

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta strojního inženýrství  
Ústav materiálového inženýrství – odbor slévárenství

**Ing. Antonín Joch**

**VÝVOJ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ SE ZVÝŠENOU  
ŽIVOTNOSTÍ PRO SKLÁŘSKÉ NÁSTROJE**

THE DEVELOPMENT OF METALLIC MATERIALS  
FOR GLASS-TOOLING WITH INCREASED LIFETIME

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

**Obor:** Strojírenská technologie

**Školitel:** prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.

**Oponenti:** prof. Ing. Karel Hrbáček, DrSc.  
prof. Ing. Karel Stránský, DrSc.  
prof. Ing. Zdeněk Jonšta, CSc.

**Datum obhajoby:** 3. 12. 2003

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

rozvlákňovací disk, mez pevnosti, mez kluzu, tažnost, vrubová houževnatost, mez pevnosti při tečení, životnost materiálu, plasticita materiálu, vysokoteplotní koroze

## **KEY WORDS**

fiberizing disc, tensile strength, yield point in torsion, elongation, notch toughness, creep, life-time of material, plasticity of material, high-temperature corrosion

## **MÍSTO ULOŽENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE**

oddělení pro vědu a výzkum FSI VUT v Brně

© 2004 Antonín Joch  
ISBN 80-214-2589-X  
ISSN 1213-4198

# 1 OBSAH PRÁCE

1	OBSAH PRÁCE.....	3
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY .....	5
3	CÍL PRÁCE .....	8
4	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ .....	9
4.1	Výběr vhodných niklových superslitin .....	9
4.2	Návrh prvního experimentálního řešení.....	10
4.3	Návrh modifikovaných slitin .....	11
4.4	Návrh druhého experimentálního řešení .....	12
5	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE.....	12
5.1	Mechanické hodnoty.....	12
5.2	Creepové zkoušky.....	15
5.3	Popis mikrostruktur .....	18
5.4	Výsledky kvantitativní strukturní analýzy .....	18
5.5	Kinetika oxidace .....	19
6	ZÁVĚR.....	19
7	SHRNUTÍ / SUMMARY .....	21
8	POUŽITÁ LITERATURA .....	25
9	SEZNAM AUTOROVÝCH PUBLIKACÍ.....	27
10	AUTOROVO CURRICULUM VITAE .....	30



## 2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Požadavky a nároky odběratelů sklářských nástrojů na jejich životnost neustále vzrůstají. Speciální kovové žárupevné materiály se zvýšenou životností v kombinaci s technologií přesného lití metodou vytavitelného modelu do značné míry tyto požadavky splňují. Použitím konkrétních litých žárupevných slitin pro sklářské účely se již dříve zabývala slévárna přesného lití První brněnské strojírny ve Velké Bíteši ve spolupráci s jednotlivými odběrateli sklářských nástrojů. O problematice užití litých žárupevných slitin je podrobně pojednáno také v [1].

Obecně vysoké žárupevnosti niklových slitin je dosahováno zpevněním základní hmoty fází  $\gamma'$ , což je nejčastěji intermetalická fáze  $\text{Ni}_3(\text{Ti},\text{Al})$ , případně niklem s dalšími prvky, jako Nb a Ta [2 - 5]. Tato vytvrzující fáze může být ve slitině obsažena až do 65 % objemu kovu. Matrice je dále zpevňována karbidy, stabilními do vysokých teplot a kovy rozpuštěnými v tuhém roztoku, které zvyšují jeho pevnost.

Existují tři hlavní mechanismy zpevnění, které přispívají k mimořádným žárupevným vlastnostem těchto materiálů [6]:

- a) vytvrzení fází  $\gamma'$ , případně podobnými intermetalickými fázemi (tento mechanismus je pro vlastnosti slitin určující)
- b) zpevnění tuhého roztoku niklu legujícími přísadami, zejména wolframem a molybdenem
- c) zpevnění slitiny karbidy vyloučenými uvnitř a na hranicích zrn

Vývoj niklových superslitin, určených pro vysoké provozní teploty se v posledních letech ubíral dvěma základními směry:

- zlepšováním vysokoteplotních mechanických vlastností zvyšováním horní teplotní hranice stability základní vytvrzující fáze  $\text{Ni}_3(\text{Ti},\text{Al})$  za současného zpevnění tuhého roztoku přísadami těžkovitelných kovů, které tvoří současně i vysoce stabilní karbidy.
- rozvíjením odolnosti vůči vysokoteplotní korozi, v poslední době pak zlepšováním vysokoteplotních mechanických vlastností u korozně vysoce odolných slitin.

Moderně koncipované žárupevné niklové slitiny dosahují do určité míry mimořádných mechanických vlastností za vysokých teplot na úkor obsahu chromu, tedy na úkor odolnosti slitiny proti vysokoteplotní korozi. Snaha dosáhnout co

nejpříznivějších vysokoteplotních vlastností niklových slitin vede k legování přísadami na samou hranici únosnosti.

Slitiny odolné vysokoteplotní oxidaci jsou legovány chromem v koncentracích 25 až 45 % hm. Do slitin pro náročná provozní prostředí bývá ještě legován molybden. Často je do těchto slitin přidáváno i železo v koncentracích do 10 % hm, které příznivě ovlivňuje plastické vlastnosti a snižuje cenu slitiny. Ve speciálních případech se užívají i slitiny se zvýšeným obsahem křemíku, bóru a hliníku. Obsah uhlíku bývá u těchto slitin nízký, neboť vede k precipitaci karbidů chromu a snižuje tak korozní odolnost slitiny. Vzhledem k přednostnímu vylučování karbidů chromu na hranicích zrn se snižuje především odolnost k interkrystalické korozi. Nízká koncentrace uhlíku a nemožnost vytvrzení slitiny fází  $\gamma'$  má za následek nízké hodnoty pevnosti těchto slitin za normální i vysoké teploty.

V současné době je perspektivní vývoj žáruvzdorných slitin zpevněných karbidy těžkovatelných kovů. Pro další vývoj těchto slitin a jejich rozšíření v technické praxi je nezbytné poznání závislosti mikrostruktury na chemickém složení a nalezení vztahů mezi mikrostrukturou a vysokoteplotními mechanickými a fyzikálními vlastnostmi.

### Rozvlákňovací jednotky

Při výrobě skleněných vláken s omezenou délkou (tzv. střížových vláken) se vlákna tvarují využitím principu odstředivého pohybu skloviny a kinetické energie horkých spalin. Schéma zařízení je na obr. 1 a jeho funkce je následující: Proud skloviny (1) při teplotě 1000 až 1050 °C vytéká z tavicího agregátu (2) na dno rozvlákňovacího disku (3), který pracuje při otáčkách cca 2300 min<sup>-1</sup>, upevněného na hřídeli (4). Tekutá sklovina je odstředivou silou hnána laserem vypálenými tryskami (5) v obvodové stěně rozvlákňovacího disku (3) do prostoru hořáků (6). Spaliny z hořákových štěrbin (7) proudí vysokou rychlostí a strhávají ztuhlou skelnou vatu na dopravní pás (8) k dalšímu zpracování. Vlákna (9), která tímto způsobem vznikají, mají střední průměr od 7 do 10  $\mu\text{m}$  a jsou pevná, pružná a prostá podílu tzv. nevláknitých frakcí, tj. granálií a kapek.

Nejvíce mechanicky i tepelně je namáhán rozvlákňovací disk, což znamená, že zde prvořadou úlohu hrají právě mechanické vlastnosti  $R_{p02}$ ,  $R_m$ ,  $A_5$ ,  $Z$ ,  $KCU_2$  a creepová odolnost, která je charakterizována dobou do lomu  $t_f$  a lomovým prodloužením  $\epsilon_f$ .

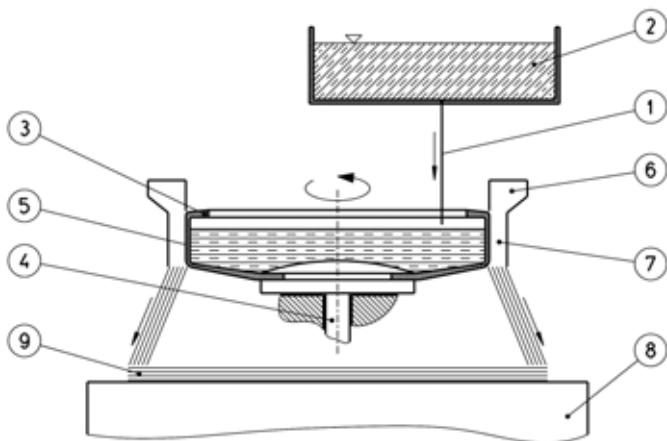
Pro potřeby tuzemského výrobce skelné vaty byly ve slévárně přesného lití První brněnské strojírny ve Velké Bíteši nejprve vyráběny technologií přesného lití s využitím vytavitelného modelu tzv. předtvarovací hlavy a rozdělovače ze žárupevné slitiny typu LVN 4+Cr. Po přechodu na odlišný způsob uspořádání rozvlákňovací jednotky a pro odstranění dovozu rozvlákňovacích disků z USA,

byla se svolením odběratele odlitků použita speciální žárupevná americká slitina s označením „145“. Výsledky v porovnání se zahraničními rozvláknovacími disky nebyly zcela uspokojivé a proto bylo přikročeno k použití technologicky méně náročné superslitiny s označením „141“. S tím však již souvisela i změna tvaru rozvláknovacího disku.

Těmito opatřeními se podařilo podstatně zvýšit životnost, která je v současné době vyšší než u zahraniční konkurence.

Jak je uvedeno výše, ve snaze odstranit závislost na dovozu rozvláknovacích disků, bylo započato ve slévárně přesného lití První brněnské strojírny Velká Bíteš s vývojem technologie lití těchto odlitků, přičemž mimo výkresové dokumentace obrobeneho dílce bylo k dispozici pouze směrné chemické složení v zahraničí používaných materiálů. Jedná se o superslitiny na bázi niklu, které se v České republice nevyrábí. Proto bylo nutné nejprve stanovit přípustné hranice chemického složení těchto slitin, stanovit jejich strukturní stabilitu s ohledem na nepřipustnost jejich křehnutí v důsledku tvorby nežádoucích fází během provozu a zvládnout celou metalurgii druhování komponent, tavení a vlastního odlévání odlitků

Obr. 1



### 3 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je postupné naplnění programů následujících etap:

#### **První část experimentu**

1. Vytypovat lité modelové žárupevné materiály pro vlastní experiment
2. Navrhnout metalurgické postupy druhování, tavení a lití
3. Odlít zkušební tyče technologií vytavitelného modelu
4. Zkušební tyče mechanicky obrobit
5. Zjistit mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů
6. Provést creepové zkoušky jednotlivých materiálů
7. Vyhodnotit dosažené výsledky

#### **Druhá část experimentu**

1. Na základě získaných výsledků vytvořit minimálně dvě modifikované slitiny
2. Realizovat body 2 až 7 (viz. první část experimentu)
3. Odlít rozvláknovací disky technologií vytavitelného modelu ze všech zkoumaných materiálů, podrobit je zkoušce barevnou kapilární defektoskopií, případně RTG a následně je obrobit, vyvážit a odzkoušet na pracovním stroji pro výrobu skelné vaty s posouzením životnosti komparačním způsobem



## 4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

### 4.1 Výběr vhodných niklových superslitin

Jako modelové slitiny byly vytypovány celkem dvě v České republice naprosto metalurgicky, ale i po stránce mechanických hodnot neznámé slitiny, a to niklové superslitiny s označením „145“ a „141“. Obě slitiny byly připraveny jako tavby, které byly nadruhovány z komponentů a následně odlity na vakuové peci Hvoi 35 Degussa ve slévárně přesného lití První brněnské strojírny ve Velké Bíteši.

Pro účel prvního experimentu bylo tedy celkem připraveno osm taveb. Materiály označené „141“ a „145“ se liší přísadou železa. Slitina „145“ není legována železem a má zvýšený obsah karbidotvorných prvků (W, Zr). Od slitiny „145“ byly proto očekávány především lepší pevnostní vlastnosti za teplot okolo 1000 °C.

Slitiny budou sledovány v litém stavu a bude hodnocena jejich mikrostruktura, mechanické a creepové vlastnosti. Jako třetí v pořadí byla zvolena komerčně vyráběná slitina německé provenience, její chemické složení je blízké slitině „141“. Slitina je vyráběna pod označením 2.4879 (G-NiCr28W). Tato slitina bude analyzována ve dvou variantách. Jednak jako modelová tavba, zakoupená od firmy Edgar Hassenburg ze SRN, jednak jako pět provozních taveb. Tyto provozní tavby byly rovněž druhovány a následně vyrobeny na vakuové peci Hvoi 35 Degussa ve slévárně přesného lití První brněnské strojírny ve Velké Bíteši. Navzájem se liší zejména vyšším obsahem železa. Dále budou vzorky těchto slitin dlouhodobě žihány při teplotách 900, 1000 a 1100 °C. Během těchto operací budou sledovány změny mikrostruktury a tvrdosti. Při žihání za teploty 900 °C budou rovněž posuzovány změny pevnosti v tahu a vrubové houževnatosti. Chemické složení všech tří superslitin je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 Chemické složení modelových slitin

	Slitina „145“	Slitina „141“	Slitina 2.4879
prvek	koncentrace přísad v % hm		
C	0,30	0,31	0,41
Mn	0,15	0,89	0,77
Si	1,00	1,10	1,20
Cr	32,0	23,5	29,6
Fe	0,10	14,94	13,3
Nb	-	-	-
Ta	0,95	-	-
W	7,43	5,13	4,58
Co	-	-	-
Cu	-	0,05	-
P	-	0,009	0,008
S	-	0,005	0,010
Ni	zbytek	zbytek	zbytek
Zr	1,04	-	-

#### 4.2 Popis prvního experimentu

Technologií vytavitelného modelu byly postupně odlévány jednotlivé rozvláknovací disky s přilítnými 7 ks zkušebních tyčí, z důvodu objektivního posuzování provozní životnosti disků a příslušných mechanických hodnot.

Stejný postup výroby se opakoval pro každou základní tavbu, zhotovenou na vakuové tavicí peci Hvoi 35 Degussa, o obsahu kelímku 250 kg.

Po apretaci vtokové soustavy byly odlité zkušební tyče odděleny rozbrušovací pilou, označeny shodně s konkrétním odlitkem disku a následně obrobena na potřebný tvar.

Mechanické a creepové vlastnosti všech jednotlivých slitin z dodaných obrobenech zkušebních tyčí byly zjišťovány v UJP Praha a.s. Nad Kamínkou 1345, Praha-Zbraslav. Rovněž v tomto ústavu byla posuzována strukturní stabilita a kinetika oxidace.

Zkoušky provozní životnosti rozvláknovacích disků budou prováděny ve spolupráci s tuzemským výrobcem skelné vaty Union Lesní Brána a.s. Novosedlická 125, Dubí.

### 4.3 Návrh modifikovaných slitin

Na základě zjištěných skutečností z první série zkoušek mechanických hodnot byla modifikována slitina typu „141“, a to na dvě provedení s označením „141H“ a „141I“. Limitujícím kritériem při návrhu těchto slitin bylo číslo elektronových vakancí, které dle [7] nesmí přesáhnout hodnotu  $N_v = 2,35$ . Navržené slitiny uvedené podmínce vyhověly. Také z těchto dvou slitin byly stejným způsobem získány zkušební tyče pro zjištění mechanických a creepových hodnot a mikrostruktury. V dalším byl na základě zkoumání lomových ploch zpracován Fraktografický atlas všech v této práci uvedených modelových slitin [8] a také bylo provedeno velice rozsáhlé studium chemické a strukturní mikroheterogenity těchto slitin [6].

#### Modifikovaná slitina typu „141H“

Byly navrženy dvě modifikované slitiny, přičemž slitina „141H“ je jedna z nich. Při návrhu bylo vycházeno z již známých mechanických vlastností předchozích modelových slitin, z jejich strukturní stability, z kinetiky oxidace a z čísla elektronových vakancí. Všechny hodnoty a potřebné poznatky získal opět UJP Praha, a.s. z dodaných vzorků a zkušebních tyčí, které byly odlity a obrobeny v První brněnské strojárně Velká Bíteš, a.s.

Modifikovaná slitina „141H“ v porovnání s modelovou slitinou „145“ má mírně zmenšen obsah chromu, podstatně zvýšen obsah železa, je zde vypuštěna stabilizace tantalem. Dále byl snížen obsah wolframu a v modifikované slitině se na rozdíl od modelových slitin nachází kobalt. Celkové chemické složení této modifikované slitiny je v tabulce 2.

Tabulka 2 Chemické složení modifikovaných slitin

Slitina	Koncentrace přísad v % hm													
	C	Mn	Si	Cr	Fe	Nb	Ta	W	Co	Cu	P	S	Ni	Zr
„141H“	0,27	0,22	0,36	27,8	8,72	1,84	-	4,02	3,07	0,05	0,004	0,004	zb.	-
„141I“	0,34	0,58	0,55	26,9	7,97	0,99	0,93	4,94	4,47	0,05	0,004	0,006	zb.	-

## Modifikovaná slitina typu „141I“

O sestavení této modifikované slitiny platí totéž jako u slitiny „141H“. Slitina „141I“ se v porovnání se slitinou „141H“ liší prakticky v legování tantalem pro zajištění její stabilizace. Všechny ostatní prvky jsou v podstatě shodné s předchozí slitinou. Její chemické složení je uvedeno na základě tavební analýzy rovněž v tabulce 2.

### 4.4 Návrh druhého experimentu

Technologií, vytvořenou ve slévárně přesného liti v První brněnské strojárně ve Velké Bíteši byly opět postupně odlity jednotlivé rozvlákňovací disky s přilítnými 7 ks zkušebních tyčí, a to z modifikovaných materiálů „141H“ a „141I“.

Po apretaci vtokových soustav a odlitků byly jednotlivé zkušební tyče označeny shodně s konkrétním odlitkem rozvlákňovacího disku a obrobena na požadovaný tvar. I v tomto druhém experimentu byly mechanické a creepové vlastnosti obou slitin zjišťovány z dodaných obrobena zkušebních tyčí v UJP Praha, a.s.. Také zde byla posuzována i strukturní stabilita a kinetika oxidace.

Dosažené mechanické a creepové hodnoty, včetně mikrostruktury modifikovaných slitin byly porovnány s výsledky z prvního experimentu a vyvozeny příslušné závěry.

## 5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

### 5.1 Mechanické hodnoty

U zkoumaných modelových slitin typu „145“, „141“, 2.4879 a pěti slitin, vyrobených jako provozní tavby, byly postupně získávány jednotlivé mechanické hodnoty.

Bylo snahou zachytit hodnoty v co nejširším rozsahu teplot, což znamená 20 až 800, 900, případně 1000 °C.

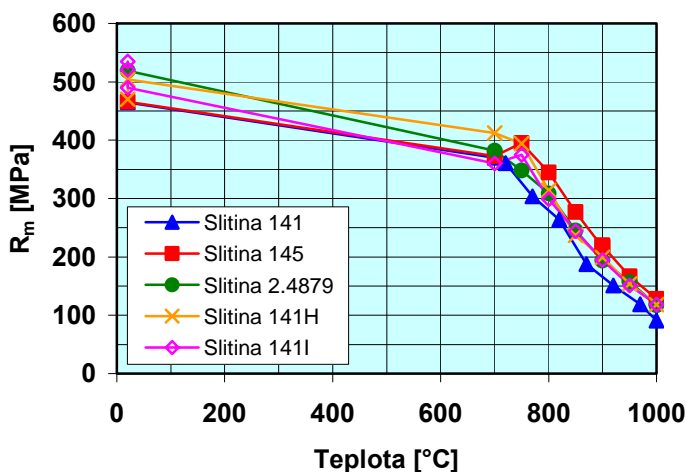
V rámci získávání mechanických vlastností u výše uvedených modelových slitin byla měřena tvrdost slitin při jednotlivých stavech (doba a teplota žihání) a dále pak  $R_{p0.2}$ ,  $R_m$ ,  $A_5$  a  $Z$  po dlouhodobém žihání.

Pro možnost posouzení, jak se budou rozvlákňovací disky z konkrétních modelových slitin v provozních podmínkách chovat, byly dále zařazeny do získávání přehledu mechanických hodnot zkoušky pevnosti v tahu při teplotách 800

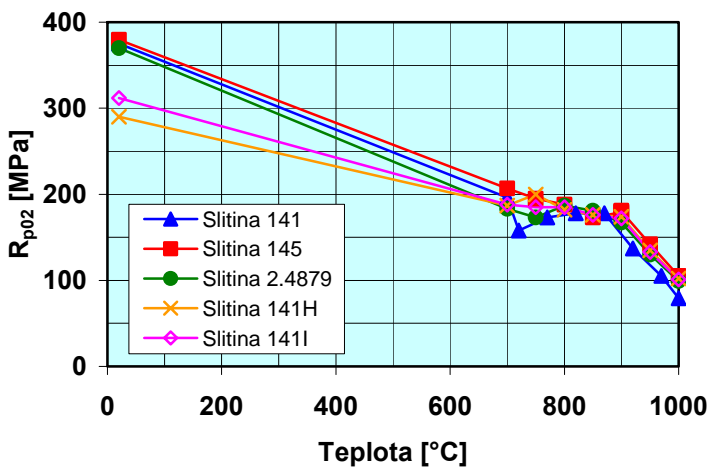
a 1000 °C a zkoušky vrubové houževnatosti po žhání při 900 °C při teplotě zkoušky 20, 200, 400, 600 a 800 °C. Dále byla porovnáována vrubová houževnatost při 20 a 800 °C u vzorků po odlití a po dlouhodobém žhání.

Teplotní závislosti pevnosti, meze kluzu a tažnosti obou modifikovaných slitin v porovnání s modelovými slitinami jsou uvedeny na obr. 2, 3 a 4. Průběhy jsou v podstatě shodné. Modifikace chemického složení u slitiny „141H“ a „141I“ vedla k mírnému zlepšení pevnosti za vysokých teplot. Pevnostní a plastické vlastnosti jsou příznivější u slitiny „141I“. Vrubová houževnatost je jednoznačně vhodnější u modifikovaných slitin v porovnání s modelovými slitinami, což je patrné z obr. 5. U obou modifikovaných slitin je vytvrzení malé, čemuž odpovídalo jen slabé zvýšení tvrdosti. Obě slitiny se v oblasti pevnostních hodnot a vrubové houževnatosti výrazně neliší, což je dáno jejich chemickým složením.

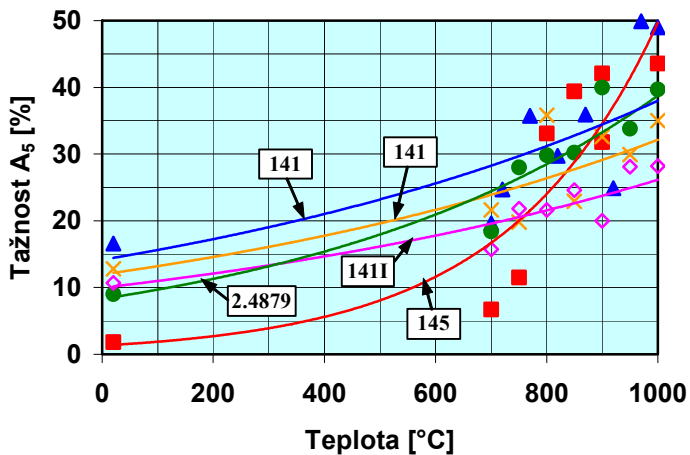
Obr. 2 Teplotní závislost meze pevnosti modifikovaných slitin „141H“ a „141I“ v porovnání s modelovými slitinami užitými v prvním experimentu



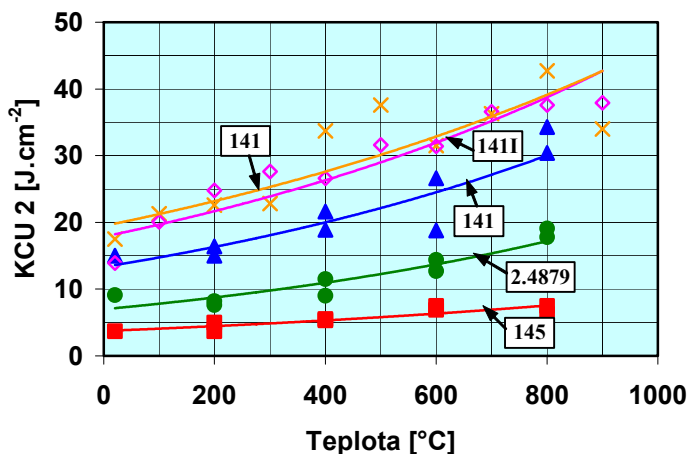
Obr. 3 Teplotní závislost meze kluzu modifikovaných slitin „141H“ a „141I“ v porovnání s modelovými slitinami užitými v prvním experimentu



Obr. 4 Teplotní závislost tažnosti modifikovaných slitin „141H“ a „141I“ v porovnání s modelovými slitinami užitými v prvním experimentu



Obr. 5 Změny vrubové houževnatosti s teplotou modifikovaných slitin „141H“ a „141I“ v porovnání s modelovými slitinami užitými v prvním experimentu



## 5.2 Creepové zkoušky

S ohledem na provozní podmínky rozvláknovacích disků a na charakter jejich případných destruktí, byly zařazeny do této práce rovněž creepové zkoušky všech tří modelových slitin.

K prvotnímu poškození rozvláknovacího disku v provozu a následné celkové destrukci dochází na nejvíce exponovaném místě – tepelně a pevnostně namáhané obvodové stěně, ve které se nacházejí mikroskopické otvory (trysky), kterými proudí tekutá sklovina.

Práce se nezabývá chemickým složením skloviny ve spojení s abrazí při opotřebení obvodových stěn disků a tím ovlivňování provozní životnosti těchto součástí, ale s ohledem na již zmiňovaný charakter namáhání těchto součástí bude studována doba do lomu a lomové prodloužení při creepu. Zkoušky byly realizovány v UJP Praha, a.s.

Problematika týkající se oblasti creepových zkoušek prohloubila znalosti o modelových slitinách, používaných pro výrobu rozvláknovacích disků a napomohla k vytypování nejvhodnější slitiny z v této práci uvážených superslitin.

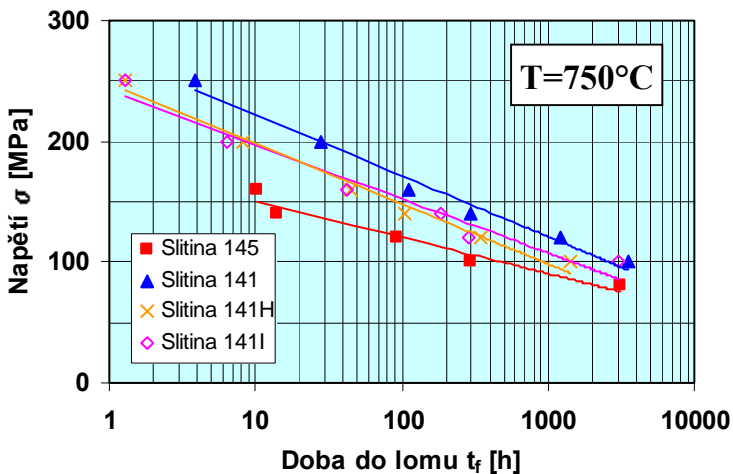
Rovněž i modifikované slitiny byly podrobeny creepovým zkouškám s ohledem na získání hodnot doby do lomu a lomového prodloužení, a to pro

teploty od 750 do 1000 °C a konkrétní hodnoty napětí. Grafické znázornění je patrné z obr. 6,7,8,9.

Doba do lomu (životnost materiálu) je závislá na aplikovaném napětí, zkušební teplotě a typu slitiny. Nejlepší životnost při teplotě 750 °C vykazuje slitina „145“, což je patrné z obr.6. Se zvyšující se zkušební teplotou dochází k „vyrovnávání“ životnosti slitin „145“, „141“ a „141H“. Při teplotě 1000 °C vykazují zmíněné slitiny téměř shodné doby do lomu. Při této teplotě doby do lomu demonstrují nejvyšší životnost u slitiny „141I“ (obr.7).

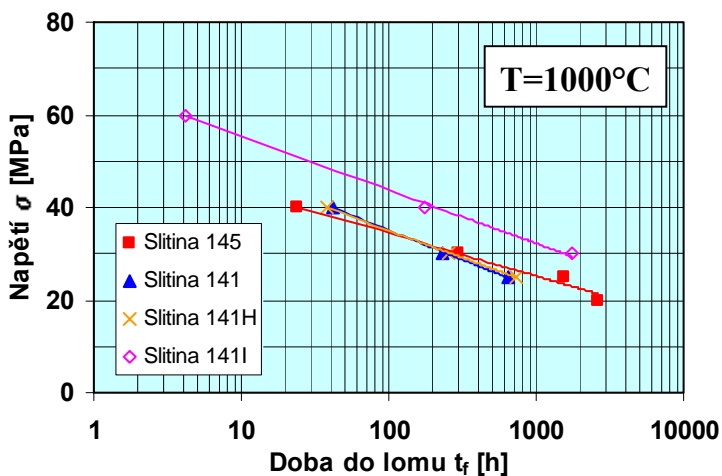
Lomové prodloužení (plasticita materiálu) je v extrémních případech závislé na zkušební teplotě. Zatímco v širokém rozsahu zkušebních podmínek se hodnota lomového prodloužení pohybuje v rozmezí 20 až 30 %, při extrémně nízkých hodnotách aplikovaného napětí ( $\sigma \leq 50$  MPa) a nejvyšší teplotě ( $T = 1000$  °C) dochází u slitin „141“, „141H“ a „141I“ k výraznému poklesu lomového prodloužení, což indikuje nástup mechanismu mezikrystalového (křehkého) kavitačního lomu [27]. Překvapivě vysokou plasticitu si udržuje slitina „145“ (obr. 8, 9).

Obr. 6 Vzájemné porovnání napěťových závislostí dob do lomu při stejných zkušebních podmínkách (teplota 750 °C)

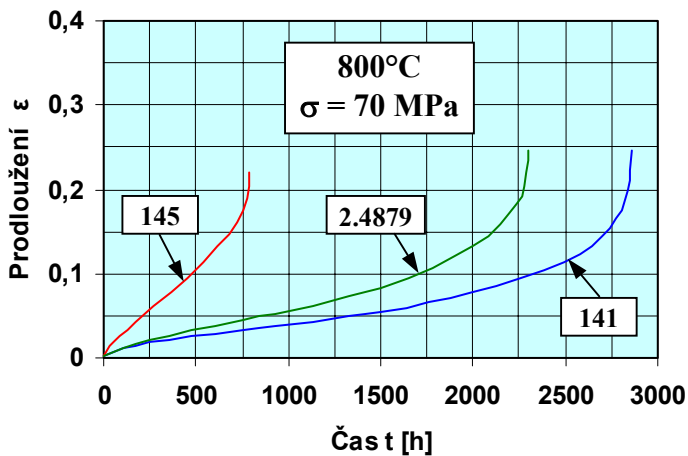




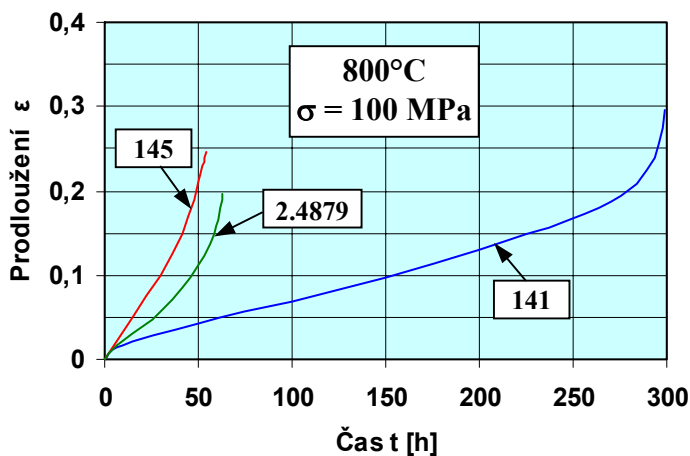
Obr. 7 Vzájemné porovnání napěťových závislostí dob do lomu při stejných zkušebních podmínkách (teplota 1000 °C)



Obr. 8 Časové závislosti creepového prodloužení modelových slitin při napětí 70 MPa a teplotě 800 °C



Obr. 9 Časové závislosti creepového prodloužení modelových slitin při napětí 100 MPa a teplotě 800 °C



### 5.3 Popis mikrostruktur

Všechny v práci zkoumané materiály byly sledovány v litém stavu. Při různých režimech žhání byly sledovány změny mikrostruktury. Příprava vzorků a vlastní experiment probíhal v UJP Praha, a.s..

Slitina „141H“ má kromě wolframu přilegován ještě kobalt a niob. Má však nižší obsah uhlíku. Precipitace během izotermického žhání byla u této slitiny při všech teplotách slabá [6]. Tomu odpovídalo také malé vytvrzování slitiny během žhání. Změny tvrdosti byly na hranici rozptylu měření.

Slitina „141I“ je legována podobně jako slitina „141H“. Kromě wolframu je zde přilegován ještě tantal a niob. Tím byla zvýšena celková koncentrace prvků, tvořících karbidy stabilní do velmi vysokých teplot, a to o 2 % hm. Důsledkem je vyšší podíl primárně vyloučených karbidů těchto prvků, zatímco podíl karbidů na bázi chromu se zdatelně snížil [6].

### 5.4 Výsledky kvantitativní strukturální analýzy

Objemové podíly primárně a sekundárně vyloučených fází byly hodnoceny pomocí automatického analyzátoru obrazu v UJP Praha, a.s.

Modifikované slitiny „141H“ a „141I“ mají podíl primárních fází v podstatě shodný, ovšem ve srovnání s modelovou slitinou „141“ o málo nižší a změny

tohoto podílu s dobou žhání jsou malé. U obou modifikovaných slitin byla pozorována slabá precipitace karbidů, u slitiny „141“ bylo vylučování karbidů intenzivnější [6]. Podíly sekundárních fází u obou modifikovaných slitin jsou rovněž shodné.

## 5.5 Kinetika oxidace

Také hodnoty tloušťek oxidických vrstev byly získány v UJP Praha, a.s. Při teplotách 900 a 1000 °C k oxidaci prakticky nedocházelo a hodnoty tloušťek vrstev se pohybovaly na hranici citlivosti použité metody [6]. Oxidická vrstva zůstávala i po 100 hodinách žhání kompaktní a byla pevně spojena s kovem. Slitiny „145“ a „141“ jsou si v tomto parametru velice podobné, slitina 2.4879 má tloušťku oxidické vrstvy poněkud nižší.

U slitiny „141“ při 1100 °C docházelo k postupné oxidaci povrchové vrstvy. Naměřené hodnoty tloušťek oxidických vrstev slitin „141H“ a „141I“ jsou velice podobné modelové slitině „141“. Při teplotách 900 a 1000 °C k oxidaci prakticky nedocházelo a hodnoty tloušťek vrstev se pohybovaly na hranici citlivosti použité metody. Pouze při teplotě 1100 °C lze hovořit o postupné oxidaci povrchu kovu.

## 6 ZÁVĚR

Vytyčeného cíle, obsaženého v obou experimentálních řešeních bylo s výjimkou praktického odzkoušení provozní životnosti rozvláknovacích disků dosaženo.

Výsledky obsažené v této práci ukazují, že sledované slitiny jsou z hlediska zavádění do technické praxe velmi perspektivní. Možnost změn jejich vlastností v širokých mezích úpravami chemického složení určuje i specifické využití vlastností jednotlivých slitin. Z tohoto hlediska je možno i posoudit určení sledovaných slitin v technické praxi:

- Slitina „145“ má velmi nízké hodnoty tažnosti a vrubové houževnatosti. Ovšem její mikrostruktura vytvrzená vysoce stabilními a tvrdými karbidy ji předurčuje pro použití na součásti vystavené silné abrazi za vysokých teplot (dávkovací trysky skloviny).
- Slitina „141“ má při velmi dobrých pevnostních vlastnostech nejpříznivější plasticitu. Je proto vhodná pro díly, vystavené rázovému zatížení. Její nevýhodou je menší strukturální stabilita [6] za vysokých teplot. Změny mechanických vlastností během dlouhodobého účinku teploty jsou však relativně malé.

- Slitina 2.4879 je ve stavu po odlití velmi podobná slitině „141“. Strukturální změny vyvolané účinkem teploty však u této slitiny vedou v krátké době ke zhoršení plastických vlastností. Během dalšího žihání (působení teploty) je slitina již stabilní [6].
- Slitině „141I“ se blíží slitina „141H“ a slitina „141“, a to v oblasti pevnosti a tažnosti, respektive vrubové houževnatosti.
- Všechny slitiny vykazují vysokou odolnost proti vysokoteplotní korozi. Jsou v tomto ohledu zcela srovnatelné s dosud užívanými žáruvzdornými slitinami. Mají však výrazně lepší pevnostní vlastnosti za vysokých teplot. V oblasti teplot 900 °C a vyšších jsou v tomto směru zcela srovnatelné s niklovými žárupevnými slitinami [6].
- Hodnoty pevnosti a meze kluzu při 20 °C u studovaných slitin dosahují zhruba 50 % úrovně hodnot těchto veličin u slitin vytvrzených fází  $\gamma'$ . Při teplotách 800 až 900 °C však mají srovnatelné vlastnosti a při 1000 °C dosahují již vyšších hodnot.
- Plastické vlastnosti a vrubová houževnatost jsou při pokojové teplotě u těchto slitin nízké, výrazně se zlepšují při teplotách nad 800 °C. Příčinou je charakteristická lící struktura, tvořená skeletem primárně vyloučených karbidů na rozhraní buněk lící struktury.
- Lomové prodloužení se výrazně snižuje u slitin „141“, „141H“ a „141I“, a to při extrémně nízkých hodnotách aplikovaného napětí a teplotě 1000 °C. Slitina „145“ si oproti tomu při stejných podmínkách udržuje překvapivě vysokou plasticitu.
- Doba do lomu je nejvyšší u slitiny „145“, ovšem při teplotě 750 °C. Oproti tomu, právě při teplotě 1000 °C, která je pro rozvláknovací disky pracovní, vykazuje nejpříznivější životnost modifikovaná slitina „141I“.

Pro praxi je velkým přínosem, že se podařilo v České republice naprosto metalurgicky neznámé slitiny („145“, „141“, 2.4879, „141H“, „141I“) po metalurgické a technologické stránce připravit v běžných provozních podmínkách špičkové slévárny přesného lité, jakou bezesporu slévárna při První brněnské strojárně ve Velké Bíteši je. Těchto zkušeností bude bezesbytku využito při budoucí výrobě rozvláknovacích disků pro zahraniční odběratele.

V měsíci květnu tohoto roku proběhlo jednání zástupců slévárny První brněnské strojárny Velká Bíteš, a.s. u německého výrobce skelné vaty, kterému byly nabídnuty poznatky, získané z této práce v oblasti modifikovaných slitin. Bylo dohodnuto, že První brněnská strojárna Velká Bíteš ve spolupráci se zahraničním odběratelem rozvláknovacích disků provede celou sérii zkoušek (jednotlivé materiály, výroba odlitků bez

přídavků na opracování) se zaměřením na provozní životnost disků a na základě výsledků bude rozhodnuto o velikosti kontraktu a o budoucí vzájemné spolupráci v dodávkách těchto odlitků.

Celá práce se zabývala velmi detailně studiem mechanických a creepových vlastností, mikrostruktury, kvantitativní strukturní analýzy včetně kinetiky oxidace jednotlivých modelových a modifikovaných slitin, což vedlo k vytypování nevhodnějších materiálů použitelných k odlévání rozvlákňovacích disků pro výrobu skelné vaty. Veškeré v práci uvedené optimální vlastnosti těchto slitin však ustupují z hlediska provozní životnosti rozvlákňovacích disků do pozadí, pokud se v těchto součástech vyskytují slévárenské vady. Potom dochází k jejich zákonité destrukci, v lepším případě k výraznému opotřebení, bez ohledu na sebelepší mechanické, případně creepové vlastnosti [12-16,18-21]. Je proto bezpodmínečně nutné před použitím, odlitky typu rozvlákňovacích disků podrobit zkoušce RTG a barevnou kapilární defektoskopií.

## 7 SHRNU TÍ

V této práci se podařilo naplnit cíl, který byl na jejím počátku vytyčen, a to vytypovat vhodné žarupevné materiály, vytvořit modifikované slitiny, získat jejich mechanické a creepové vlastnosti a porovnat jejich mikrostruktury.

Na počátku zkoušek s rozvlákňovacími disky vyrobenými technologií vytavitelného modelu z materiálu typu „145“ byla provozní životnost okolo 25 až 50 provozních hodin, postupně byla zvyšována se zlepšováním metalurgického zpracování slitiny na vakuové peci a v současné době při použití slitiny typu „141“ se podařilo běžně docílovat provozní životnosti 160 hodin. Pro objektivnost je třeba se rovněž zmínit, že jistý podíl na zvýšení zmiňované životnosti rozvlákňovacích disků mělo rovněž zvládnutí technologie výroby voskových modelů (použití tvrdých modelových vosků plněných polystyrenem, použití odkládacích přípravků, zpřesnění vlastní montáže jednotlivých částí voskového modelu), následné odmaštění jejich povrchu od separačního prostředku, výroba keramické skořepinové formy s vhodnou drátovou výztuží, vytavení vosku v autoklávu bez porušení skořepinové formy, což bylo zajištěno zvýšením její tepelné vodivosti v kombinaci s příslušnými výfuky a v neposlední míře zvládnutí celé problematiky metalurgického zpracování daných slitin (předslitiny a vlastních odlitků) na vakuových pecích. Také se změnou tvaru spodní části disku a vyvážení disku po obrobení se podařilo dosáhnout v některých případech až dvojnásobné životnosti oproti diskům od konkurenčního dodavatele. K této skutečnosti však velkou měrou přispělo studium v práci uvedených slitin a v konečném důsledku k jejich použití

právě pro značně namáhané součásti, kterými rozvlákňovací disky bezesporu jsou. Problematikou nástrojů pro výrobu skelného vlákna, tzn. rozvlákňovacích disků a materiálů na ně se podrobně zabývají práce [9 - 17].

Celou práci poněkud ochuzuje skutečnost, že nebylo možné získat od odběratele odlišně ucelené objektivní informace s vypovídací hodnotou o jejich provozní životnosti, včetně životnosti konkurenčních odlišků z USA. V tomto sehrálo negativní úlohu vlastnictví majoritního podílu firmy americkým akcionářem. Pokud byly získány vůbec nějaké informace o skutečné životnosti disků, tak pouze ústním podáním. Ty ale jednoznačně hovoří ve prospěch rozvlákňovacích disků vyrobených přesným litím do samonosné skořepiny ve slévárně přesného lití v První brněnské strojárně ve Velké Bíteši, a to ze slitiny „141“. V dalším období proběhnou jednání s vedením firmy, která tyto odlišky odebírá, kde dojde k návrhu použít na disky slitinu typu „141I“, která ještě zvýší stávající provozní životnost.

Jedním z hlavních oborů, kde je možno využít právě vlastností v této práci uvedených niklových slitin s mimořádnou odolností proti korozi za vysokých teplot a s dobrými krátkodobými creepovými mechanickými vlastnostmi je právě sklářský průmysl.

Sklářství má na vlastnosti používaných slitin specifické požadavky, které vyplývají z prostředí a médií, se kterými přicházejí do styku. Míra vlivu korozních plyných atmosfér (výpary alkalických oxidů, sloučenin uhlíku, olova, vanadu, síry, fosforu, křemíku a dalších sloučenin těžkých kovů) vyžaduje zcela nové aplikace pro kontakt s roztavenou sklovinou v oblasti teplot 900 až 1200 °C. Tyto podmínky kladou vysoké nároky na strukturní stabilitu použitých slitin, jakož i na jejich mechanické a fyzikální vlastnosti.

Slitiny niklu představují ve sklářství významnou materiálovou skupinu s širokými možnostmi využití. Jejich určitou nevýhodou je vysoká cena, nízká teplotní vodivost a relativně vysoká afinita k síře. Vzhledem k vysokým provozním teplotám nelze dobře využít běžné superslitiny, vytvrzované fází  $\gamma'$ . To činí velmi perspektivním materiálem slitiny studované v této práci. Existují některé oblasti, kde využití niklových slitin ve sklářském průmyslu je možno považovat za pozitivní aplikaci. Jde o využití v oblastech výroby

- sklářských forem
- dílů pro přímý kontakt se sklovinou
- kovových rekuperátorů.

V oblasti výroby sklářských forem je perspektivní zejména oblast strojního tvarování, kde je přednostní vysoká životnost forem. Výhodné je použití k výrobě tvarově složitých dílů. Odolnost povrchu proti korozi a vysoká leštitelnost niklových slitin se uplatňuje u nejkvalitnějších výrobků v oblasti optiky, technického skla a bižuterie. Do této oblasti patří i využití u dílů vysoce

namáhaných otěrem, jako jsou trysky a dávkovače skloviny nebo právě rozvláknovací disky při výrobě skelných vláken.

Nejširší využití niklových slitin je možno očekávat u dílů pro přímý kontakt se sklovinou. Úspěšná je aplikace při použití na vrtulová míchadla skloviny. Problémy vznikají při použití na míchání čiré skloviny, kdy může docházet k jejímu zabarvování v důsledku uvolňování kovů. Existuje také možnost použití na celou řadu různých typů držáků molybdenových elektrod a při tažení skla.

Použití pro díly kovových rekuperátorů představuje v současnosti spíše perspektivní úvahu. Zde je zatím překážkou příliš vysoká cena niklových slitin, která není zcela kompenzována prodloužením provozní životnosti dílů. Jsou však vhodným materiálem v případě zvyšování předeřevu vzduchu na teploty 700 až 750 °C, k čemuž již přistoupila řada zahraničních výrobců u modernizovaných provozů.

Existují i další možnosti využití tohoto typu slitin v jiných výrobních oborech a odvětvích. Jde například o tyto komponenty:

- vysoce namáhané díly cementárenských pecí
- dopravní elementy u kalicích a průběžných žihacích pecí
- staticky namáhané žárové části plynových turbin

## SUMMARY

The study has met its envisaged objectives of finding suitable refractory materials; developing modified alloys; arriving at their mechanical and creep properties; and comparing their microstructures.

The initial service life of shredder disks made of the "145" type of material using the process of investment casting was approx. 25 to 50 hours. The improved metallurgy of alloys in a vacuum furnace and the recent use of the "141" type of alloy gradually extended the disk life so that the lifetime of 160 service hours has become commonplace. To stay objective we should mention that a certain amount of the disk life extension can be attributed to the improved process of wax pattern fabrication (the use of hard polystyrene-filled waxes and stowing racks, as well as the enhanced precision with which the wax pattern components were put together); the subsequent surface degreasing aimed to remove the residues of parting compounds; the manufacture of a ceramic shell reinforced with wire bracing; the wax melt-out in an autoclave without damaging the shell (achieved by increasing the shell heat conductivity and supported by the use of vents); and, last but not least, the full-scope control of the vacuum furnace process employed to treat the above-mentioned alloys (both as the master alloys and as the castings proper). Also the reshaping of the disk bottom part and its balancing in the machined state have

brought about, in some cases, a two-fold increase in the disk lifetime as compared to competitive products. The service life extension of the alloys, greatly contributed to by the study of their properties, has eventually led to their use for heavy-duty parts such as the shredder disks.

The value of the study has been somewhat diminished by the impossibility of acquiring a comprehensive body of objective information on the service life of castings from their Buyer, possibly complemented with service life data on competitive USA products. This unfortunate fact was partly due to the majority share held in the company by the American shareholder. If any information on the disk lifetime was obtained at all, it was communicated by word of mouth only. Still such information testifies clearly to the superiority of the shredder disks manufactured by precision casting to a self-supporting shell mold in *První brněnská strojírna* at *Velká Bíteš*, namely a disk made of the "141" alloy. Within foreseeable future we shall meet the management of the casting Buyer where we are going to suggest that the disks are fabricated of the "141I" alloy offering even longer service life than that being achieved currently.

One of industries best positioned to employ the properties of nickel alloys studied hereunder and exhibiting an exceptional corrosion resistance at high temperatures and good short-term creep mechanical properties is the glass making industry.

The glass industry requires alloys of specific properties capable of coping with the environments and media there encountered. The high exposure to corrosive gases (vapors of alkali oxides; compounds of carbon, lead, vanadium, sulfur, phosphorus, silicon and other heavy metal compounds) dictates that new materials are used to come into contact with melted glass heated to 900 through 1200 °C. The conditions met in the industry demand that the alloys feature high stability of structure and good mechanical & physical properties.

In glass industry the nickel alloys represent a major group of materials offering a broad range of applications. A certain disadvantage can be seen in their high price, low thermal conductivity and a relatively high affinity with sulfur. Owing to the high operation temperatures common  $\gamma'$  hardened superalloys cannot be used very well. This fact makes the alloys studied herein very promising materials for the future. There are some areas within the glass industry where the nickel alloys can be regarded as very beneficial, namely the manufacture of:

- glass making molds;
- parts designed to directly touch the melted glass;
- metal recuperators.



As regards the *glass making molds*, an area of particularly high potential is the area of machine forming, where the durability of molds is of prime importance. The nickel alloys are especially well suited to the manufacture of complex shapes & features. Properties of nickel alloys, such as the high resistance to surface corrosion and the excellent polish capability, will find application in the manufacture of optical devices, technical glass products, and artificial jewelry. This field of application encompasses also parts exposed to extreme abrasion, e.g. nozzles, dosers of melted glass, and the above-mentioned shredder disks used to produce glass fibers.

The greatest exploitation of nickel alloys can be expected where the parts come into *direct contact with melted glass*. As an example of successful application of nickel alloys can be mentioned the propeller agitators. Some problems could be experienced when such an agitator is employed to stir the clear type of melted glass - here the alloy may discolor the melt by releasing the metals it contains. The alloys can also be utilized to manufacture a number of different molybdenum electrode holders and drawn glass products.

The use for metal components of recuperators is currently at the stage of long-term consideration. As of now the high price of nickel alloys appears prohibitive and not fully compensated for by the extended service life. Nevertheless the materials are a good choice wherever the air is to be pre-heated up to 700 through 750 °C; a number of foreign producers have introduced the materials when upgrading their shops.

There are, of course, some more industries and industrial branches where components made of these types of alloys can be applied. Let's quote as examples:

- heavy-duty parts of cement mill furnaces;
- conveyer members of quenching and continuous annealing furnaces;
- parts of gas turbines exposed to high temperatures and static loads.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KIRSCH, R. A KOLEKTIV. Kovy ve sklářství, Praha, 1992.
- [2] HANSEN, E. P., GEROLD, V., KOSTERZ, G. Strength Metals and Alloys, Pergamon Prass, 1980.
- [3] SIMS, C., HAGEL, W. C., WILLEY, E. J. The Superalloys, New York, 1979.
- [4] Proceed Conf. High Temperature Properties, Koln, BRD, 1987.

- [5] Proceed Conf. Strength of Metals and Alloys, Tampere, Finland.
- [6] PODHORNÁ, B., KUDRMAN, J., ČMAKAL, J. Lité slitiny typu Ni-Cr-W-C. Zpráva č.1002, UJP Praha, 2002.
- [7] KUDRMAN, J., PODHORNÁ, B., HRBÁČEK, K., SKLENIČKA, V. Vlastnosti NiCrW slitin během dlouhodobého žhání, Metal 2001, Ostrava, 2001.
- [8] Fraktografický atlas litých niklových slitin. Fakulta jaderná a fyzikálně - inženýrská katedra materiálů, Praha 2001.
- [9] HRBÁČEK, K., BURIAN, P., JOCH, A., ŠUSTEK, P., HRBÁČEK, K.ml., SVOBODA, O. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách, (Superslitiny pro sklářský průmysl). Číslo zprávy Z-01-01, 31.12.2001.
- [10] HRBÁČEK, K., BURIAN, P., JOCH, A., HRBÁČEK, K.ml., ŠUSTEK, P., SVOBODA, O. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách. (Superslitiny pro plynové turbíny a turbodmychadla). Číslo zprávy Z-01-02, 31.12.2001.
- [11] HRBÁČEK, K., JOCH, A., SVOBODA, O., HRBÁČEK, K.ml., BOŽEK, J. Centrum vývoje litých niklových superslitin pro extrémní podmínky při vysokých teplotách. Výzkumná zpráva, PBS Velká Bíteš, 2000.
- [12] PECH, R., KUDRMAN, J., ČMAKAL, J. Posouzení odlitků rozvláknovací hlavy. Zpráva č. 053/92, REMS Praha, 1993.
- [13] KUDRMAN, J. Kinetika rozpouštění fází u slitin pro rozvláknovací hlavy. Zpráva č. 79.6.0483, SVÚM Praha, 1993.
- [14] PECH, R., PODHORNÁ, B., KUDRMAN, J., ČMAKAL, J. Posouzení příčin vad odlitků rozvláknovací hlavy. Zpráva č. 072/93, REMS Praha, 1993.
- [15] ČMAKAL, J. Rozbor příčin výskytu vad a zvýšeného provozního opotřebení formy na lisování skla. Zpráva č. 39/21/94, Praha, 1994.
- [16] KUDRMAN, J., ČMAKAL, J. Posouzení příčin snížené životnosti odlitků hlav vyráběných slévárnou PBS – Velká Bíteš. Zpráva č. 4870637, SVÚM Praha, 1995.
- [17] ČMAKAL, J. Posouzení chemického složení a stavu mikrostruktury odlitků provozovaných rozvláknovacích hlav. Zpráva č. 47/8/95, Praha, 1995.
- [18] KUDRMAN, J., ČMAKAL, J. Posouzení příčin snížené životnosti odlitků rozvláknovacích hlav. Zpráva č. 5870637, SVÚM Praha, 1995.
- [19] SKLENIČKA, V., KUCHAROVÁ, K., DANĚK, R., SVOBODA, M. Získání souboru dat základních creepových vlastností vybraných litých

niklových slitin. Dílčí zpráva o řešení projektu, ÚFM AV ČR Brno, 2001.

- [20] MUSIL, V., HRBÁČEK, K., BURIAN, P., JOCH, A., HRBÁČEK, K.ml. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách. Průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2002 (Textová část). Zpráva č. Z-01-02/1, 2002.
- [21] MUSIL, V., HRBÁČEK, K., BURIAN, P., JOCH, A., HRBÁČEK, K.ml. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách. Průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2002 (Příloho-vá část). Zpráva č. Z-01-02/2, 2002.

## 9 SEZNAM AUTOROVÝCH PUBLIKACÍ

### 9.1 Tvůrčí a publikační činnost

#### 9.1.1 Na mezinárodním fóru

Hrbáček, K., Kudrman, J., Joch, A., Podhorná, B. Vývoj technologie přesného lití částí ze superslitin, používaných ve sklářském průmyslu. METALL 2002, 11. mezinárodní konference metalurgie a materiálů, Ostrava 2002.

Hrbáček, K., Joch, A., Burian, P., Hrbáček, K.ml. Výroba lopatek stacionárních plynových turbin pomocí metody přesného lití. Energy magazine, 2002, číslo 7-8.

Joch, A., Musil, V., Hrbáček, K., Podhorná, B., Hrbáček, K.ml. Vývoj technologie přesného lití částí ze superslitin na bázi niklu, používaných ve sklářském průmyslu. PRECAST 2003, 10. symposium Sdružení přesného lití, Brno 2003.

Musil, V., Joch, A., Hrbáček, K., Hrbáček, K.ml., Svoboda, O. Výroba lopatek plynových turbin typu GT 750 – 6 MW pomocí metody přesného lití. PRECAST 2003, 10. symposium Sdružení přesného lití, Brno 2003.

Hrbáček, K., Podhorná, B., Musil, V., Joch, A. Výzkum mechanických vlastností a strukturní stability superslitiny na bázi niklu Dameron. METAL 2003, 12. mezinárodní konference metalurgie a materiálů, Hradec nad Moravicí 20.-22.5.2003.

## 9.1.2 Na národním fóru

Hrbáček, K., Joch, A. Výroba přesně litých odlitků ve slévárně První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s. Slévárenství, 1997, ročník XLV, číslo 10, s. 372-375.

Hrbáček, K., Joch, A., Matoušek, K. 30 let přesného lití ve slévárně První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s. Slévárenství, 1999, ročník XLVII, číslo 10, s. 569-571.

Burian, P., Joch, A., Matoušek, K. Přesně lité odlitky ze slévárny První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s. Slévárenství, 2001, ročník XLIX, číslo 10, s. 613-614.

Joch, A., Musil, V., Podhorná, B., Hrbáček, K., Hrbáček, K.ml. Přesné lití konstrukčních částí ze superslitin používaných ve sklářském průmyslu. Slévárenství, 2003, ročník LI, číslo 11-12, s.469-473.

Musil, V., Joch, A., Podhorná, B., Hrbáček, K. Technologie přesného lití a výzkum mechanických vlastností slitiny Dameron. Slévárenství, 2004 – v tisku.

Hrbáček, K., Podhorná, B., Musil, V., Joch, A. Slitina Dameron jako materiál sklářských forem. Sklář a keramika, 2003, ročník 53, číslo 11-12, s. 299-302.

Joch, A., Musil, V., Podhorná, B., Hrbáček, K., Hrbáček, K.ml. Výzkum mechanických vlastností superslitin na bázi niklu vhodných k použití ve sklářském průmyslu. Sklář a keramika, 2004 – v tisku.

## 9.2 Státní a výzkumné úkoly

### 9.2.1 Granty

Hrbáček, K., Joch, A., Svoboda, O., Hrbáček, K.ml, Božek, J. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách – průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2000.

Hrbáček, K., Burian, P., Joch, A., Šustek, P., Hrbáček, K.ml., Svoboda, O. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách – průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2001 (číslo zprávy Z-01-01) (Superslitiny pro sklářský průmysl).

Hrbáček, K., Burian, P., Joch, A., Hrbáček, K.ml., Šustek, P., Svoboda, O. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách – průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2001 (číslo zprávy Z-01-02) (Superslitiny pro plynové turbíny a turbodmychadla).

Musil, V., Hrbáček, K., Burian, P., Joch, A., Hrbáček, K.ml. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách. Průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2002 (Textová část). Číslo zprávy Z-01-02/1, 2002.

Musil, V., Hrbáček, K., Burian, P., Joch, A., Hrbáček, K.ml. Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách. Průběžná zpráva o stavu řešení k 31.12.2002 (Přílohová část). Číslo zprávy Z-01-01/2, 2002.

Joch, A., Musil, V., Podhorná, B., Hrbáček, K., Hrbáček, K.ml. Přesné lití konstrukčních částí ze superslitin používaných ve sklářském průmyslu. Slévárenství, 2003 – v tisku.

Musil, V., Joch, A., Podhorná, B., Hrbáček, K. Technologie přesného lití a výzkum mechanických vlastností slitiny Dameron. Slévárenství, 2003 – v tisku.

Joch, A., Musil, V., Podhorná, B., Hrbáček, K., Hrbáček, K.ml. Výzkum mechanických vlastností superslitin na bázi niklu vhodných k použití ve sklářském průmyslu. Sklář a keramika, 2003 – v tisku.

Hrbáček, K., Podhorná, B., Musil, V., Joch, A. Vývoj technologie přesného lití odlitků ze slitiny Dameron. Sklář a keramika, 2003 – v tisku.

## 9.2.2 Technický rozvoj

Joch, A., Svoboda, O., Šustek, P. Zpráva TR DME První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s., 2000.

Joch, A., Svoboda, O., Helán, J., Brychta, M. Zpráva TR DME První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s., 2001.

Joch, A., Svoboda, O., Helán, J., Brychta, M. Zpráva TR DME První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s., 2002.

Joch, A., Svoboda, O., Helán, J., Brychta, M. Zpráva TR DME První brněnské strojírný Velká Bíteš,a.s., 2003.

## 10 AUTOROVO CURRICULUM VITAE

**Jméno:** Ing. Antonín Joch  
**Narozen:** 2. 7. 1955, Přibyslavice, Česká republika  
**Rodinný stav:** ženatý  
**E-mail:** joch.a@pbsvb.cz

### **Vzdělání:**

- 1974 – 1979 Střední průmyslová škola strojnická ve Žďáře nad Sázavou, studijní obor – strojírenství.  
Maturitní zkouška složena dne 19.6.1974.
- 1974 – 1979 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní, obor – slévárenská technologie. Státní závěrečná zkouška složena dne 21.6.1979. Téma diplomové práce: Studium upřesněné krystalizace vybraných slitin.
- 2000 Kurz ekonomiky a řízení podniku, pořádaný VUT Brno – Fakultou podnikatelskou.
- 2000 – 2003 Postgraduální doktorské studium na Vysokém učení technickém v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálového inženýrství – odbor slévárenství, obor strojírenská technologie (distanční forma). Státní doktorská zkouška složena dne 7.3.2003.

### **Téma disertační práce:**

Vývoj kovových materiálů se zvýšenou životností pro sklářské nástroje.

### **Zaměstnání:**

- 1979 – 1985 vývojový pracovník technologického oddělení slévárny přesného lití při První brněnské strojírně ve Velké Bíteši
- Od r.1985 vedoucí technologického oddělení slévárny přesného lití při První brněnské strojírně Velká Bíteš,a.s.

### **Činnost v organizacích:**

Sdružení přesného lití (člen rady)

### **Spolupráce na státních a výzkumných úkolech (grantech):**

- Od r. 2000 „Centrum vývoje litých niklových superslitin určených pro extrémní podmínky při vysokých teplotách.“
- Od r. 2002 Spolupráce na dalších třech grantech