů titanu a komplexních oxidů převážně na bázi hliníku a vápníku, v menším zastoupení s podílem křemičitanů. Častá byla kombinace Al_2O_3 a TiCN , v případě kombinace se sulfidy tyto nečistoty vznikaly jako obálka oxidických jader vměstků, působících jako nukleační zárodky. Morfologie inkluzí byla ovlivněna následným tvářením materiálu, jelikož se jedná o křehké neplastické fáze, tak byly převážně rozdrobeny ve směru tváření. Dále byl zjištěn výskyt nitridů hliníku. Vyskytující se inkluze vedou k iniciaci mikrotrhlin a ke změně morfologie a průběhu lomu. Zjištěný výskyt nečistot typu TiN (TiCN), Al_2O_3 a komplexů typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$ dosahoval rozměry v intervalu od 5 do $15\mu\text{m}$.

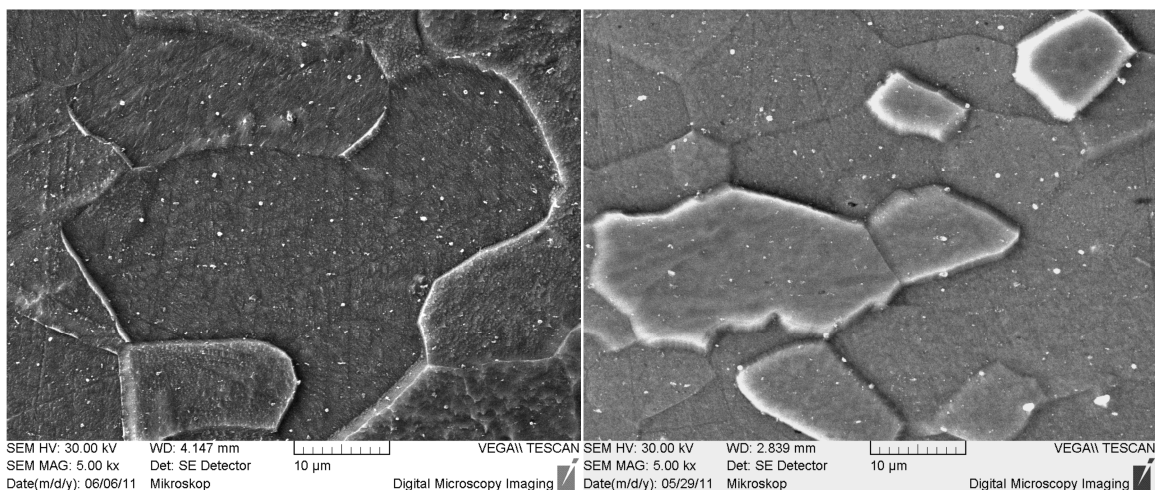
Plasticita u hodnoceného typu materiálu je omezena zejména distribucí jemných sekundárních precipitátů o velikosti od 50 do 500 nm. Výsledky provedených chemických analýz odpovídají u Ti-stabilizovaných ocelí fázím z následujícího sortimentu precipitátů jako jsou TiN , TiS , TiC a $\text{Ti}_4\text{C}_2\text{S}_2$, které vedou k eliminaci N, C a S z tuhého roztoku.

V průběhu nebo po tvářením za tepla a během opakovaného ohřevu dochází k rozpouštění těchto precipitátů, a dalším možným postupům reprecipitace, buď v přímé reakci na technologický postup výroby plechů, nebo v režimu žíhání. Uplatňuje se tak několik možných procesů stabilizace uhlíku:

- $\text{Ti}_4\text{C}_2\text{S}_2$ precipitují nezávisle,
- TiC nukleuje na TiS ,
- TiS precipituje jako první a pak transformuje na $\text{Ti}_4\text{C}_2\text{S}_2$.

Evidovány byly precipitáty typu TiS nebo $\text{Ti}_4\text{C}_2\text{S}_2$ – viz distribuce na **obr.1.2**. V případech evidence pouze Ti byly uvažovány precipitáty TiC a TiN , které jsou rozlišitelné podle tvaru a velikosti. Fáze TiC jsou jemnější a sférické, zatímco TiN hrubší a kuboidní. Sulfidy a karbosulfidy titanu mají komplexní tvar, kdy k jejich rozlišení lze použít změnu poměru Ti/S:

- $\text{Ti/S} = \text{cca } 2$ u $\text{Ti}_4\text{C}_2\text{S}_2$,
- $\text{Ti/S} = \text{cca } 1$ u TiS .



Obr. 1,2Jemné intrakrystalické precipitáty materiálu jakosti - výchozí stav zv. 5000x

Problematické jsou situace, kde poměr Ti/S se mění kontinuálně od 2 do 1 v rámci stejných částic. To indikuje, že částice TiS jsou připojeny k $Ti_4C_2S_2$, popř. TiS koexistují v rámci těch samých částic, formovaných jako sendvičový kompozit.

Zjištěna přítomnost síry u krystalických inkluzí titanu nad cca $2\mu m$, znamená procesy, kde TiS nebo $Ti_4C_2S_2$ koprecipitovaly na TiN. V tomto případě poměr Ti/S nelze použít k určení precipitátů typu TiS nebo $Ti_4C_2S_2$.

Posoudíme-li technologické procesy vzniku výše popsaných precipitátů (z vyskytujících se typů TiC a $Ti_4C_2S_2$) při rozlišení etap stabilizace, tak zjistíme:

- rozpouštění TiS během žíhání při vysokých teplotách (nad cca $950^\circ C$),
- následné formování jemných TiC a $Ti_4C_2S_2$, (transformace z TiS) při teplotách (nad cca $800^\circ C$),
- potěvznik jemných komplexů Ti-S-C (s vysokým poměrem Ti/S až = 2).

Z výsledků provedených analýz vyplývá, že u posuzovaného materiálu došlo k precipitaci jemných sulfidů, nebo karbosulfidů titanu. U jemných precipitátů (pod $0,5\mu m$), které nevykazovaly přítomnost síry, lze vyvodit, že se jedná o karbidy.

Formování zrn s požadovanou texturou, a tím i plasticitu oceli, brzdí především mezifázová precipitace. V případě nedostatečné rychlosti ochlazování v intervalu teplot, kde probíhá transformace na ferit, působí rozvíjející se mezifázové rozhraní jako rychlá difuzní stopa pro uhlík. U zvýšené rychlosti ochlazování se disperzní malé precipitáty formují ve feritu. Jejich vznik je možný při podstatně nižších teplotách, tj. před nebo po svinování plechů. Při těchto teplotách nukleují jemné precipitáty (tj. karbidy a metastabilní fáze) podél dislokací a hranic zrn.

V rámci provedených analýz nebyla pozorována distribuce těchto fází po hranicích zrn nebo v jiné preferenční distribuci. Lze tedy vyvodit, že rychlost migrace fázového rozhraní byla dostatečně velká a vedla k formování karbonitridů až ve feritické matici. Plasticita tohoto typu materiálů může být rovněž

ovlivněna precipitací podstatně jemnějších fází (řádově 10nm) v krystalografické závislosti feritu, které nejsou rozlišitelné danou metodou.

Identifikace těchto fází, a především jejich kvantitativní hodnocení vyžaduje vysoké rozlišení, např. transmisní elektronovou mikroskopií. U těchto metod se hodnocení omezuje na velice malé referenční plochy. Alternativou jsou stále ověřované specifické metody (měření termoelektrické energie).

4. Závěr

Chemické mikroanalýzy prokázaly u posuzovaného materiálu výskyt jemných precipitátů typu sulfidů a karbosulfidů titanu, které mají podstatně výraznější negativní vliv na plasticitu, než zjištěný výskyt inkluzí. U všech pozorovaných precipitátů (rovněž u výskytu karbidů a nitridů) byla zjištěna nahodilá, intrakrystalická distribuce, bez tendence vyloučení v reakci na strukturu (jako je mezifázové, interkrystalické nebo krystalograficky orientované vyloučení s intenzivnějším degradačním vlivem na plasticitu).

Velice jemné karbidické fáze (velikosti řádově 10nm), které mají degradační vliv na plasticitu kupř. při mezifázovém vyloučení, nejsou touto metodou rozlišitelné.

Poděkování:

Výzkum byl podporován Univerzitou Pardubice v rámci Studentské grantové soutěže, projekt č. 51030/20/SG520001.

LITERATURA

- [1] HOSFORD, W. F. CADDELL, R. M. Metal Forming, Mechanics and Metallurgy, sec. ed., Prentice-Hall, Inc., 1993
- [1] DIETER, G. E. Mechanical Metallurgy, th ed., Mc Graw-Hill Book Comp., N. Y., 1986