

# HODNOCENÍ VLIVU TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ NA MIKROSTRUKTURNÍ VLASTNOSTI ŽÁROPEVNÉ NIKLOVÉ SLITINY

## INFLUENCE OF THE MACHINING TO THE MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF CREEP RESISTANT NICKEL BASED SUPERALLOY

Marie Rohlová <sup>a)</sup>, Michal Slaný <sup>b)</sup> a Jakub Horváth <sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> ČVUT v Praze, Ústav materiálového inženýrství, Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2

<sup>b)</sup> ČVUT v Praze, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Technická 4, 166 07 Praha 6

### Abstrakt

Strojní součásti vyráběné ze žárovevných niklových slitin určených pro vysokoteplotní aplikace musí již z principu aplikace odolávat náročným pracovním podmínkám. Volba technologie výroby dílů má výrazný vliv na výsledné funkční vlastnosti a měla by být nezanedbatelnou součástí správného návrhu součásti. Třískové obrábění je stále nutnou součástí výroby tvarově složitých dílů s vysokou tvarovou a rozměrovou přesností. Dokončovací operace obrábění se mohou podepsat na životnosti dílů. Nevhodnou technologií může dojít ke snížení únavových mezí, ze kterých návrh vychází. Obrábění může mít vliv na změnu povrchové vrstvy například změnou tvrdosti, vznikem napětí nebo změnou chemického složení, přechodem prvků mezi obrobkem a nástrojem. Cílem článku je popis mikrostrukturních změn v důsledku třískového obrábění a následné ovlivnění niklové slitiny pro mechanické zkoušky či přímou aplikaci do provozu.

### Abstract

Machine parts made of creep-resistant nickel alloys designed for high-temperature applications must, by virtue of their application principle, withstand demanding working conditions. The choice of component manufacturing technology has a significant effect on the resulting functional properties and should be a significant part of the correct design of the part. Machining is still a necessary part of the production of complex shaped parts with high dimensional accuracy. Finishing operations can affect the life of parts. Improper technology can reduce the fatigue limits on which the design is based. Machining can cause the change of the surface layer, for example by changing the hardness, induce stress or changing the chemical composition, the transition of elements between the workpiece and the tool. The aim of the paper is to describe microstructural changes due to machining and subsequent influence of nickel alloy for mechanical tests or direct application into operation.

### Úvod

Niklové superslitiny jsou nepostradatelné materiály umožňující výrobu vysokoteplotně namáhaných dílů do leteckého nebo energetického průmyslu. I při relativně vysokých teplotách se vyznačují vysokou pevností, rozměrovou stálostí a odolností vůči korozi. Dle způsobu výroby lze tyto superslitiny dělit na tvářené a lité. U obou skupin je potřeba pro některé aplikace či zkoušky slitiny třískově obrábět. Špatným třískovým obráběním může být způsobeno nežádoucí ovlivnění struktury těchto slitin, které následně může zkreslovat měření u zkoušek anebo nepříznivě ovlivnit životnost dílů v provozu. Tento příspěvek se zabývá litou niklovou polykrytalickou superslitinou Inconel 713LC (low carbon). Vzhledem k obtížné obrobiteľnosti této slitiny se odlévá metodou přesného lití s minimálními přísádky na opracování. Obrábění je však u těchto slitin potřeba pro kontrolní vzorky na mechanické zkoušky.

## Experimentální část

Inconel 713LC použitý pro experiment byl z jedné tavby s obsahem měřitelných chemických prvků uvedených v tab. 1. Chemické složení bylo měřeno rentgeno-fluorescencím spektrometrem InnovXsystems DELTA.

Struktura Inconelu 713LC je ve výchozím stavu tvořena tuhým roztokem  $\gamma$ , s jemně disperzní vytvrzující fází  $\gamma'$ . Dále jsou ve struktuře pozorovatelné nepravidelně vyloučené primární případně sekundární karbidy typu MC a malé množství eutektika  $\gamma'/\gamma$ , kde fáze  $\gamma'$  může dosahovat až velikosti několika desítek  $\mu\text{m}$ . Ve výchozím stavu je charakteristická kuboidální morfologie fáze  $\gamma'$ . [1]

### Parametry experimentu

Pro experiment byla jako měnící se parametr třískového obrábění zvolena řezná rychlost. Jednotlivé označení vzorků je uvedeno v tab. 2.

Pozorování vzorků bylo provedeno na rádkovacím elektronovém mikroskopu JEOL 7600F.

### Vzorek 1.1 a 1.2

Na obr. 1 a obr. 3 byly pozorovány drobné změny pod obrobeným povrchem. Došlo zde k nepatrnému spojování a hrubnutí vytvrzující fáze  $\gamma'$  jak u vzorku 1.1, tak u vzorku 1.2. Ne-došlo zde však ještě ke specifickému vytváření souvislé vrstvy karbidů na hranicích zrn ani k šíření trhlin viz obr. 2 a obr. 4.

### Vzorek 2.1 a 2.2

U vzorků 2.1 a 2.2 byla patrná tvorba karbidů po hranicích zrn viz obr. 5 a obr. 7. U obou vzorků došlo k významnému spojování a hrubnutí vytvrzující fáze  $\gamma'$  patrné na obr. 6 a obr. 8.

### Vzorek 3.1 a 3.2

Vzorky 3.1 a 3.2 již vykazovaly známky tepelně a mechanicky ovlivněného povrchu. Došlo ke slučování karbidů po hranicích zrn (obr. 9 a obr. 11) a ke slučování a hrubnutí vytvrzující fáze  $\gamma'$  (obr. 10 a obr. 12). Dále zde také došlo k iniciaci a šíření trhlin v místě karbidů, což je patrné na obr. 10 a obr. 12.

## Diskuse

Cílem experimentu bylo zhodnocení a určení možné vnesené chyby do následných kontrolních vzorků pro mechanické zkoušení či následnou aplikaci do provozu. Pro experiment byl zvolený měnící se parametr třískového obrábění, a to řezná rychlost.

U prvních dvou vzorků (1.1 a 1.2) s nejnižšími řeznými rychlostmi (11 a 17 m/min) došlo pouze k ovlivnění disperzní vytvrzující fáze  $\gamma'$ , kde začalo docházet k jejímu nepatrnému slučování a hrubnutí do hloubky přibližně 30  $\mu\text{m}$ . U vzorků 2.2 a 3.2 byla řezná rychlost (27 a 41 m/min). U vzorků již začalo docházet ke slučování a hrubnutí vytvrzující fáze  $\gamma'$  a zároveň k tvorbě karbidů na hranicích zrn, a to až do hloubky okolo 50  $\mu\text{m}$ . U posledních dvou vzorků (3.1 a 3.2) byly dané řezné rychlosti 64 a 100 m/min. Docházelo zde k významnému spojování a hrubnutí vytvrzující fáze  $\gamma'$  a k tvorbě karbidů po hranicích zrn. Pod povrchem obou vzorků na karbidech byly nalezeny iniciace trhlin.

Z daných experimentů lze usoudit, že třískové obrábění IN713LC i při nízkých řezných rychlostech již vnáší chybu do materiálu ať pouze teplotním ovlivněním nebo kombinací teplotního a mechanického ovlivnění. Pro následné zkoušky je nutné tuto chybu eliminovat. Při nízkých rychlostech je z experimentu patrné, že došlo k ovlivnění vzorků pouze teplotně nikoliv mechanicky. IN713LC je tedy možné obrábět nízkými řeznými rychlostmi s dostatečným chlazením. Pro stanovení přesné hraniční hodnoty řezných rychlostí by bylo nutné provést zkoušky v rozmezí řezných rychlostí 41-64 m/min. Pro provedený experiment je však horní mezní hodnotou přípustné řezné rychlosti 41 m/min s podmínkou dostatečného chlazení.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě výsledků získaných za podpory grantové agentury Českého vysokého učení technického v Praze v rámci projektu číslo SGS19/162/OHK2/3T/12.

## Literatura

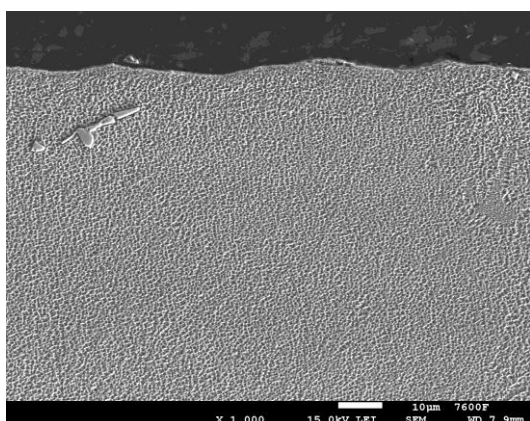
- [1] Podrábský, T. (2005): *Vliv podmínek zatěžování na strukturu a porušování lité niklové superslitiny*. Vědecké spisy vysokého učení technického v Brně, Sv. 81. ISSN 1213-418X
- [2] Juliš, M. (2008): *Nízkocyklová únava vybraných niklových superslitin za vysokých teplot*. Disertační práce, ÚMVI, FSI VUT v Brně, Brno.

Tab. 1: Chemické prvky obsahující Inconel 713LC měřitelné rentgeno-fluorescenčním spektrometrem InnovXsystems DELTA v hm. %

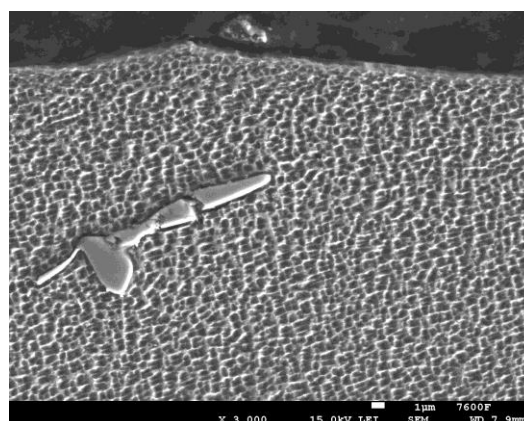
Prvek	Ni	Al	Ti	Cr	Zr	Fe
Měřená hodnota [%]		5,15	0,75	11,63	0,091	0,18
Směrodatná odchylka [%]	Základ	±0,22	±0,04	±0,08	±0,004	±0,01
Přípustné rozmezí [%] [2]		5,50-6,50	0,40-1,00	11,00-13,00	0,05-0,15	<0,5

Tab. 2: Rozdělení a označení vzorků dle měnicího se parametru

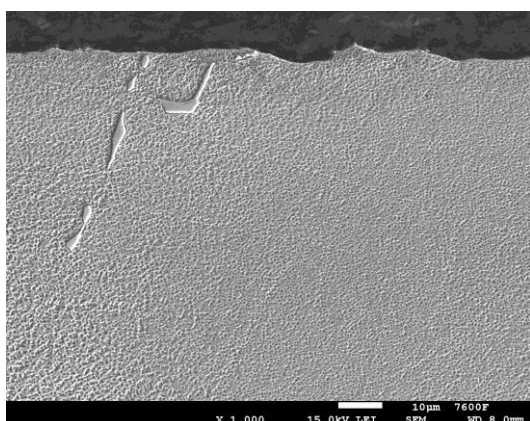
Rezná rychlost [m/min]	11	17	27	41	64	100
Označení vzorku	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2



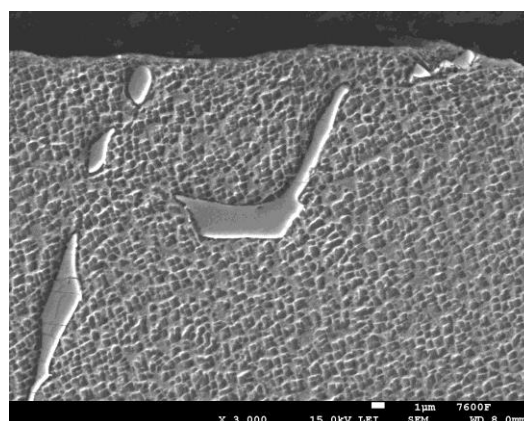
Obr. 1: Vzorek 1.1



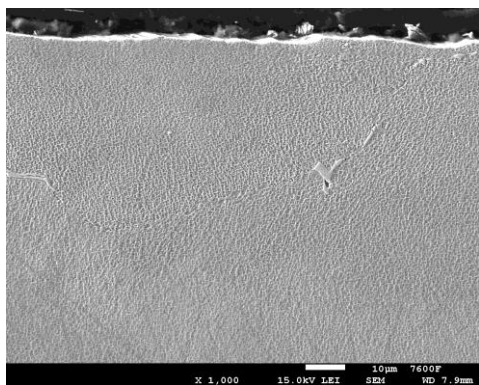
Obr. 2: Vzorek 1.1, detail



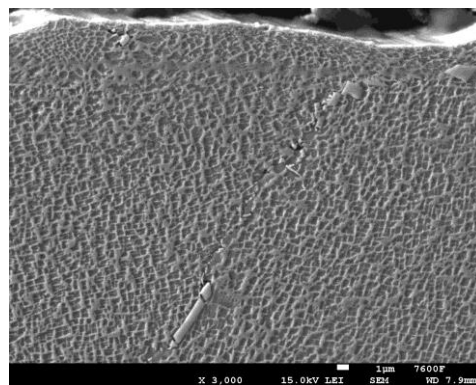
Obr. 3: Vzorek 1.2



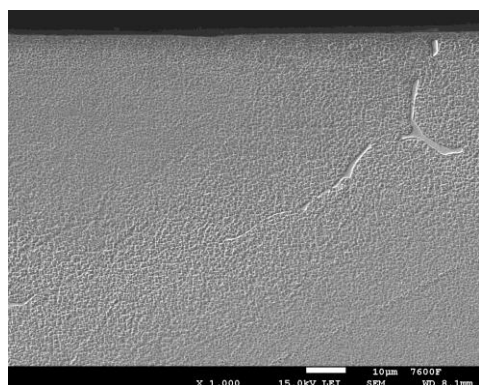
Obr. 4: Vzorek 1.2, detail



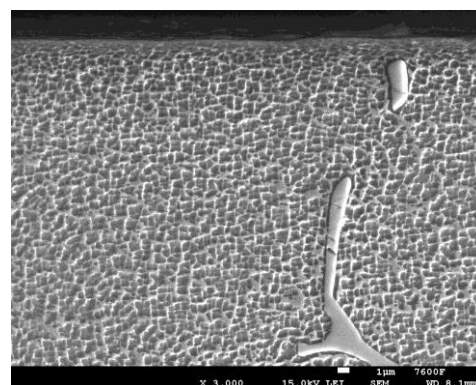
Obr. 5: Vzorek 2.1



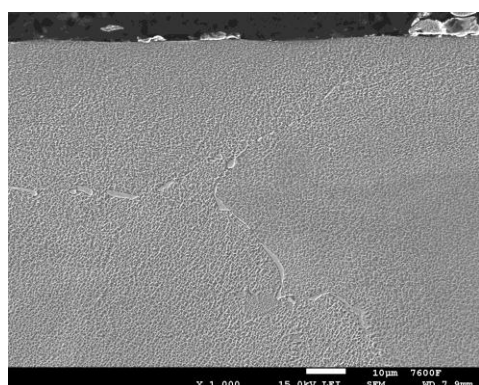
Obr. 6: Vzorek 2.1, detail



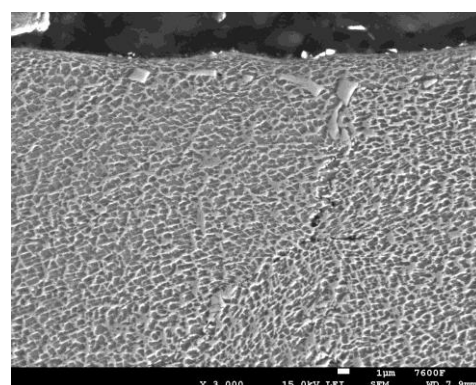
Obr. 7: Vzorek 2.2



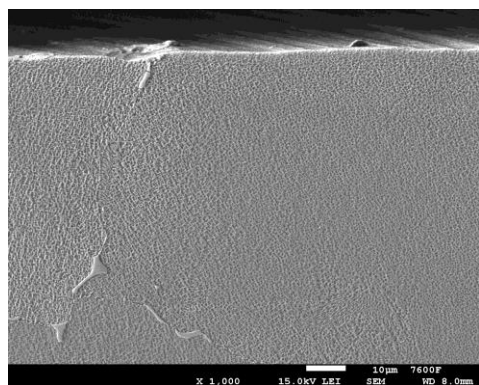
Obr. 8: Vzorek 2.2, detail



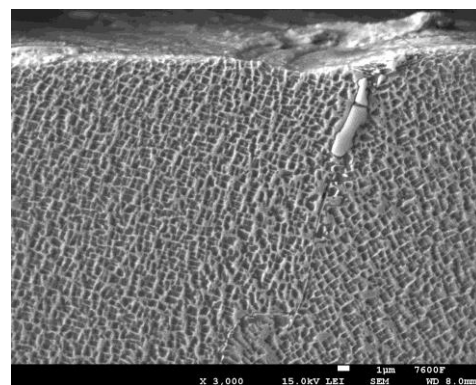
Obr. 9: Vzorek 3.1



Obr. 10: Vzorek 3.1, detail



Obr. 11: Vzorek 3.2



Obr. 12: Vzorek 3.2, detail