

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Příprava vysoce prokovaného polotovaru pro výrobu obráběcího nástroje

Autor: **Mykhailo TOCHYLIN**

Vedoucí práce: **Ing. Soňa BENEŠOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Mykhailo TOCHYLIN**

Osobní číslo: **S16B0349P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**

Název tématu: **Příprava vysoce prokovaného polotovaru pro výrobu  
obráběcího nástroje**

Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Osnova bakalářské práce:

1. Teoretická část
  - a) Typy ocelí pro obráběcí nástroje a jejich specifikace
  - b) Nástrojové oceli, vyráběné práškovou metalurgií, výhody a nevýhody
  - c) Klasický způsob zpracování nástrojových ocelí, výhody a nevýhody
  - d) Deformace, definice, rozložení deformace uvnitř tělesa, stupeň prokování
  - e) Technologický postup kování a válcování, jejich porovnání z hlediska vlivu na strukturu
2. Experimentální část
  - a) Výroba polotovaru kováním ze zvoleného typu nástrojové oceli.
  - b) Ochlazování polotovaru v peci různou rychlostí
  - c) Metalografická analýza struktury ve vztahu k rozložení deformace uvnitř tělesa
  - d) Stanovení tvrdosti ve vztahu k rozložení deformace uvnitř tělesa a teplotě při ochlazování
3. Diskuze výsledků
4. Závěr

Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Semiatin, s.L.** *Forming and Forging, Handbook ASM International, 1998*

**Žídek, M., Dědek, V., Sommer, B.** *Tváření oceli SNTL Bratislava, 1988*

**Petruželka, J., Sonnek, P.** *Tvařitelnost kovových materiálů VŠB 2007,*  
<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TvCELEupr.pdf>

*Technická příručka Dostupné z <http://www.bolzano.cz>*

**Ryš, P., Cenek, M., Mazanec, K., Hrbek, A.** *Nauka o materiálu I, Nauka o kovech 4. svazek, Železo a jeho slitiny. Academia, Praha, 1975*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Soňa Benešová, Ph.D.**

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Milan Vnouček, Ph.D.**

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž  
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Tochylín	Jméno Mykhailo	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Benešová, Ph.D.	Jméno Soňa	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Příprava vysoce prokovaného polotovaru pro výrobu obráběcího nástroje		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	89	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	57	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	16
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Cílem práce je ověření technologického postupu kování rychlořezné nástrojové oceli, která byla zpracována vysokým stupněm deformace opakovaním operace petchování a prodlužování při dosažení velmi jemné homogenní struktury. Takto připravený materiál poslouží jako polotovar pro výrobu speciálních obráběcích nástrojů. Jednotlivé vzorky byly podrobeny strukturální analýze a byla u nich měřena mikrotvrdost v návaznosti na pomalou rychlost ochlazování v peci po kování.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Volné kování, rychlořezná ocel, tváření, obráběcí nástroj, deformace</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Tochylin	<b>Name</b> Mykhailo	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Material Science and Technology“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Benešová, Ph.D.	<b>Name</b> Soňa	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Preparation of a high-forged semifinished product for the production of a machining tool		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Material Science and Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2017
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	89	<b>TEXT PART</b>	57	<b>GRAPHICAL PART</b>	16
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The aim of the thesis is to verify the technological process of forging the high-speed tool steel, which had been implemented with the high deformation degree by repeating of the upsetting and drawing out forging operations to achieve a very fine homogeneous structure. This way, prepared material will be used as a semi-finished product for the production of special machine tools. Single samples were subjected to structural and microhardness analysis in accordance with the result of the slow cooling rate in the furnace after forging.
<b>KEY WORDS</b>	Forging, high speed steel, HSS, deformation

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Typy materiálů pro obráběcí nástroje a jejich specifikace.....	12
2.1	Charakteristika materiálů pro řezné nástroje .....	13
2.1.1	Uhlíkové nástrojové oceli.....	13
2.1.2	Legované nástrojové oceli.....	13
2.1.3	Rychlořezné oceli .....	13
2.1.4	Slinuté karbidy .....	16
2.1.5	Cermety .....	16
2.1.6	Řezná keramika .....	16
2.1.7	CBN a PCD .....	16
3	Nástrojové oceli, vyráběné práškovou metalurgií, výhody a nevýhody.....	18
3.1	Metodika práškové metalurgie .....	19
3.1.1	Výroba prášků .....	19
3.1.2	Lisování přípravku určitého tvaru ve speciálních lisovacích formách.....	20
3.1.3	Tepelné zpracování a spékání lisovaných výrobků, dodávajících závěrečné fyzikální a mechanické vlastností. ....	21
4	Klasický způsob kování a válcování nástrojových ocelí, jejich porovnání z hlediska vlivu na strukturu.....	22
4.1	Čištění (hrubování) ingotů.....	22
4.2	Ohřev studených ingotů ke kování .....	22
4.3	Vlastní kování ingotů.....	23
4.4	Technologický postup kování, vliv na strukturu .....	24
4.5	Technologický postup válcování, vliv na strukturu.....	24
5	Tepelné zpracování nástrojových ocelí, výhody a nevýhody .....	27
5.1	Uhlíkové nástrojové oceli .....	27

5.2	Legované nástrojové oceli .....	28
5.3	Rychlořezné oceli .....	28
6	Deformace, definice, rozložení deformace uvnitř tělesa, stupeň prokování .....	29
6.1	Stupeň prokování .....	31
7	Výroba polotovaru kováním ze zvoleného typu nástrojové oceli .....	36
7.1	Příprava polotovaru pro tváření .....	36
7.2	Průběh kování .....	38
8	Ochlazování polotovaru v peci různou rychlostí .....	41
9	Metalografická analýza struktury ve vztahu k rozložení deformace uvnitř tělesa .....	44
9.1	Příprava metalografického výbrusu .....	44
9.1.1	Odběr vzorku .....	44
9.1.2	Zalítí vzorku .....	45
9.1.3	Broušení a leštění .....	46
9.1.4	Leptání .....	47
9.2	Metalografická analýza .....	48
9.2.1	Metalografické záznamy rychlořezné práškové oceli .....	50
9.2.2	Metalografické záznamy ČSN 19 852 (W.-Nr. 1.3243) .....	51
9.2.3	Metalografické záznamy ČSN 19 830 (W.-Nr. 1.3343) .....	56
10	Stanovení tvrdosti ve vztahu k rozložení deformace v tělese a teplotě při ochlazování .....	61
11	Závěr .....	65
	Zdroje .....	68
	Seznam obrázků .....	69
	Seznam tabulek .....	73
	Seznam diagramů .....	73
	Grafická část .....	74
	Seznam příloh .....	74



### Seznam použitých zkratk a symbolů

$\tau$	Smykové napětí [MPa]
$\sigma$	Hlavní normalové napětí [MPa]
$\varepsilon$	Hlavní poměrná lineární deformace
$e$	Logaritmická deformace
<b>L</b>	Délka [m]
<b>H</b>	Výška [m]
<b>t</b>	Celsiova teplota [°C]
<b>V</b>	Objem [m <sup>3</sup> ]
<b>S</b>	Plocha [m <sup>2</sup> ]
<b>CBN</b>	(Cubic boron nitride) kubický nitrid boru
<b>PCD</b>	(Polycrystalline diamond) polykrystalický diamant
<b>IRA</b>	Izotermický rozpad austenitu
<b>ARA</b>	Anizotermický rozpad austenitu
<b>ŘEM</b>	Řádkovací elektronový mikroskop

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí své diplomové práce Ing. Soně Benešové, Ph.D. za poskytnutí odborného dohledu, za čas a cenné rady při tvorbě této práce.

## 1 Úvod

Daný projekt vzniknul za účelem obnovení ztracené technologie výroby obráběcích nástrojů, na Západočeské univerzitě v Plzni, kdy strukturálním zkouškám byly podrobeny dva obráběcí nože. Nože byly ze společnosti, kde závěrečnou obráběcí operaci na nerezové oceli pro snížení rizika vytvoření zmetku, bylo požadováno dokončit bez výměny obráběcího nástroje. Potřebná operace byla prováděná kovaným obráběcím nožem ze společností které vznikly jako nástupce bývalých Škodových závodů, zatímco druhý nůž, který pro dokončovací operaci nevyhovoval, byl vyroben metodou práškové metalurgie.

Polotovary pro výrobu obráběcího nástroje představují dva materiály. Jako první materiál byla zvolena nejčastěji používaná nástrojová ocel pro výrobu obráběcích nástrojů třídy ČSN 19830 (Příloha A- ekvivalentní k W.-Nr. 1.3343). Druhý materiál představuje ocel, ze které původní osvědčené obráběcí nástroje byly vyhotoveny - o nástrojovou ocel třídy ČSN 19852 (Příloha B- ekvivalentní k W.-Nr. 1.3243)

Zvolené materiálové polotovary jsou připravené ve tvaru válcovaných tyčí o průměru cca 51 mm. Pro vytvoření polotovaru ke kování byly tyče nařezány na jednotlivé válečky o délce 75 mm. Horní teplotou při kování je teplota 1150 °C. Pro dosažení určeného stupně prokování se válečky podrobí několika cyklům pechování a prodlužování v širokém a úzkém kovádle včetně okování hran.

## 2 Typy materiálů pro obráběcí nástroje a jejich specifikace

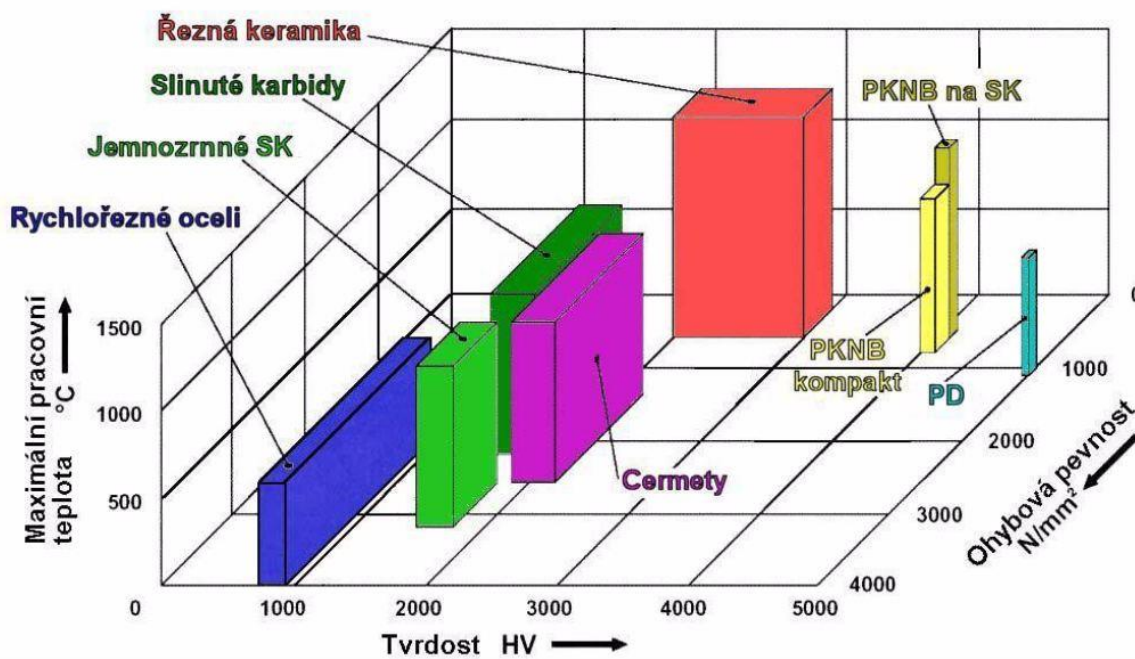
Ve strojírenství existuje celá řada materiálů na výrobu obráběcích nástrojů podle použití. Nás zajímá jeden určitý typ nástrojů, a jsou to obráběcí nástroje řezací.

Řezací nástroje pracují v podmínkách trvalého dotyku, respektive tření s obráběným materiálem. Během použití nástroje musí vlastností břitu zůstat stejné, proto materiál pro výrobu řezného nástroje by měl disponovat vysokou tvrdostí, ořezuvzdorností, to jest po dlouhou dobu zachovávat geometrický profil břitu za působení třecích účinků.

Čím větší je tvrdost obráběných materiálů, rychlost obrábění, tím větší je zatížení působící na nástroj při obrábění materiálu řezáním. Mechanická energie přechází na tepelnou, uvolněné teplo zahřívá břit, obrobek, třísku a chladicí či mazací medium. Proto největším požadavkem na nástrojový materiál je vysoká žáruvzdornost, to jest zachování mechanických vlastností materiálu nástroje za působení vysokých teplot.

Materiály používané na řezné nástroje se rozdělují na:

- Uhlíkové nástrojové oceli
- Legované nástrojové oceli
- Rychlořezné oceli
- Slinuté karbidy
- Cermety
- Řezná keramika
- CBN a diamant



Obr. 1 Vlastností řezných materiálů (Humár, 2016)

## 2.1 Charakteristika materiálů pro řezné nástroje

### 2.1.1 Uhlíkové nástrojové oceli

(ČSN 19 0XX, ČSN 19 1XX, ČSN 19 2XX ) s obsahem uhlíku 0,45 až 1,5 %. Tato ocel po tepelném zpracování se vyznačuje vysokou tvrdostí a pevností. Ve kvalitních ocelích složka síry je v rozmezí 0,03% – 0,035% a fosforu 0,02% až 0,03%. Používají se pro výrobu dřevoobráběcích nástrojů, kladiv, šroubováků, kleští, rybářských háčeků, šicích jehel atd. Nejvyšší přípustná teplota řezání 220°C. Přibližná řezná rychlost činí 6 až 12 m/min [1]

### 2.1.2 Legované nástrojové oceli

(ČSN 19 3XX, ČSN 19 4XX, ČSN 19 5XX, ČSN 19 6XX, ČSN 19 7XX) mají obsah uhlíku 0,8 až 1,2 %. Legující prvky jsou: chrom, molybden, hořčík, vanad a wolfram. Tato ocel se používá pro výrobu razicích, měřicích a řezacích nástrojů. Při správném smíšení složek se ocel stává otěruvzdornou, žáruvzdornou, má dobrou prokalitelnost, dobře odolává rázovým zatížením. Nejvyšší přípustná teplota řezání 260°C. Přibližná řezná rychlost činí 12 až 18 m/min. [1]

### 2.1.3 Rychlořezné oceli

(ČSN 19 8XX) s obsahem uhlíku 0,65 až 1,45 %, a chromu 3,8 až 4,4 %. plus vysoké (do 18) procento legur - chrom, kobalt, molybden, vanad, wolfram. V případě wolframu se jedná o hlavní legující prvek. Přidání wolframu, molybdenu, kobaltu a vanadu dodává materiálu schopnost zachovávat tvrdostní vlastností za vysokých provozních teplot. Jsou to oceli primárně určené pro mechanické zpracování kovových řezacích nástrojů. Rychlořezná ocel musí disponovat jak vysokou otěruvzdorností tak i žáruvzdorností. Nejvyšší přípustná teplota řezání 560°C. Přibližná řezná rychlost činí 15 až 28 m/min [1]

Rychlořezné nástrojové oceli jsou takto pojmenovány na základě jejich schopnosti obrábět materiály vysokou rychlostí. Jsou tvořeny slitinami na bázi železa s uhlíkem, chromem, vanadem, molybdenem nebo wolframem a jejich kombinacemi, v mnoha případech také s kobaltem. Obsah uhlíku a dalších legujících prvků je optimalizován tak, aby bylo možné získat vysokou tvrdost, vysokou odolnost proti opotřebení, vysokou odolnost proti změknutí vlivem tepla, a dobrou houževnatost pro efektivní využití při průmyslovém obrábění. [8]

Klasifikace podle Amerického institutu železa a oceli (American Iron and Steel Institute – AISI) rozděluje rychlořezné oceli na wolframové oceli - typ T - s hlavním legujícím prvkem wolframem (anglicky „tungsten“) a oceli molybdenové - typu M - s hlavním legujícím prvkem molybdenem.

Co se týče vlivu legujících prvků, řada T (s wolframem – tungsten) obsahuje od 12 do 20% W s chromem, vanadem a kobaltem jako hlavními legujícími prvky. Řada M (s molybdenem) obsahuje od 3,5 do 10% Mo s chromem, vanadem, wolframem a kobaltem jako hlavními legujícími prvky. Všechny typy, wolframové i molybdenové, obsahují kolem 4% chromu; obsah uhlíku a vanadu je různý. Obecným pravidlem je, že když roste obsah vanadu, zvyšuje se i obsah uhlíku. Typ T1 neobsahuje molybden ani kobalt. Wolframové typy

s kobaltem jsou oceli T4 až T15 a obsahují od 5 do 15%Co. Typy M1 až M10 (s výjimkou M6) neobsahují kobalt, ale musí obsahovat nějaký wolfram. Oceli s kobaltovou bází, molybden-wolframové jsou klasifikovány sérií M30 až M40. Super-rychlořezné oceli jsou od M40 výše; jsou schopny zpravování na velmi vysokou tvrdost.

Při porovnání M typů s T- typem jsou molybdenové oceli více odolné vůči abrazi (otěru), jsou méně náchylné na deformace při tepelném zpracování a jsou méně drahé. Rychlořezné oceli také mohou být povlakovány nitridem titanu, karbidem titanu, a řadou dalších povlaků práškovou depozicí pro zlepšení životnosti.

Do ocelí typů T a M jsou přidávány různé prvky pro zajištění speciálních vlastností. Přehled těchto prvků a jejich vliv je uveden níže.

**Uhlík C** – je zdaleka nejdůležitější prvek a jeho obsah je velmi přesně určen. Obsah uhlíku u každé rychlořezné oceli se musí pohybovat ve velmi úzkém rozmezí, protože změna jeho obsahu velmi ovlivňuje mechanické vlastnosti a řeznou stabilitu. Když obsah uhlíku roste, pracovní tvrdost roste, zvyšuje se odolnost při zvýšených teplotách, protože množství tvrdých, stabilních a komplexních karbidů roste. Přispívají k odolnosti proti opotřebení.

**Křemík Si** – do cca 1% je vliv křemíku na rychlořezné oceli slabý. Při zvýšení obsahu křemíku od 0,15 do 0,45 % dochází ke slabému zvýšení tvrdosti a má nějaký vliv na morfologii karbidů, ale zdá se, že dochází k mírnému poklesu houževnatosti. Někteří výrobci poskytují nejméně jednu ocel s obsahem křemíku až 0,65%, ale tyto oceli vyžadují nižší austenitizační teplotu než oceli s nižším obsahem Si, aby se předešlo přehřátí při tepelném zpracování. Shrnutí – obsah křemíku se udržuje pod 0,45%.

**Mangan Mn** – koncentrace Mn u rychlořezných ocelí není vysoká, protože jeho hlavním efektem je zvýšení křehkosti a nebezpečí trhlin při kalení.

**Fosfor P** – nemá vliv na žádnou z požadovaných vlastností rychlořezných ocelí. Protože je velmi dobře znám jeho vliv na křehkost za pokojové teploty, je koncentrace fosforu snížena na minimum.

**Chrom Cr** – se u rychlořezných ocelí pohybuje od 3 do 5%. Je hlavním prvkem, který určuje vytvrzení. Obecně platí, že jeho obsah je 4%, protože se ukazuje, že tato koncentrace je nejlepším kompromisem mezi tvrdostí a houževnatostí. Navíc chrom omezuje oxidaci a tvoření okují během tepelného zpracování.

**Wolfram W** – u rychlořezných ocelí má wolfram zásadní význam. Je obsažen ve všech ocelích typu T a v menší koncentraci také v ocelích typu M. Komplexní karbidy železa, wolframu a uhlíku jsou ve všech rychlořezných ocelích a zásadním způsobem přispívají k odolnosti proti opotřebení. Wolfram zlepšuje tvrdost za tepla, způsobuje sekundární vytvrzení, a významně přispívá k odolnosti proti popuštění vlivem tepla při obrábění. Pokud je snížen obsah wolframu u rychlořezných ocelí, je přidáván molybden, aby se kompenzoval jeho menší obsah (místo wolframu je tedy molybden).

**Molybden Mo** – tvoří stejné dvojnásobné karbidy s železem a uhlíkem jako wolfram, ale má poloviční atomovou hmotnost v porovnání s wolframem. Molybden tedy může nahradit wolfram, a to tak, že jeden díl molybdenu (váhově) nahradí dva díly wolframu.

Teplota tavení ocelí M-typu je o něco nižší než T-typu, což vyžaduje o něco nižší kalici teplotu, interval kalicích teplot je užší. Oceli M-typu jsou houževnatější než T-typu, ale tvrdost za zvýšených teplot je o něco nižší. Kompenzace této nižší odolnosti za tepla je provedena přidáním wolframu (a v menším množství vanadu) do molybdenových ocelí. Toto je jeden z nejvýznamnějších důvodů, proč jsou oblíbeny wolfram – molybdenové značky, jako M2 (ČSN 19830,W.-Nr. 1.3343), M3 a M4: poskytují dobrou tvrdost za zvýšených teplot, což je rozhodující pro rychlořezné oceli.

**Vanad V** – byl tradičně přidáván do oceli jako „požírač“ nečistot ze strusky a ke snižování úrovně dusíku při operacích s taveninou. Brzy se zjistilo, že tento prvek zvyšuje řezné vlastnosti nástrojů. Přídavek vanadu způsobuje tvorbu velmi tvrdých, stabilních karbidů, které podstatně zvyšují odolnost proti opotřebení a také přispívají k tvrdosti za zvýšených teplot. Pokud je jeho obsah v rovnováze k obsahu uhlíku, zvýšení obsahu vanadu má relativně malý vliv na křehkost. Stručně řečeno, oceli s obsahem vanadu jsou dobrou volbou pro obrábění vysokými rychlostmi, pro dokončovací obráběcí operace, nebo také v případě, že je povrch zokoujený a hrubý.

Několik speciálně vyvinutých ocelí s vysokým obsahem vanadu bylo vyvinuto pro velmi náročné operace, vyžadující vysokou houževnatost stejně jako vynikající tvrdost za zvýšených teplot a odolnost proti opotřebení. Do této kategorie spadají oceli T15, M4 a M15 – jejich obsah vanadu je 4,88, 4,13 a 5%.

**Kobalt Co** – hlavní význam kobaltu u rychlořezných ocelí je zvýšení tvrdosti za tepla a s tím spojené zvýšení řezivosti, pokud je při obrábění dosaženo vysoké teploty. Kobalt zvyšuje teploty tepelného zpracování, protože zvyšuje bod tavení. Kalici teploty jsou u kobaltových ocelí o 14 až 28°C vyšší než u obdobné oceli bez kobaltu. Kobalt slabě zvyšuje křehkost rychlořezných ocelí.

Kobaltové oceli jsou obzvláště účinné pro hrubé obrábění, ale nejsou obvykle vhodné pro závěrečné obrábění, při nichž není vysoká teplota. Tyto oceli se chovají velmi dobře u operací, kde dochází k hlubokému řezu za vysokých rychlostí, kdy je materiál tvrdý a zokoujený, nebo materiál, který obsahuje dutiny jako je lité železo nebo neželezné kovy.

**Síra S** – v normální koncentraci 0,03% a méně nemá vliv na vlastnosti rychlořezných ocelí. Přesto je síra přidávána do určitých rychlořezných ocelí, aby se získala automatová kvalita podobně jako je tomu u nízkolegovaných ocelí. Počet automatových rychlořezných ocelí je malý, ale tvoří určité procento všech značek rychlořezných ocelí. Jednou z aplikací jsou nástroje o velkých průměrech jako jsou např. protahovací trny.

Síra tvoří komplexní sulfidy, obsahující chrom, vanad a mangan, které jsou rovnoměrně rozloženy v oceli jako podélné vměstky, které přerušují strukturu oceli a působí jako vruby. Tyto vruby pomáhají k odstraňování obráběného kovu, což je charakteristické pro automatové oceli. Velmi vysoký obsah síry (až 0,3%) je u některých „práškových“ nástrojových rychlořezných ocelí pro zlepšení brusných vlastností se spíše globulitickými sulfidy než s podélnými.

**Dusík N** – je přítomen v ocelích, tavených na vzduchu, a to v množství od 0,02 do 0,03%. Obsah dusíku u některých rychlořezných ocelí je záměrně zvýšen na asi 0,04 až 0,05%. Při kombinaci tohoto přídavku s vyšším než obvyklým množstvím křemíku vede ke slabému zvýšení maximálně dosažitelné tvrdosti a k určité změně morfologie karbidů.

#### 2.1.4 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou tvrdé, otěruvzdorné kovokeramické materiály, vyráběné metodou práškové metalurgie, které jsou schopné zachovávat svoje vlastnosti při provozních teplotách až do 1150 °C. Vyrábí se hlavně z vysoce tvrdých a žáruvzdorných materiálů na bázi karbidů wolframu, titanu, tantalu, chromu, spojené kobaltovou či niklovou vazbou při různém obsahu jiných komponentů. V současné době, slinuté karbidy, jsou velmi rozšířeným nástrojovým materiálem. Díky přítomnosti žáruvzdorných karbidů ve struktuře, disponuje nástroj ze slinutých karbidů vysokou tvrdostí (HRC 75). Oproti rychlořezné oceli slinuté karbidy jsou méně houževnaté. Kvůli velké tvrdosti nemůžeme z nich vyrobit celý nástroj. Leští se pouze diamantovými nástroji. Proto slinuté karbidy používají jako destičky, které se pak uchycují na těle nástroje.

#### 2.1.5 Cermety

Cermety jsou umělé materiály tvořené heterogenním kompozitem nekovů (keramiky) s kovy či slitinami, co v podstatě plyne jenom z názvu – **ceramics** (angl. keramika) a **metal** (angl. kov). Cermety spojují velmi důležité vlastnosti jak kovu tak i keramiky současně. Vylučují se velkou pevností, otěruvzdorností, žáruvzdorností. Kovové fáze jsou tvořeny kovy: Ni, Fe, Zr, Ti, Co, Al, Cr a jejich slitiny. Keramické fáze jsou tvořeny: oxidy ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ), karbidy ( $\text{WC}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ), boridy ( $\text{TiB}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{B}_2$ ,  $\text{ZrB}_2$ ), silicidy ( $\text{MoSi}$ ), nitridy ( $\text{TiN}$ ) a uhlík (diamant a grafit). Keramický podíl v cermetech v závislosti na druhu se mění v mezích od 15% až 85% objemu. Cermety se stejně jako slinuté karbidy mohou vyrábět technologií práškové metalurgie. Směs prášku kovové a keramické složky je podrobená tlaku, a následně ohřevu. Výroba je také možná metodou termického nástříku, tím že na nástroji vytváří vrstvu pro chránění povrchu nástroje před opotřebením. Používá se taky pro opravu a obnovení rozměrů opotřebených dílů. Nejvyšší přípustná teplota řezání 800-1000°C. Přibližná řezná rychlost činí 45 až 200 m/min [1]

#### 2.1.6 Řezná keramika

Řezná keramika nemá žádnou vazebnou kovovou fázi, což snižuje její ztrátu pevnosti při ohřevu, a umožňuje to použití keramických řezných nástrojů při vysokých řezacích rychlostech. Obráběcí rychlost může dosahovat až 300 m/min. Velkým nedostatkem keramiky je malá ohybová pevnost, slabá tepelná vodivost, a velká křehkost. Přesto, velká termická stálost při teplotách až do 1200 °C, spolu s vysokou pevností a korozní odolností dovolují použití keramických nástrojů pro závěrečné obrábění polotovarů s velkou tvrdostí a pevností. Velice důležitou podmínkou při obrábění je zamezení různých vibrací při obrábění. Keramický nástroj musí být pevně uchycen aby nebyl poškozen. [1]

#### 2.1.7 CBN a PCD

Tyto materiály jsou destičky na bázi kubického nitridu boru (cubic boron nitride) a polykrystalického diamantu (polycrystalline diamond). CBN je velice chemicky a teplotně stabilní až do 1250°C. Chemická neutrálnost je důležitou vlastností CBN. Je inertní prakticky



ke všem chemickým prvkům, které se mohou vyskytovat ve složení ocelí a slitin. Používá se v průmyslu pro lešticí nástroje různorodých materiálů, a jeho výhodami jsou dlouhodobé zachování ostrosti zrn, odolnost velkým tepelným namáháním, možnost použití na celé spektrum ocelí. PCD je umělý syntetický materiál, obdržený cestou působení vysoké teploty a tlaku na určité množství zrn diamantu při použití kovového katalyzátoru. Kvůli ale velké rozpustnosti diamantového uhlíku v železe není možné PCD nástroje používat na obrábění jeho slitin. [1]

### 3 Nástrojové oceli, vyráběné práškovou metalurgií, výhody a nevýhody

Vlastnosti nástroje, vyrobeného práškovou metalurgií, přímo závisí na metodě jeho výroby.

V praxi se kovové prášky rozdělují podle těchto vlastností:

- chemické vlastnosti
- technologické vlastnosti
- fyzikální vlastnosti

Mezi **chemické vlastnosti** materiálu patří, obsah hlavního kovu, legujících prvků a škodlivých přísad. Na chemické vlastnosti má velký vliv také plyn. Například vodík, kyslík, dusík, případně vodní pára, kdy prášek nebyl vysušen, zvyšují křehkost materiálu a ztěžuje se lisování. Příliš intenzivní vyloučení plynu může vést ke vzniku pnutí v materiálu, což může vyvolat jeho deformaci v horším případě popraskání. Čistota hlavního kovu v prášku obvykle není menší než 98-99%. Pro výrobu slinutého karbidu je ve většině případů naprosto vyhovující. Za škodlivé vměstky v práškách pro výrobu slinutého karbidu se považují oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ), hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a hořčíku. Značně zhoršují lisování prášků, následně se zvyšuje opotřebení formy.

Mezi **technologické vlastnosti** prášku patří: násypová hustota, tekutost, a lisovatelnost. Na násypovou hustotu má vliv rozměr částic, jejich tvar, stav povrchu a také hustota čistého materiálu. Například kulaté částice s hladkým povrchem zajistí větší hustotu než oválné a s drsným povrchem. Tekutost prášku - je schopnost prášku se přemísťovat působením vlastní váhy. Měří se jednotkou hmotnosti za jednotku času, čili měří se čas vyprázdnění nádoby, naplněnou práškem s určitou hmotností, přes otvor s určitým průměrem, například 50 gramů otvorem 2,5 mm. Tekutost závisí od stejných faktorů jako násypová hustota. Tekutost se dá zhoršit zvlhčením materiálu, zvětšením měrné plochy částic a při zvětšení rozměru částic menší frakce. Lisovatelnost prášku je schopnost prášku pod působením vnějších účinků získávat a udržovat materiálem dodaný tvar. Prášky stejného chemického složení a s rozdílnými mechanickými vlastnostmi mohou disponovat i rozdílnými technologickými vlastnostmi, které mají vliv na výsledné vlastnosti výrobku.

**Fyzikální vlastnosti** zahrnují tvar částic a jejich rozměry. Tvar částic nejvíce záleží na způsobu jejich vytvoření. A jak už bylo řečeno, jejich tvar ovlivňuje hustotu, pevnost a homogenitu. Největší pevnost dávají částice ve tvaru dendritů, kdy zpevnování prášku se vysvětluje působením třecích sil mezi jednotlivými částicemi, a vzájemným propletením. Rozměry částic obdržených různými způsoby se pohybují mezi mikrometrem až milimetrem. Na rozměru částic záleží vlastnosti materiálu, proto se nepoužívají prášky pouze jednoho rozměru.

Výhody nástrojových ocelí vyrobených práškovou metalurgií jsou:

- Možnost obdržení materiálů, které nelze vyrobit jinou metodou, například slinutí kovů které se normálně v roztaveném stavu neslučují kvůli rozdílu v teplotách tavení (měď s wolframem), kompozit kovu s nekovem (hliník a oxid hliníku)
- Možnost obdržení, z pohledu mechanických vlastností, materiálů a výrobků v souladu s výhodnější výrobou z ekonomického hlediska.
- Možnost výroby přesnějšího chemického složení materiálu

Při stejném složení a hustotě, u slinutých karbidů ve většině případů díky jejich struktuře jsou lepší i všechny ostatní vlastnosti. Slinuté karbidy nemají sklon k vytvoření všemožných strukturních orientací. U slinutých materiálů je možné snadněji regulovat způsoby vzájemného rozmístění a tvar zrn. Díky těmto strukturním vlastnostem nástroje, vyrobené práškovou metalurgií, jsou více žáruvzdorné, lépe odolávají dlouhodobým cyklickým zatížením teplotou a pnutím, což je velice důležitou vlastností pro materiály v některých odvětvích průmyslu. Prášková metalurgie disponuje ovšem i nedostatky. Mezi ně patří:

- Poměrně vysoká cena kovových prášků
- Nutnost spékání kovových prášku v ochranné plynové atmosféře
- Složitá výroba
- Obtížnost výroby slinutých karbidů bez různých materiálových defektů mezi které patří póry a přítomnost bublin, vyplněných plyny, kterým bylo znemožněno jeho vyloučení na povrch
- Nutnost použití čistých původních prášků pro obdržení čistých slinutých karbidů

### 3.1 Metodika práškové metalurgie

Technologický postup výroby nástrojových ocelí práškovou metalurgií se skládá z následujících operací [2] :

- Výroba a příprava prášku z materiálu, které mohou představovat jak čisté kovy, tak i jejich slitiny
- Lisování přípravku určitého tvaru ve speciálních lisovacích formách
- Tepelné zpracování a spékání lisovaných výrobků, dodávajících závěrečné fyzikální a mechanické vlastnosti.

#### 3.1.1 Výroba prášků

Při výběru metody výroby prášku však nehrají hlavní roli jeho kvalitativní vlastnosti, ale i ekonomické hodnocení, které na základě výpočtů dává odpověď, která z možných metod je finančně výhodnější. Za způsoby výroby prášků se považují technologické procesy, během kterých původní materiál v důsledku působení vnějších účinků zmenšuje svůj rozměr bez změny chemického složení. Mezi ně můžeme zařadit:

- Drcení a mletí
- Rozstříkávání a granulování roztaveného materiálu
- Výroba prášku řezáním

### 3.1.1.1 Drcení a mletí

Drcení probíhá působením rázových účinků, stříháním a rozemletím materiálu o drticí plochy stroje. Při drcení tvrdých těles v materiálu probíhají deformace, během kterých se v materiálu hromadí mikrotrhliny, ty vedou k vytvoření koncentrátorů napětí a k dalšímu vytvoření nových trhacích ploch.

Pro rozemletí se dají použít:

- Kulový mlýn
- Vibrační mlýn
- Proudová komora

### 3.1.1.2 Rozstříkování a granulování roztaveného materiálu

Rozstříkování a granulování roztaveného materiálu je nejproduktivnější metodou výroby prášku. Rozstříkování taveniny se dá uskutečnit poměrně levným technologickým procesem u kovů s teplotou tavení do 1600°C.

Nevýhodou těchto prášků je to, že kovový materiál v procesu výroby se vystavuje oxidačním účinkům. Proto výsledný prášek potřebuje být podroben dalšímu tepelnému zpracování.

### 3.1.1.3 Obrábění kovů řezáním

Obrábění kovů řezáním se v praxi využívá zřídka. Prášky se vyrábí obráběcími operacemi v takových režimech, které poskytuje vytvoření částic a ne plynulé třísky. V příštím kroku větší částice putují do drticích a mlecích strojů, kde následuje jejich rozemletí.

## 3.1.2 Lisování přípravku určitého tvaru ve speciálních lisovacích formách

Lisování kovových prášků představuje technologickou operaci, kdy pod vlivem vnějších účinků se z tekutého kovového prášku získává pevný přípravek (polotovar), který se tvarem a rozměry je blíží tvaru a rozměru hotového nástroje.

Zakladními operacemi při přípravě prášků k lisování jsou:

- Žihání
- Třídění
- Smíšení

### 3.1.2.1 Žihání

Tento způsob zpracování prášku se používá za účelem zlepšení lisovatelnosti prášku cestou zvýšení jeho plasticity. Při žihání probíhá odstranění strusky, vzniklé v důsledku redukce oxidů, které vznikly při výrobě kovového prášku nebo po dlouhodobém uskladnění. Nejčastěji se žihají prášky, obdržené mechanickým rozemletím. Takové prášky obsahují značné množství oxidů rozpuštěných plynů.

### 3.1.2.2 Třídění

V tomto bodě probíhá velikostní třídění prášku na jednotlivé velikostní frakce určené přímo pro formování nebo pro vytvoření směsi, ve které je kladen požadavek na procentní obsah částic určitého rozměru. Prášek se třídí způsobem vibračním a vzdušným. Oba způsoby tehdy mají stejný účel, ale rozdílnou konstrukci.

### 3.1.2.3 Smíšení

Smíšení je jednou z nejdůležitějších fází při výrobě nástrojů práškovou metalurgií, a spočívá v mechanické přípravě homogenní směsi z prášků různých rozměrů a různého chemického složení. Průběh smíšení ovlivňuje fyzikální a technologické vlastnosti kovových prášků.

### 3.1.3 Tepelné zpracování a spékání lisovaných výrobků, dodávajících závěrečné fyzikální a mechanické vlastnosti.

Spékání práškových materiálů představuje tepelné zpracování volně nasýpaného prášku, či lisovaných přípravků za teplot  $0,8 \pm 0,1$  absolutní teploty tavení kovového prášku, u více komponentních směsí je rozhodující teplota tavení kovu hlavní složky. Je to jedna z nejdůležitějších technologických operací, výsledkem které se dosahuje vytvoření pevného slinutého materiálu, který vlastnostmi překonává vlastnosti litých materiálů. Při spékání probíhá odstranění plynů absorbovaných povrchem prášků, odstranění pnutí v práškových částicích, redukce oxidů.

Hlavními faktory, které ovlivňují proces spékání a závěrečné fyzikální a mechanické vlastností jsou:

- Vlastnosti výchozích materiálů
- Lisovací tlak
- Teplota spékání
- Doba spékání
- Atmosféra spékání

## 4 Klasický způsob kování a válcování nástrojových ocelí, jejich porovnání z hlediska vlivu na strukturu

Nástrojové oceli jsou obtížně kovatelny. Tvařitelnost těchto ocelí značně klesá se snižováním teploty. Proto dokovací teplota musí být vyšší než u konstrukčních uhlíkových ocelí, jinak je nebezpečí vzniku trhlin. Tepelný interval kování těchto ocelí je menší, a proto se musí oceli během kování přehřívat. Také tepelná vodivost nástrojových ocelí je menší, a proto musí být jejich ohřev pomalý a opatrný. Při kování rychle ohřáté oceli, která je uvnitř průřezu vlivem nižší teploty méně tvárná, dochází k vzniku trhlin. Povrchové praskliny se tvoří při rychlém ochlazování výkovku. Tvoření trhlin se odstraní kováním rychlými, silnými údery za současného otáčení výkovku.

Vzhledem k špatné tvárnosti je první operací výrobní technologie kování pod buchary a kovacími lisami. Po překování ingotu na vhodné tvary polotovaru je možno pokračovat v další výrobě válcováním. K dosažení čistého povrchu bez povrchových vad a podpovrchových trhlin se nutně zařazuje do výrobního cyklu hrubování povrchu ingotů. Povrchově čisté, hrubované ingoty se ohřívají v kovářských pecích a dále se kovou. Po vykování, vyžihání a vyčištění se předává polotovar do válcoven k výrobě polotovarů a tyčí o menším průřezu. [6]

Celý postup kování by šel rozdělit do tří bodů:

- Čištění (hrubování) ingotů
- Ohřev studených ingotů ke kování
- Vlastní kování ingotů

### 4.1 Čištění (hrubování) ingotů

Do kováren musí být dodávány ingoty z rychlořezného materiálu čisté a osoustružené. Před soustružením jsou všechny ingoty žihány. Osoustružený ingot musí splňovat tyto požadavky: [6]

- Trhliny a nečistoty na těle ingotu je nutno odstranit vysoustružením, a to tak, aby na těle ingotu nevznikly značné vruby; každé vyjždění ze záběru musí být pozvolné v poměru  $\frac{L}{H} \geq 3$ . Kde L... je délka vyjetí, H... hloubka vysoustružení
- Místní čištění nesmí přesahovat hloubku, při níž by byly ingoty obvyklým způsobem obtížně kovatelny. Hlubší místní trhliny je nutno odstranit obráběním celého povrchu ingotu
- Ingoty po vyčištění nesmějí mít povrchové vady
- Při místním čištění se nesmí používat vybrušování nebo vypalování plamenem
- Hrotový důlčík sloužící pro upnutí na soustruh nesmí být hluboký a nesmí mít ostrý hrot. Nedodržováním tohoto požadavku dochází často k štěpení konce polotovaru při kování

### 4.2 Ohřev studených ingotů ke kování

Větší ingoty ke kování na lisech se nejběžněji ohřívají ve vozových plynových pecích s výjezdnou nístějí. Menší ingoty pro kování na bucharech se s úspěchem ohřívají v plynových ohřívacích kontinuálních pecích. Vzhledem k špatné tepelné vodivosti a nízké tvárnosti je nutno u skupiny rychlořezných ocelí zařazovat při ohřevu dostatečně dlouhý předeřev.

Studené ingoty určené ke kování na bucharech se ukládají na plošinu průběžné pece, aby teplota sázených ingotů odpovídala teplotě dílny (důležité v zimním období), aby nedocházelo k teplotnímu nárazu. Při zaplnění plošiny se v pravidelných intervalech zasouvají ingoty do předehřívacího prostoru pece. Dávkování se volí podle pracovního cyklu, přičemž je nutno zaručit pravidelnost, aby byla celá vsádka předehřívána a ohřívána rovnoměrně. Z celého času potřebného pro ohřev materiálu na kovací teplotu počítáme 2/3 na předehřev na teplotu 700 až 850 °C a 1/3 na ohřev na kovací teplotu včetně vyrovnání na teplotě. Takto ohřáté ingoty je možno kovat. Váhově větší ingoty určené ke kování na kovacích lisech se ohřívají ve vozových pecích s výjezdnou nístějí. Ingoty se nasazují do studené pece. Režim ohřevu je veden obdobně jako u menších ingotů ohříváných v průběžných pecích. V některých případech se ingoty nahřívají v jiné peci, a to na teplotu asi 400 °C. Takto předehřáté ingoty se potom nasazují do vozové pece, která je vytopena na teplotu maximálně o 100 až 150 °C vyšší, než je teplota nasazovaných ingotů. [6]

### 4.3 Vlastní kování ingotů

Hlavním požadavkem kladeným na polotovary předávané k dalším dokončujícím operacím kováním nebo válcováním (při výrobě tyčové oceli) je dostatečné zjemnění struktury a zamezení výskytu středových trhlin.

První požadavek je zajišťován volbou dostatečně velkého ingotu k dosažení správného a optimálního stupně prokování, který zaručí a umožní další bezpečné zpracování ve válcovnách. Běžně je volen stupeň prokování 2,5 až 3. Je ovšem možno použít i nižšího stupně prokování, a to až 1,8, neboť při tomto stupni prokování ještě dojde k dostatečnému rozrušení primární struktury lité oceli, která je určena pro další tváření ve válcovnách. Tento způsob kování polotovarů s volbou jen nezbytně nutného stupně prokování je přechodem k přímému válcování.

Z hlediska kapacitního využívání tvářecích agregátů v kovárnách je tento způsob kování výhodný, neboť stoupá produkce a klesají výrobní náklady na tunu výrobků. Podíl na tváření klesá v kovárnách a stoupá ve válcovnách, přitom výrobní náklady na tunu oceli jsou ve válcovnách nižší. Dalším důležitým požadavkem je zamezení vzniku středových trhlin v polotovaru, neboť při tváření ve válcovnách se přenášejí tyto vady do hotových výrobků. Příčin tvorby středových vad (trhlin) je mnoho a nelze jednoznačně určit pravý důvod jejich vzniku; proto se zaměříme na základní operace, které musí být při kování dodržovány. Správný ohřev je základem úspěšné výroby. Dobře prohřátý a ohřátý ingot na správnou kovací teplotu se začne kovat bucharem. Veškeré vedlejší přípravné časy potřebné pro přemístění ingotu pod buchar, upnutí ingotu do ručních kleští nebo do čelistí kovacího manipulátoru musí být co nejkratší, aby tepelné ztráty ohřátého ingotubyly minimální. Vlastní kování pod bucharem začíná lehkými a rychlými údery po celém obvodu ingotu.

Kování na kovacím lise je obdobné a úběry jsou podobné jako u bucharů. Během kování je možno zvyšovat úběr až o 100 %, přičemž je nutno dodržet zásadu, že ingot nesmí být tvářen v jednom místě, aby nedošlo vlivem nadměrné deformace k místnímu vnitřnímu přehřátí nebo rozštěpení středu. Ingot se musí proto během kování stále posunovat po kovacím lise po každém úderu. Posouvání ve směru osy ingotu postupuje vždy od středu směrem k hlavě. Tento způsob kování je nutný proto, aby se zamezilo prodlužování staženiny při tváření. [6]

Hlavní a největší rozdíl, z ekonomického hlediska, mezi kováním a válcováním je objem výroby, kterou určitý postup dokáže produkovat. Pokud nebude brán ohled na robotizaci, při

kování je větší podíl lidské práce. Kování není tak precizní, a po ukončení procesu kování, vždy je potřeba následné mechanické obrábění. To všechno zpomaluje celý proces a ková se ve mnoha případech kusově. Válcování probíhá v kontinuálních válcovacích linkách ve velkém objemu, kde neustále probíhá napojení materiálu na materiál, a válcované výrobky se nadále podrobují jen tepelnému zpracování, a jsou připravené k použití. Největší výhodou kování je značná flexibilita kovaného sortimentu.

#### 4.4 Technologický postup kování, vliv na strukturu

Kování je zpracování kovových materiálů ohřátých na kováckou teplotu. Pro každý kov je předepsaná vlastní kovácká teplota která závisí na fyzikálních (teplota tavení a krystalizace) a chemických (přítomnost legujících prvků) podmínkách. Základní teplotní interval kováckých teplot pro rychlořeznou ocel je obvykle 900 až 1150 °C.

Technologický postup zpracování kovu volným kovááním lze shrnout do následujících operací: pēchování, prodlužování.

Pēchování je operace, která se spočívá ve zvětšení příčného průřezu výkovku za cenu jeho délky (uplatňuje se zákon zachování objemů  $V_0 = V_1 = V_2 = H_1 \times S_1 = H_2 \times S_2$ ). Důležitou podmínkou při pēchování je to že výška výkovku nesmí přesahovat 2,5 násobek jeho průměru, jinak se výkovek ohne.

Prodlužování je opakem operace pēchování, a je používáno pro zvětšení délky výkovku při zmenšení jeho příčného průřezu (s platností zákona zachování objemů). Tvar kovadel umožňuje to, že materiál se vytlačuje ve směru do délky. Prodlužování se uskutečňuje tím, že se výkovek pravidelně otáčí, a postupně prodlužuje po celé své délce.

Zpracování kovových materiálů kovááním má značný vliv na strukturu kovů, a nejvíce se to ukazuje na litých materiálech. Odlitky v důsledku své nehomogenity ve struktuře a chemickém složení, a také kvůli přítomnosti pórů, bublinek, a jiných vad, s ohledem na ekonomickou stránku, nemohou být použité. Musí být podrobené operaci tváření, během které se tyto vady mají odstranit. Například při pēchování se zavaří bubliny, trhliny a póry (čímž se zvyšuje hustota kovu). Při kováání litého materiálu se křehké dendritické krystaly drtí, a protahují se ve směru větší deformace. Díky probíhajícím procesům rekrystalizace, deformovaný materiál nabývá zrnitou mikrostrukturu.

#### 4.5 Technologický postup válcování, vliv na strukturu

Technologický postup válcování spočívá v tom, že v průběhu svého odvalování po válcích kov nabývá potřebného tvaru.

Válcování je nejmasivnější způsob mechanického zpracování kovů tvářením. Válcováním se vyrábí kolejnice, dráty, nosníky, plechy, profily, potrubí.

Výchozím polotovarem pro provedení válcování mohou sloužit čtvercové, obdélníkové či vícehranové odlitky, pēchované plechy či kované přípravky. Technologické postupy se mohou provádět jak za studena tak i za tepla.

Základními technologickými operacemi jsou: příprava výchozích materiálů, ohřev, válcování a oddělení.

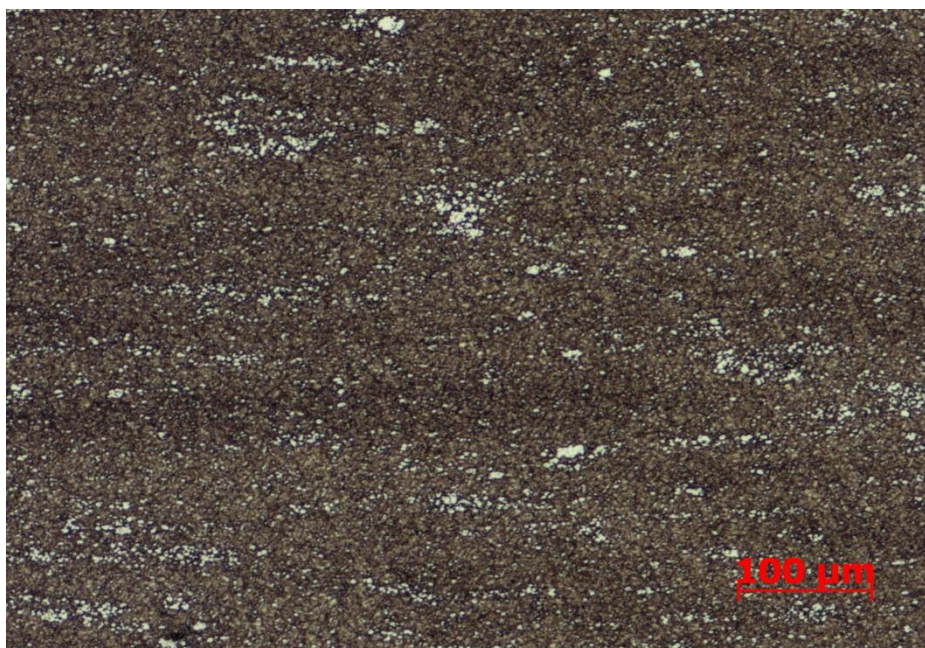


Příprava výchozích materiálů zahrnuje odstranění různých povrchových vad.

Ohřev polotovaru zaručuje vysokou plasticitu, dobrou kvalitu hotového výrobku a vytvoření potřebné struktury. Režimy ohřevu potřebují být striktně dodržované. Největší požadavek na ohřev spočívá v rovnoměrném prohřevu polotovaru do určené teploty za co nejmenší čas, a s nejmenším plýtváním polotovarem. Teploty se určují v závislosti na teplotách tavení a rekrystalizace, a pro příklad uhlíkové nástrojové oceli teplota začátku deformace za tepla se pohybuje v rozmezí 1150 – 1200°C, a teplota ukončení deformace za tepla mezi 900 – 950 °C. Značný vliv má režim ochlazování. Příliš rychle a nerovnoměrné ochlazování může zapříčinit vytvoření trhlin.

Při válcování se kontroluje teplota začátku a konce procesu válcování, kontrolují se geometrické parametry válcování jako poměr  $H/h$ , kde  $H$  - výška před válcováním,  $h$  - výška po válcování. Pro kontrolu stavu povrchu výrobku mohou být odebírané vzorky.

Při válcování dochází k prodlužování zrn podélně ve směru válcování, čímž se zvyšuje heterogenita. V řadě výzkumných pokusů se zjistilo, že neoptimálnější strukturní mechanické vlastností se dosahují při poměru  $\frac{(H-h)}{H} \times 100\% = 50 - 70\%$ , Značné zvýšení vlastností se dosahuje zavedením žíhání hned po válcování. Díky tomu se zvětšuje velikost zrn feritu. Při válcování pod teplotou rekrystalizace v materiálu probíhá deformační zpevnění. Ve struktuře se zvyšuje hustota dislokací, snižuje se plasticita a vrubová houževnatost materiálu. Tento stav je pak třeba odstranit rekrystalizačním žíháním.



**Obr. 2: Struktura rychlořezné nástrojové oceli v pēchovaném stavu**



**Obr. 3: Struktura rychlořezné nástrojové oceli ve válcovaném stavu**

## 5 Tepelné zpracování nástrojových ocelí, výhody a nevýhody

Při tepelném zpracování rychlost ohřevu je nutno volit se zřetelem na vznikající tepelná napětí ve výkovku, která mohou vyvolat vznik prasklin. Při ohřevu je nutno brát v úvahu tyto činitele:

- Počáteční teplota pece
- Čas na prohřátí výkovku

Počáteční teplota pece při ohřevu velkých výkovků nemá být vyšší než 300 až 400 °C. Ohřívací čas je možno rozdělit na dva pochody. První, kdy výkovek je málo plastický, a kdy je nutno vést ohřev pomalu a opatrně. Druhý, od teploty, kdy plasticita materiálu již značně vzrostla (asi 600 °C) a materiál je možné ohřívat největší rychlostí, jež zaručuje jeho dostatečné prohřátí. Ohřívací časy pro vyše legované oceli se pohybují zhruba v mezích 1,5 až 1,8 min. na mm průřezu.

Udržování na normalizační nebo kalicí teplotě činí 1/4 až 1/3 času ohřevu na tyto teploty

Na způsob i dobu ohřevu mají vliv tvar a rozměry výkovků, jejich uložení v peci, konstrukce pecí a výhřevnost paliva. [6]

### 5.1 Uhlíkové nástrojové oceli

Tepelné zpracování uhlíkových ocelí se skládá ze dvou stupňů. V prvním stupni ocel prochází žíháním za teplot 735-765 °C za účelem vytvoření struktury kuličkového perlitu a tím zvýšení obrobiteľnosti kovu. Ve druhém stupni probíhá kalení a popouštění na nižších teplotách. Kalení se provádí pro podeutektoidní oceli ve vodě z teplot 780-810 °C, neboli z teplot, ležících 30 °C nad křivkou Ac3 a pro nadeutektoidní oceli 50 °C nad Ac1. Kalicí rychlost pro uhlíkové nástrojové oceli je v rozmezích 200 až 300 °C/sec. Proto každé pomalejší ochlazování může způsobit vychýlení křivky ochlazení do oblasti měkčí bainitické či perlitické přeměny austenitu. Proto jenom nástroje o malých rozměrech prokalí se celé, ale během kalení v nich vznikají pnutí, které jsou schopné nástroj značně deformovat. Velké nástroje, při kalení ve vodě, nebo dokonce solních lázních, nejsou schopné se zcela prokalit, a martenzitická transformace proběhne pouze v povrchové vrstvě. Nástroje s perlitickým vnitřkem snadněji přenášejí rázy než prokalené martenzitické nástroje. Nástrojové uhlíkové oceli se proto zejména používají pro nástroje o malých (do 5 mm) průřezích, které lze prokalit i v oleji, a také pro nástroje o tloušťce 18-25 mm, ve kterých řezná rovina připadá na povrchovou vrstvu, například: dláta, pilníky, závitníky, nástroje na obrábění dřeva atd. Aby nedošlo k poklesu tvrdosti materiálu, popouštění uhlíkových nástrojových ocelí se provádí za teploty která nepřevyšuje 220 °C. Stejně tak teplota během řezání, ze stejných důvodů, nesmí překročit stejnou hodnotu. Tvrdost nástroje po závěrečném tepelném zpracování dosahuje 56 - 64 HRC. Výhodou uhlíkových nástrojových ocelí je nízká cena a dobrá obrobiteľnost nástrojů. Nevýhodami jsou pomalá řezací rychlost, omezené rozměry nástroje, a velká deformace po kalení ve vodě. [3]

## 5.2 Legované nástrojové oceli

Nízkolegované oceli nejsou příliš žáruvzdorné. Jejich hranice žáruvzdornosti nepřevyšuje 260 °C. Nízkolegovaná ocel je doporučena pro nástroje o průměru do 15 mm, proto se používá při výrobě skalpelů, zahradnických nožů, břitev atd. U středně legovaných ocelí hranice žáruvzdornosti se nachází mezi 300 - 400 °C. Na rozdíl od uhlíkových nástrojových ocelí, legované nástrojové oceli disponují lepší prokalitelností a také otěruvzdorností. Proto nástroje o větších rozměrech (nad 40 mm) jsou prokalitelné dokonce i v oleji. Kalení v oleji napomáhá tomu, že pomalejší chladnutí nevytváří silná pnutí v nástroji, a tím pádem nástroj je minimálně podroben deformačním vlivům. Nástroje mohou pak mít jak větší průřez, tak i větší délku. Obvykle tepelné zpracování legovaných nástrojových ocelí se skládá z kalení v oleji z teplot 830 - 870 °C a popouštění za teploty 200 °C. Tvrdost pak dosahuje 61 - 66 HRC. Při zvyšování teploty popouštění do 300 °C tvrdost se snižuje do 55 - 60 HRC. [3]

## 5.3 Rychlořezné oceli

Se zvětšující rychlostí řezání zvětšují se požadavky i na žáruvzdornost oceli. A těmto požadavkům zcela vyhovuje rychlořezná ocel. Je schopná zachovávat svoji strukturu i při ohřevu do 560 °C. Řezné nástroje z rychlořezné oceli zvětšují rychlost řezání 8-10 krát oproti nástrojům z uhlíkové nástrojové oceli. Vysokou žáruvzdornost nástroj dostává po kalení a následného popouštění. Při zahřívání nástroje do teplot kalení je třeba zajistit maximální rozpuštění karbidů, a vytvoření vysoko legovaného austenitu. Tato struktura zlepšuje prokalitelnost, a tím umožní vytvořit žáruvzdornou a otěruvzdornou ocel pro kvalitní řezací nástroje. Zajímavostí je, že za normálních teplotních podmínek, uhlíková nástrojová ocel může mít větší hodnotu tvrdosti než rychlořezná ocel. Právě díky tomu, že tvrdost rychlořezné oceli se podstatně nemění při značném ohřevu, tato ocel je více produktivní než předchozí dva typy nástrojových oceli. Kovací teploty rychlořezné oceli se pohybují mezi 900°C až 1150°C. [3]

## 6 Deformace, definice, rozložení deformace uvnitř tělesa, stupeň prokování

Pojem deformace v české odborné terminologii lze popsat třemi způsoby [4].

- Deformace je změna vnějších rozměrů tělesa při tváření
- V jiném smyslu lze za deformaci považovat nežádoucí změnu tvaru při nedodržení předepsaných rozměrů, k nimž může dojít např. při kalení
- Kritériem kvality struktury, nejčastěji ve vztahu k odstranění nehomogenní lící struktury a její nahrazení jemnozrnnou strukturou tvářenou, je rozložení deformace uvnitř tělesa, které je při využití metody konečných prvků vypočteno ze změny tvaru elementů sítě.

Příčinou všech vznikajících deformací jsou vnitřní síly v tělesech vznikající působením sil vnějších. Vnitřní síly působí neustále v celém průřezu tělesa. Vnitřní síly vyvolávají napětí, která v podstatě určují velikost vnitřní síly na jednotku plochy průřezu. V praxi se vnitřní napětí měří v MPa.

Těleso pod vlivem vnější síly mění svůj tvar, tváří se. Pokud těleso po odlehčení silového účinku získá opět původní tvar, jde o pružnou (vratnou) deformaci. Nestane-li se tak, je to plastická (trvalá) deformace. Celkovou deformaci lze pak vyjádřit součtem pružné a plastické deformace: [7]

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$$

Kvantitativní stránku deformace představuje její velikost a kvalitativní stránku pak stav deformace příznačný pro daný tvářecí pochod či operaci.

Protože pro technologické tvářecí pochody jsou příznačné větší deformace, je nutno k jejich výpočtu použít takovou veličinu, která má obecnou platnost. Tou je skutečná neboli logaritmická deformace  $e$ . Pro hranol, podrobený absolutním deformacím  $\Delta h$ ,  $\Delta b$  a  $\Delta l$ , se přejde na diferenciální způsob vyjádření příslušných deformací, tedy  $dh/h$ ,  $db/b$ ,  $dl/l$ . Jejich integrování v rozmezí od výchozího rozměru ke konečnému rozměru vede ke skutečným deformacím:

$$e_h = \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \ln \frac{h_1}{h_0}$$

$$e_b = \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} = \ln \frac{b_1}{b_0}$$

$$e_l = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0}$$

V technické praxi se též vžil vyjádření velikosti deformace prostřednictvím součinitelů deformace, a to

$$\gamma = h_1/h_0 \text{ - součinitel stlačení}$$

$$\beta = b_1/b_0 \text{ - součinitel stlačení}$$

$$\lambda = l_1/l_0 \text{ - součinitel stlačení}$$

Ze zákona stálosti objemu,  $h_0 \times b_0 \times l_0 = h_1 \times b_1 \times l_1$ , vyplývá, že

$$(h_1/h_0) \times (b_1/b_0) \times (l/l_0) = \gamma \times \beta \times \lambda = 1$$

Po logaritmování

$$\ln \gamma + \ln \beta + \ln \lambda = e_h + e_b + e_l = 0$$

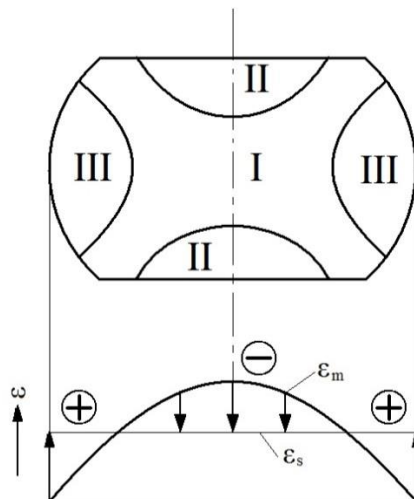
Ze dvou známých deformací lze vypočítat tu zbývající, o níž platí, že je největší, a tedy rozhodující pro charakteristiku daného tvářecího pochodu:

$$e_h = -(e_b + e_l)$$

Z toho též vyplývá, že skutečné deformace nemohou být téhož znaménka.

Schéma hlavních deformací poskytuje o průběhu deformačních dějů poněkud idealizovanou představu, podle níž probíhá deformace v tvářeném tělese rovnoměrně, kdy pro místní deformaci  $\epsilon_m$  a pro jeho střední deformaci  $\epsilon_s$  platí, že  $\epsilon_s = \epsilon_m$ . Tato rovnost je dosažitelná pouze za předpokladu rovnoměrného stavu napjatosti, např. Při tahové zkoušce až do okamžiku vzniku krčku.

V technologických tvářecích pochodech jde vždy o nerovnoměrnou deformaci, což lze zjednodušeně zapsat tak, že  $\epsilon_s \neq \epsilon_m$ . K příčinám nerovnoměrné deformace patří: 1. vnější tření na stykové ploše nástroje a tvářeného kovu, 2. tvar pásma deformace, tedy té části tvářeného kovu, která je pod přímým vlivem nástrojů, 3. nesterjnorodé vlastností tvářeného kovu.



**Obr. 4 Nerovnoměrná deformace při pýchování**

Názorným příkladem nerovnoměrné deformace vyvolané vnějším třením je pěchování válečku. Z obr. 4 je zřejmé, že pásmo deformace lze rozdělit na tři oblasti s rozdílnou velikostí místních deformací. Pro oblast I je příznačná téměř zanedbatelná deformace, což se přisuzuje vlivu třecích sil, jejichž účinek je nejsilnější na stykové ploše a směrem do nitra válečku slábne. Největší deformační účinek postihuje oblast II, v níž smyková napětí dosahují největších hodnot. V oblasti III probíhá deformace určité střední velikosti; současně tu vznikají tangenciální tahová napětí, jejichž velikost vzrůstá směrem k bočnímu povrchu válečku.

Z příkladů nerovnoměrné deformace, kterou vyvolává tvar pásma deformace, uveďme alespoň válcování tak složitých vývalků jako kolejnice, nosníky, úhelníky apod. – i při tvarově jednoduchém, ale velmi štíhlém pásmu deformace se musí počítat s výraznou nerovnoměrností deformace následkem nedostatečného pronikudeformačního účinku po celé výšce pásma deformace. Názorným příkladem je válcování ingotů velkých průřezů v prvních průchodech na blokovně nebo kování velkých ingotů mezi úzkými kovadly.

Nestejnorodé vlastnosti tvářeného kovu zvyšují nerovnoměrnost deformace zejména v těch případech, kdy jde o tváření polotovaru s lící strukturou. Naznačená příčina je mnohdy ještě zesílena nerovnoměrným prohřátím výchozího polotovaru.

## 6.1 Stupeň prokování

U výrobků, které se kovají z ingotů, se prokáváním odstraňují nebo alespoň zmírňují fyzikální a fyzikálně-chemické nestejnorodosti kovu.

Krystalická struktura ocelového ingotu je nerovnoměrná a nestejnorodá. Tato skutečnost má vliv jak na tvárnost ingotu, tak i na celkovou jakost hotového výrobku. Prokáváním se má v prvé řadě rozrušit lící struktura ingotu a dosáhnout fyzikálních a mechanických vlastností, jež jsou od konstruktérů pro daný výrobek požadovány. K tomu je třeba, aby stupeň prokování byl správně volen. Zatím jsou pro stupeň prokování vžity určité konvenční hodnoty, které však nemohou charakterizovat velikost deformací a nejsou proto také ukazatelem skutečného prokování.

Ingoty pro kování mají mít stejnozrnou strukturu s nejmenšími segregacemi a vměstky. Se stoupajícím stupněm prokování se mění tvar a forma prvotních krystalů a dochází k tvoření vláken v kovu. Příčinou vzniku vláken v kovu, který byl za tepla tvářen, je přítomnost příměsí a segregace. Síra a kyslík dávají vměstky, které se ukládají vlivem segregace kolem promárních zrn tuhnutí oceli a tvoří jakési jejich přerušované obaly. Také fosfor se výrazně odměšuje uvnitř zrn, a proto zůstávají ve vnějších vrstvách zrna bohatší na fosfor.

Pro rozrušení a usměrnění dlouhoosých krystalů je zapotřebí většího stupně prokování než pro krátkoosá zrna ve střední oblasti ingotu. [6]

V praxi se úroveň deformace tělesa po tváření v návaznosti na odstranění nežádoucí lité struktury určuje tzv. stupeň prokování. Existuje několik způsobů výpočtu stupně prokování:

**Dle Elfmarka (ČSN 420276) :**

$$P_k = A^n \times P^n \times K$$

kde  $P_k$  ... Stupeň prokování

A ... Pěchovací ekvivalent (volí se v rozmezí 0,7 až 0,9 )

P ... Stupeň pěchování (poměr průřezů plasticky přetvořeného přípravku a původního polotovaru)

K ... Stupeň prodloužování (poměr příčných průřezů původního polotovaru a výkovku)

n ... Počet pěchovacích operací

#### **Dle plzeňských kováren:**

$$P_k = \frac{F_p}{F_k} \geq 3,1$$

kde  $F_p$  ... Průřez napěchovaného ingotu

$F_k$  ... Průřez výkovku po prodloužení

Je všeobecně známo, že velikost deformace není v celém průřezu výkovku stejná. Výpočtený stupeň prokování je pouze hodnotou průměrnou a směrnou, podle které můžeme posoudit, do jaké míry je výkovek protvářen. Při posuzování protváření výkovku je značně důležitá šířka kovadel a velikost úběru při kování. Je-li použité kovadlo příliš úzké, může zůstat jádro výkovku vůbec neprotvářeno i při dostatečně velkém stupni celkového prokování. [6]

#### **Dle numerických simulací:**

Při modelování procesu tváření se zjistí tok materiálu a rozložení deformace v kterémkoliv místě výkovku, kdy porovnání jeho vnějšího tvaru s realitou je důkazem správnosti výpočtu. Eliminujeme tak empirickou zkušenost, a odpadá nedorozumění, jak rozložení deformace uvnitř tělesa počítat a jakou hodnotu považovat za dostatečnou. Veličinou, která koreluje se stupněm prokování, je efektivní deformace neboli intenzita deformace, definovaná vztahem: [5]

$$\varepsilon_{ef} = \sqrt{2/3} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]^{1/2}$$

kde  $\varepsilon_{1,2,3}$ ... Hlavní deformace

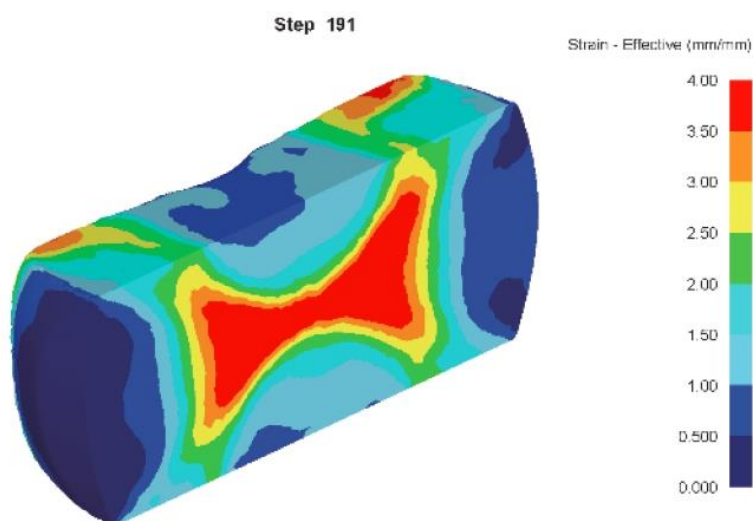
Příklad rozložení efektivní deformace po pěchování a prodloužení kováním je uveden na obr. 5

Během tváření se zároveň s deformací zrn přemísťují i částice, které nepodléhají rekrytalizaci (karbidy, příp. nežadoucí částice – vměstky atd.) a vytváří tak vláknitou strukturu. V důsledku vláknitosti je zejména vrubová houževnatost ve směru vláken vyšší než v příčném. Praxí bylo ověřeno, že pro kvalitní výkovek, stupeň prokování by měl být kolem 3. Pro případ kování nástrojové rychlořezné oceli minimální stupeň prokování nesmí být menší než 10.



Cykly pēchování	Sled operací	$P_k$ dle Elfmaka	$P_k$ dle plzeňských kováren
1	Pēchování - prodlužování	2,17	2,14
2	Pēchování - prodlužování - překování na osmihran - pēchování - prodlužování	4,93	6,08
3	Pēchování - prodlužování - překování na osmihran - pēchování - prodlužování - překování na osmihran - pēchování - prodlužování	11,24	17,34

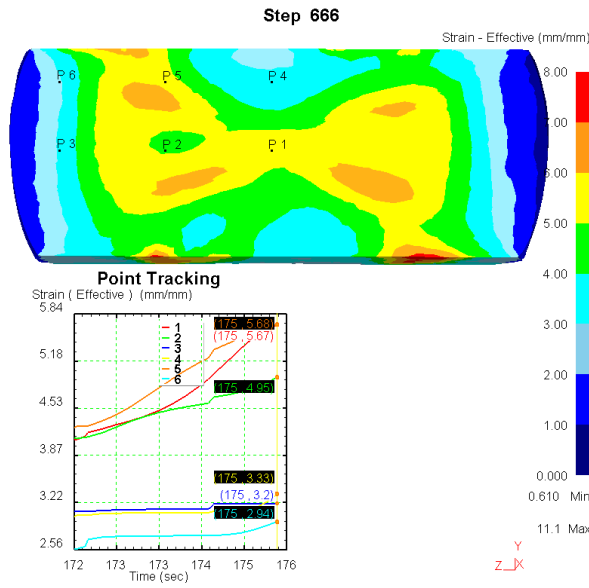
**Tab. 1: Stupně prokování dle Elfmaka a plzeňských kováren (experimentální část) [9]**



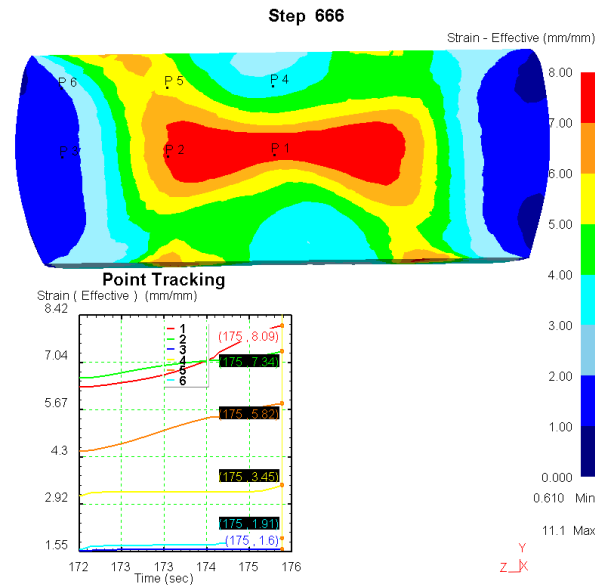
**Obr. 5 Ukázka rozložení efektivní deformace podle numerické simulace**

Software DEFORM umožňuje kompletní analýzu tepelného zpracování a mechanického zpracování výkovek tvářením. Pomocí tohoto programu lze simulovat a volit optimální výrobní cestu ještě během plánovacího procesu. Zaručuje se naležitá kvalita výrobků a zároveň se snižují náklady na jejich výrobu. Software je nejrozšířenějším ve své oblasti. Je vytvořen korporací Scientific Forming Technologies, která je lídrem v oblasti modelování tvářecích procesů. Deform se používá po celém světě jak v průmyslu tak i ve vědecko výzkumných střediskách.

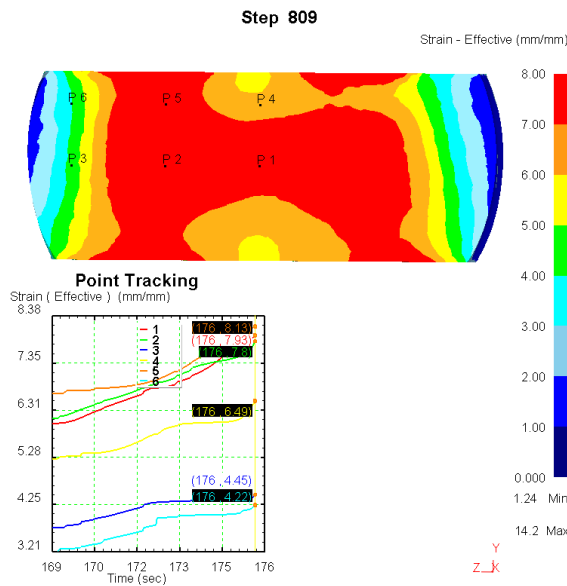
Jednou z klíčových proměnných, obdržených při provedení numerické simulace v software DEFORM, byla hodnota efektivní deformace. Tato hodnota byla definována u obou materiálů po druhém a třetím cyklu kování ve stejných místech jako byly odebrány vzorky pro metalografickou analýzu a jsou shodně označena čísla 1 až 6 (viz obr. 20). Do výsledných hodnot efektivní deformace lze nahlédnout z obrázků 6-9 nebo z tabulky 2 z těchto obrázků složených.



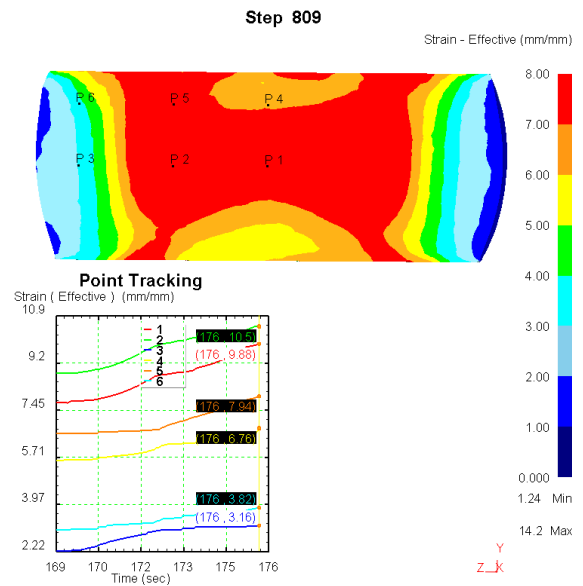
Obr. 6: 2×pěchováno, rovina  $\alpha$  – řez, vedený ve vzdálenosti 10mm od středu



Obr. 7: 2×pěchováno, rovina  $\beta$  – řez, vedený středem vzorku



Obr. 8: 3×pěchováno, rovina  $\alpha$  – řez, vedený ve vzdálenosti 10mm od středu



Obr. 9: 3×pěchováno, rovina  $\beta$  – řez, vedený středem vzorku

2x pěchováno			3x pěchováno		
Oblast vzorku	Hodnota ef. deformace	Bod umístění dle simulace	Oblast vzorku	Hodnota ef. deformace	Bod umístění dle simulace
1 $\alpha$	2,94	6	1 $\alpha$	7,8	6
2 $\alpha$	5,68	5	2 $\alpha$	8,13	5
3 $\alpha$	3,3	4	3 $\alpha$	6,49	4
4 $\alpha$	3,2	3	4 $\alpha$	4,45	3
5 $\alpha$	4,95	2	5 $\alpha$	7,8	2
6 $\alpha$	5,67	1	6 $\alpha$	7,93	1
1 $\beta$	1,91	6	1 $\beta$	3,82	6
2 $\beta$	5,82	5	2 $\beta$	7,94	5
3 $\beta$	3,45	4	3 $\beta$	6,76	4
4 $\beta$	1,6	3	4 $\beta$	3,16	3
5 $\beta$	7,34	2	5 $\beta$	10,5	2
6 $\beta$	8,09	1	6 $\beta$	9,88	1

**Tab. 2: Výsledné hodnoty ef. deformací**

## 7 Výroba polotovaru kováním ze zvoleného typu nástrojové oceli

### 7.1 Příprava polotovaru pro tváření

Oba materiály byly ( ocel třídy ČSN 19 852 a ČSN 19 830) zakoupeny ve tvaru válcovaných tyčí o délce 1 metru, ze kterých byly nařezány válečky o výšce 75 mm. Tato výška byla určena výpočtem pomocí simulací s ohledem na maximální sílu lisu v halové laboratoři Katedry materiálu a strojírenské metalurgie. Takto bylo získáno celkem 13x2 válečků s číselnými označení 2 a 3 (Obr. 10 a obr. 11). Označení byla zvolena pro zjednodušení a odvíjí se z označení oceli podle normy W.-Nr., tj. W.-Nr. 1.3243 ( ČSN EN 19852) a W.-Nr. 1.3343 (ČSN EN 19830). Po jednom z válečku bylo odebráno pro materiálovou analýzu válcované struktury, proto se dalším tvářecím procesům se nepodrobily. Tváření bylo prováděno na programovatelném modelu kovacího lisu CKW6000 s maximální silou 1 MN v halové laboratoři KMM, k ohřevu na kovací teplotu bylo využito elektrické ohřívací pece se dvěma komorami ( obr. 12), která je součástí vybavení halové laboratoře.



Obr. 10: Materiál EN 1.3243



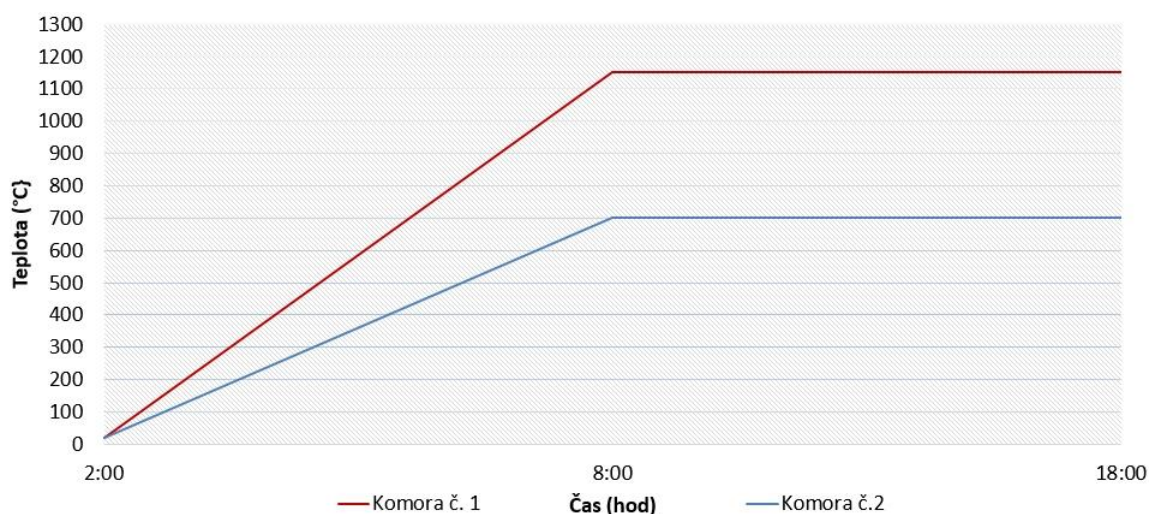
Obr. 11: Materiál EN 1.3343

Komora č.1 jako hlavní byla rozežhřáta do tvářecích teplot, komora č.2 posloužila jako předehřívací a udržovací. Po prostudování materiálových listů bylo rozhodnuto nastavit předehřívací komoru na teplotu 700°C, kde ještě nebude docházet ke strukturním. Teplota hlavní komory byla nastavena na tvářecí teplotu 1150°C. Po kování a během montáže kovadel jsou vzorky uschovány v předehřívací komoře, před vlastním kování jsou přesunuty do hlavní ohřívací komory a po vyrovnání teplot je provedeno kování.



**Obr. 12: Ovladačí panel a komorová pec**

Je důležité zmínit i to, že kvůli teplotní rozpínivosti materiálů nedoporučuje se komorovou pec nahřívati rychleji než 500 °C/hod. Za účelem dodržení předchozí podmínky a ušetření času byla zvolena možnost odloženého startu zapnutí pece. Po nastavení ovládacího panelu se obě komory měly zapnout další den ve 2:00 ráno, a naběhnout na určené teploty do doby předpokládaného začátku práce (8:00 hodin), a udržovat je až do 18:00. (Diagram. 1)



**Diagram 1: Grafická Vizualizace teplotního náběhu komor v závislosti na čase**

## 7.2 Průběh kování

Kovací lis CKW6000 (Obr. 13) nabízí maximální sílu 1 MN, zdvih 300 mm, tvářecí a zpětnou rychlost v závislosti na programu 10 až 120 mm/s. Má také možnost využití sinusoidálního pohonu, který oproti klasickému pohonu je řízen ventilovým rozvodem dodávkou média z čerpadla, který ovládá PLC S7-300. Maximální rychlosti je schopen dosáhnout v řadách desítek mikrosekund. Výhodou je také generátorový mód, kdy využitím elastické energie v rámu a v rozvodech stroje, čerpadlem proudí pracovní tekutina v opačném směru přičemž vyrobená elektřina se dodává zpět do zdroje.

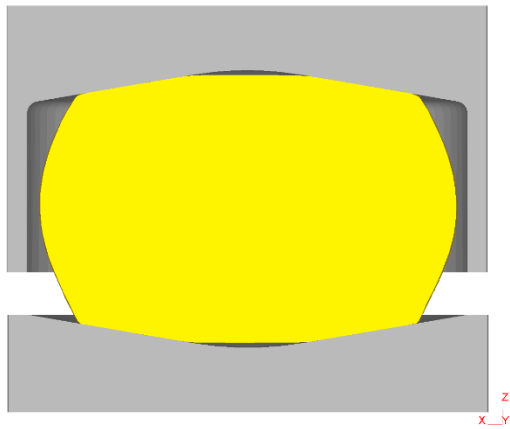


**Obr. 13: Kovací lis CKW6000**

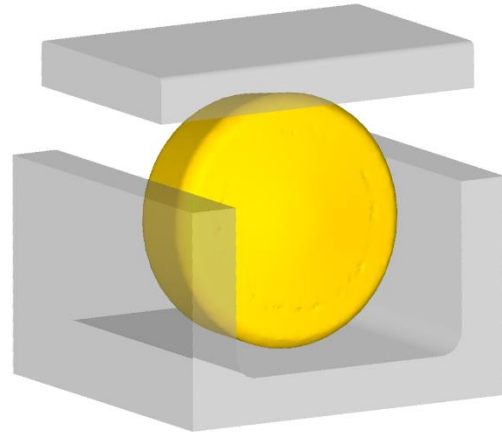
V procesu tváření jeden kovací cyklus zahrnoval pěchování, prodlužování v širokém kovádle, prodlužování v úzkém kovádle a případně okování hran.

Tvary pracovních částí kovacích nástrojů tak, jak byly navrženy simulací, jsou uvedeny na obr. 14 až 18. Na obr. 14 je sestava pro pěchování, vnitřní průměr horního kovádle byl 74 mm. Na obr. 15 je vidět první fáze prodlužování, kdy je napěchovaný kotouč otočen o 90° a prodloužen v nástroji o šířce 82mm na výšku 40 mm – viz obr. 16. Druhá fáze prodlužování probíhala v nástroji o šířce 40 mm za vzniku špalku o průřezových rozměrech 40 x 40 mm (obr. 17 a 18). Pro druhý kovací cyklus byla série kovaných vzorků následně překována na osmihran pomocí úhlové vložky, zasunuté do kovádle o šířce 82 mm (viz obr. 19, vložené spodní těleso vpravo), a proces pěchování a prodlužování byl opakován s tím, že po tomto druhém cyklu byl jeden vzorek odložen pro strukturní rozbor. Po třetím kovacím cyklu bylo 8

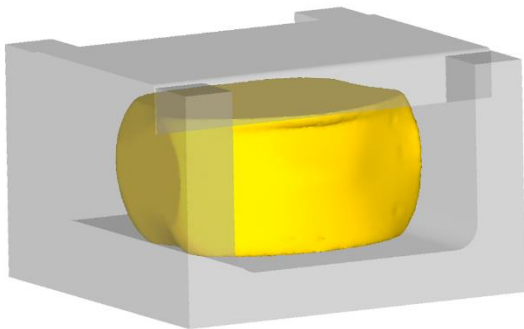
vzorků z každého materiálu ponecháno ve tvaru čtyřhranu o rozměrech cca 40x40x100 mm a u třech vorků byly okovány hrany na osmistěn. [9]



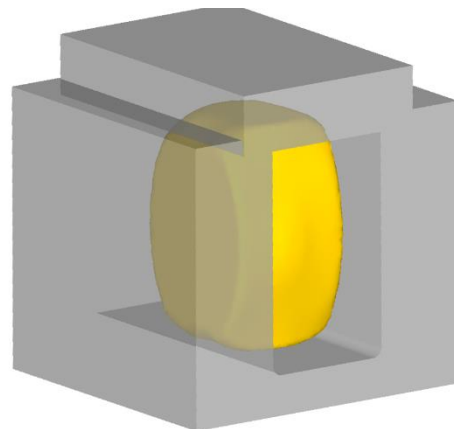
**Obr. 14: Simulace sestavy pro pēchování – tělesa v řezu**



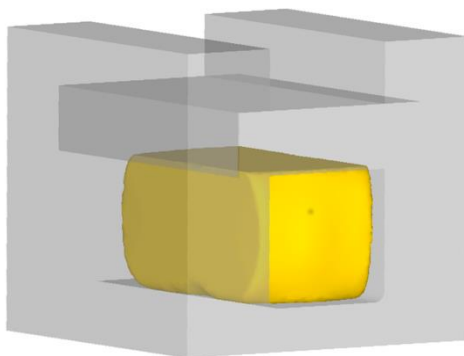
**Obr. 15: Simulace uspořádnání nástrojů pro první fázi prodlužování**



**Obr. 16: Situace po první fázi prodlužování**



**Obr. 17: Simulace uspořádnání nástrojů pro druhou fázi prodlužování**

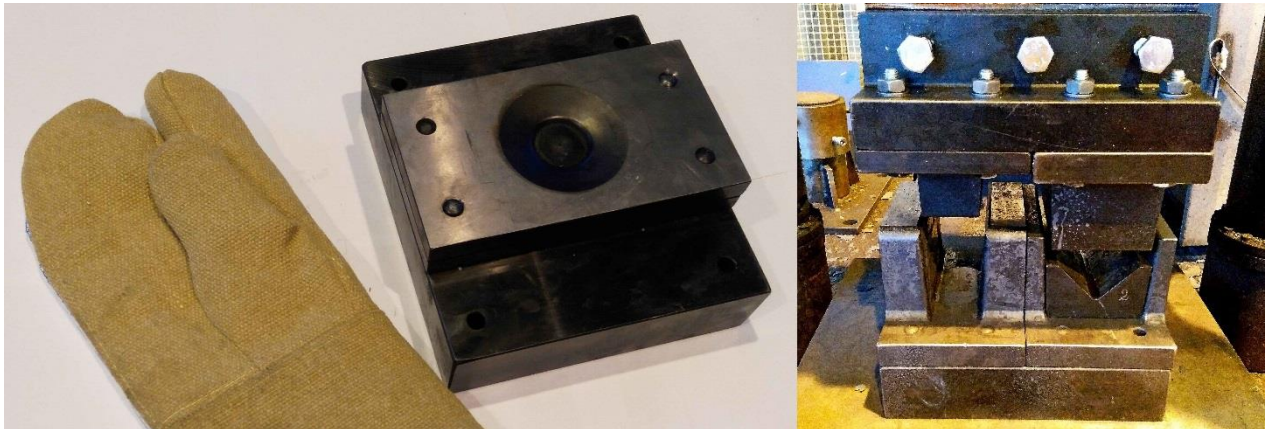


**Obr. 18: Simulace vykování špalku o průřezových rozměrech 40×40mm**

Materiál se tvářel ve třech směrech, a po závěrečném okování hran byl osmihranný polotovár znovu připraven k novému kovacímu cyklu. Ve všech tvářecích operacích (kromě pēchování) tvářelo se největší rychlostí 3. Pēchovalo se v ručním režimu na maximální stlačení rychlostí 1, u ostatních způsobů se tvářelo v poloautomatickém režimu s nastavením tzv. dolní úvrati (minimální vzdálenost mezi horním a dolním kovadlem). Před nastavením dolní úvrati je nutno načíst nulovou polohu kovadel tzv. vynulováním lisu. Dolní úvrati pro prodlužování v širokém kovadle činila 25, v úzkém 5, a při okování hran 50. Druhy kovadel použitých při tváření polotovaru jsou na obr. 19.

Během kování je důležité pokrytí styčných ploch polotovaru a kovadel mazací emulzí na bázi grafitu. Jeho vrstva snižuje tření a usnadňuje manipulaci při vyndávání polotovaru z formy.

Dobrym poučením bylo to, že vždy je dobré mít zásobu náhradních dílů. Při jednom z pēchování, kvůli dvěma povoleným šroubům a nerovnoběžnému umístění horní pēchovací čelisti vůči volně umístěné dolní, došlo k smykovému zatížení silového spoje šroubů silou kolmou k ose šroubů. Ve výsledku 4 M8 šrouby třídy 4.8 se jmenovitou pevností v tahu 400 MPa a mezí kluzu 320 MPa byly přestřiženy.



**Obr. 19: Zleva napravo: Dolní pēchovací čelist, úzké kovadlo, široké kovadlo, podložka pro okování hran v širokém kovadle**

Manipulace s pecí během tváření byla následující. Po dosažení teploty 700°C u kovaného vzorku v předehřívací komoře byly následně přemístěny do hlavní komory. Prodleva pro hloubkové prohřátí materiálu v hlavní komoře činila 15 minut, potom se pokračovalo v požadovém kroku tváření. Za účelem udržení vysokých teplot v hlavní komoře a zabránění nežádoucích strukturních jevů, jako je např. zhrubnutí zrna, každý výkovek (kromě posledního v dané operaci, který byl rovnou směřován do hlavní komory) po každém tvářecím kroku byl umístěn do předehřívací komory. Následně po přemontování kovadel byly kované vzorky přemístěny pomocí kovářských kleští do hlavní komory, během manipulace s nimi bylo nutno komoru zavírat z důvodu ochrany kováře před žářem. Předehřívací komora v době přemístění výkovek se nechávala otevřená.



## 8 Ochlazování polotovaru v peci různou rychlostí

Po provedení tvářecích operací bylo třeba nastavit ochlazovací parametry pece tak, aby pokud možno nedošlo k zakalení vzorků, a bylo možné z nich běžnou metalografickou pilou nařezat vzorky pro strukturní rozbor. Rozžhavená pec je dobrým akumulátorem tepelné energie, a pokles teploty o 1100°C (do pokojové teploty) přesahuje 72 hodin. Zkušenosti z dříve řešeného projektu prokázaly, že při vyjmutí vzorků z pece na vzduch při teplotě cca 260°C došlo k jejich zakalení, a při řezání vzorků pro metalografickou analýzu se vyskytly velké potíže. Nepochybně je dobré mít v úvaze také IRA/ARA diagramy (diagram 4,5,6,7) pro daný materiál a vědět za jakých teplot začíná a končí, v daném případě, nežádoucí martenzitická přeměna. Tím že vzorky při řešení daného projektu byly ponechány v peci až do jejich vychladnutí společně s pecí, by mělo být docíleno toho, že struktura oceli nebude zakalená.

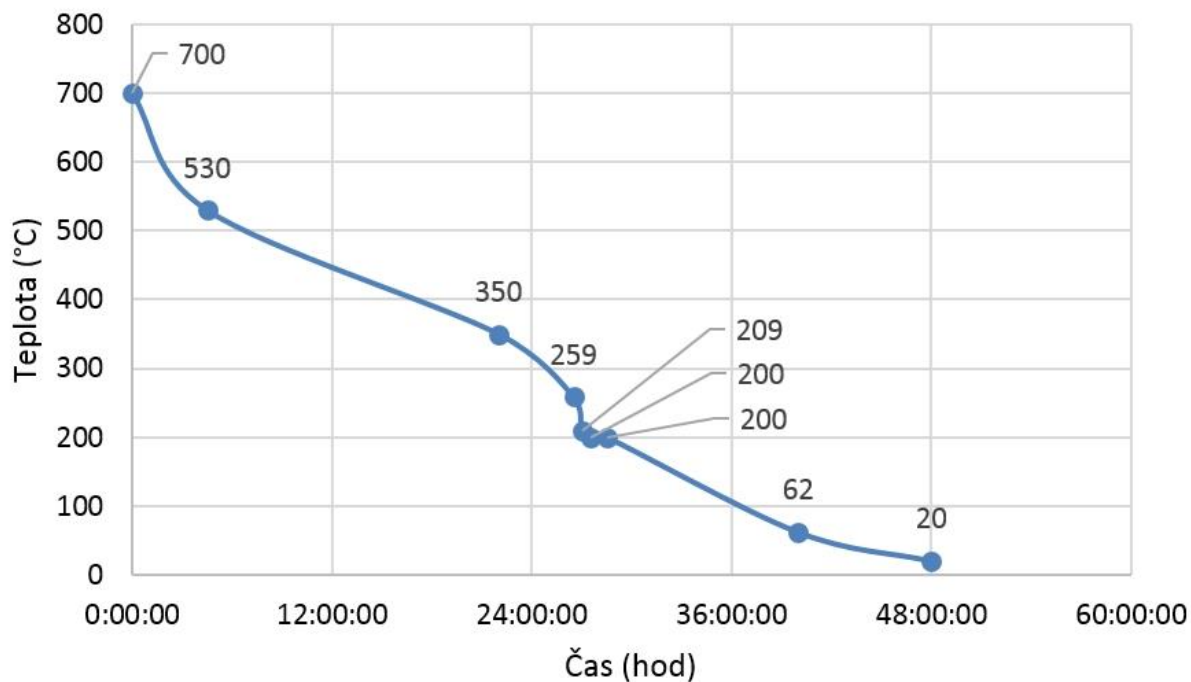
Detailní záznam ochlazování vzorků je naznačen dle Tab. 3 - 4 a jeho vizualizace diagram 2 - 3

Datum a čas	Stopky HH:MM:SS	Teplota °C	Popisek
2/21/2017 16:00	0:00:00	700	Ukončení kování
2/21/2017 20:30	4:30:00	530	Kontrola teploty
2/22/2017 14:00	22:00:00	350	Kontrola teploty a přiotevření pece
2/22/2017 18:30	26:30:00	259	Větší otevření
2/22/2017 19:00	27:00:00	209	Plné otevření
2/22/2017 19:30	27:30:00	200	Udržování na teplotě
2/22/2017 20:30	28:30:00	200	Přemístění výkovků do jiné pece předehřáté do 200°C
2/23/2017 8:00	40:00:00	62	Kontrola teploty
2/23/2017 16:00	48:00:00	20	Vyndání výkovků

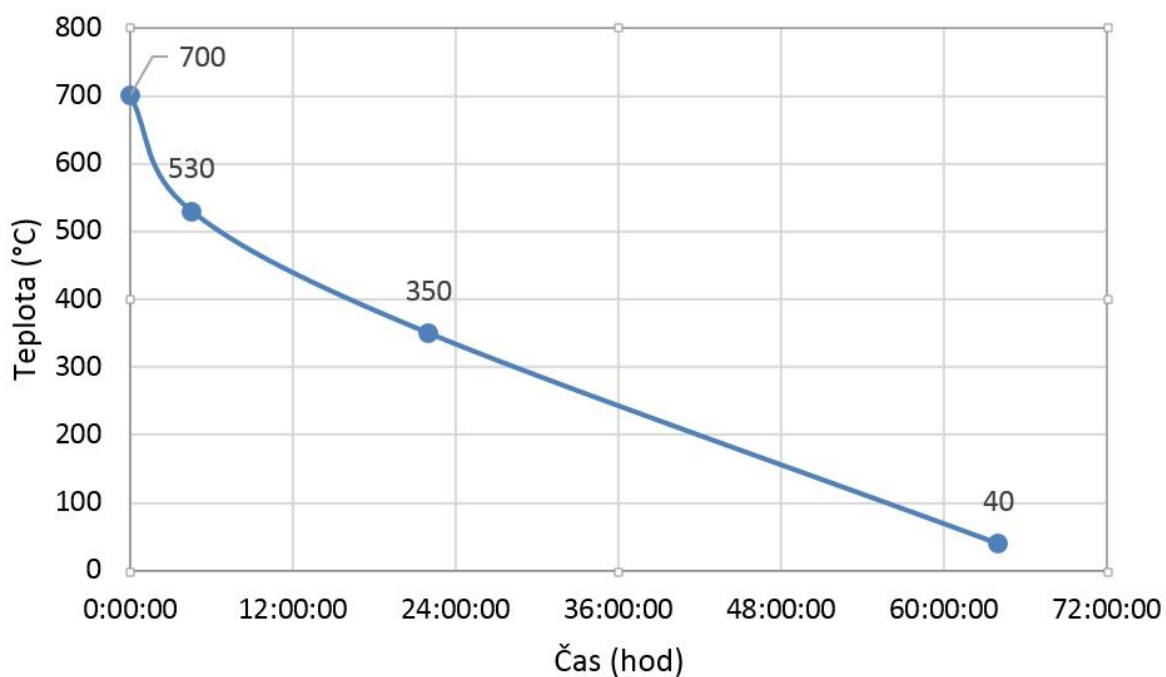
Tab. 3: Údajový průběh ochlazování polotovaru 19852 (první kolo kování)

Datum a čas	Stopky HH:MM:SS	Teplota °C	Popisek
2/23/2017 16:00	0:00:00	700	Ukončení kování
2/23/2017 20:30	4:30:00	530	Kontrola teploty
2/24/2017 14:00	22:00:00	350	Kontrola teploty
2/26/2017 8:00	64:00:00	40	Vyndání vzorků

Tab. 4: Údajový průběh ochlazování polotovaru 19830 (druhé kolo kování)



**Diagram 2: Grafická vizualizace průběhu ochlazování polotovaru ČSN 19 852 (první kolo kování)**



**Diagram 3: Grafická vizualizace průběhu ochlazování polotovaru ČSN 19 830 (druhé kolo kování)**

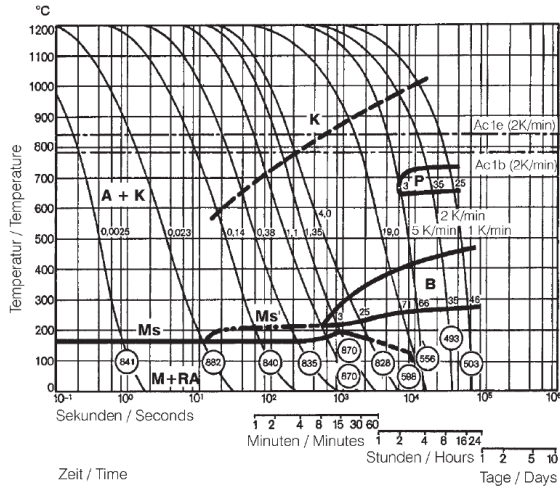


Diagram 4: ARA ČSN 19 852

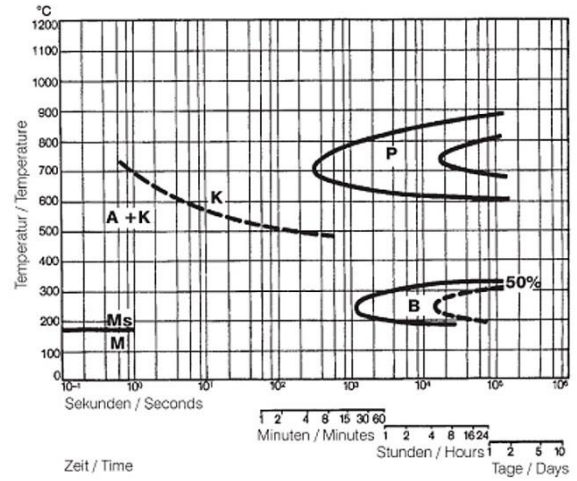


Diagram 5: IRA ČSN 19 852

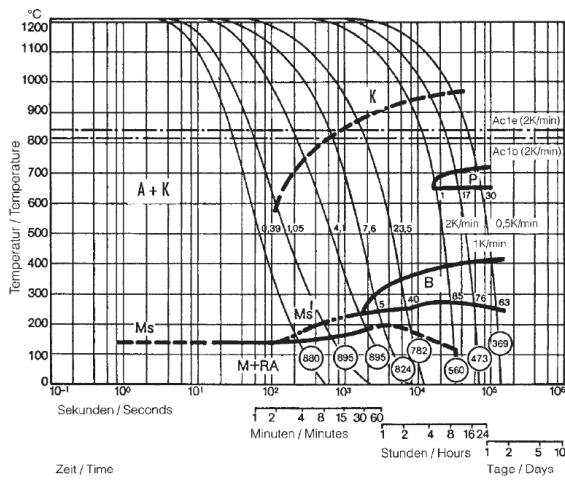


Diagram 6: ARA ČSN 19 830

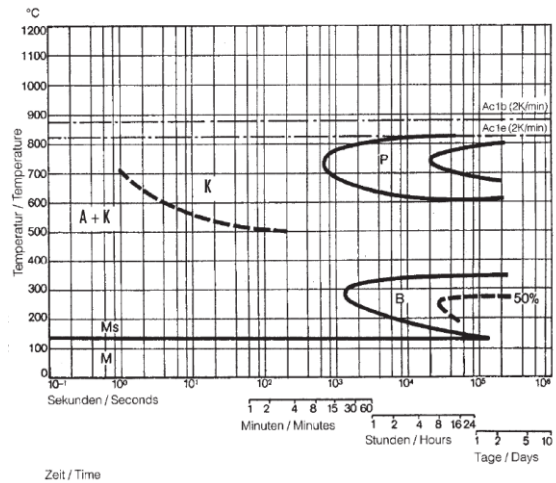


Diagram 7: IRA ČSN 19 852

## 9 Metalografická analýza struktury ve vztahu k rozložení deformace uvnitř tělesa

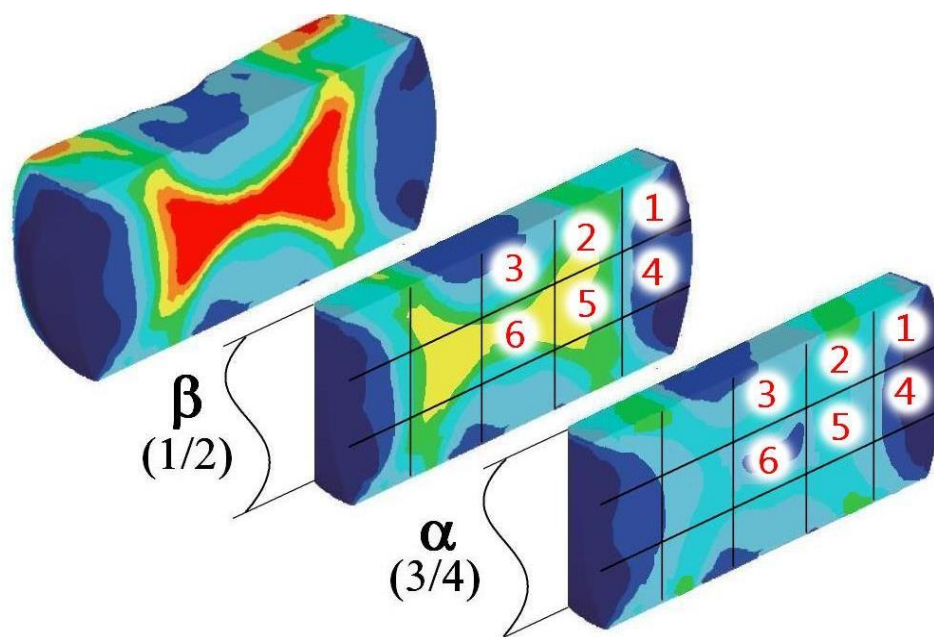
### 9.1 Příprava metalografického výbrusu

Vlastnosti oceli jsou určeny její mikrostrukturou - tj. vnitřní stavbou. Metalografie je nauka, která pojednává o vnitřní stavbě kovů a slitin. Jejím cílem je zviditelnění struktury materiálu s její následnou studií pomocí optického nebo elektronového mikroskopu. Metalografií můžeme zjišťovat souvislosti mezi strukturou materiálu a jejími vlastnostmi, kontrolovat mikrostrukturu materiálu v průběhu výroby a zjišťovat příčiny vad nebo selhání výrobků při provozu. K tomu, abychom mohli strukturu materiálu sledovat, ji potřebujeme připravit pro pozorování v mikroskopu. Protože kovy a slitiny jsou neprůhledné, je nutné je pozorovat v mikroskopu v režimu odrazu (světlo ze zdroje dopadá na vzorek a odráží se do objektivu). Jak víme z fyziky, nejvyšší odrazivost mají plochy dokonale hladké a rovné. Stejnou plochu tedy musíme připravit na vzorku - odborně se tomu říká „příprava metalografického výbrusu“. Postup této přípravy spočívá v několika krocích [10] :

- Odběr vzorku
- Zalisování vzorku
- Broušení a leštění
- Leptání

#### 9.1.1 Odběr vzorku

Pro usnadnění orientace v materiálu, a následně úspěšné zmapování stavu výkovků bylo nutné vytvořit plán, dle kterého by bylo provedeno řezání materiálů na 52 vzorků. Bylo rozhodnuto vytvořit dvě řezné roviny, rovinu  $\alpha$  nacházející se v  $\frac{3}{4}$  šířky výkovku, a  $\beta$  –  $\frac{1}{2}$  šířky výkovku (obr. 20) a pak to řezat na menší vzorky. Kvůli zrcadlově otočenému rozložení efektivní deformace v osách výkovků, jako dostačující bylo prozkoumání  $\frac{1}{4}$  části každého řezu.



Obr. 20: Dělení vzorků

Navzdory tomu, že výkovky byly velmi pomalu ochlazovány v peci a neměly by být zakaleny, automatická kotoučová pila Struers Discotom-6 (Obr. 21) úkol řezání v rovinách nezvládla. Nejpomalejší rychlost přísuvu stolu k řeznému kotouči 0,1 mm/sec byla dostatečně velká aby se ve třetině prvního řezu rovněž prvního řezaného výkovku kotouč zlomil a zůstal v rovině řezu. Z důvodů vzniklých komplikací bylo rozhodnuto v samostatném rozřezu nepokračovat, a rovněž o něj požádat technika katedry, který má k dispozici výkonnější vybavení. S dalším rozřezem čtvrtin výkovků pilou Dicotom-6 na menší vzorky se problémy nevyskytovaly.



**Obr. 21: Kotoučová pila Discotom-6**

### 9.1.2 Zalití vzorku

Ve většině případů zalití vzorků se provádí pro lepší manipulaci během broušení, leštění a leptání. Příprava se provádí dvěma způsoby: za tepla s použitím pryskyřicových prášků, kdy se za působení tlaku vzorek zalisuje do této umělé hmoty, nebo za studena, kdy se vzorek do pryskyřice zaleje. Vzorky byly velikostně nařezány tak, aby se daly zalisovat v metalografickém lisu STRUERS CITOPRES 10 (Obr. 22) s průměrem 30mm. U daného přístroje byl zvolen mód MultiFast s použitím pryskyřice bakelit s dřevěným plnivem, ohřívacím časem 3 minuty, tlakem 250 bar a ochlazovacím časem 2 minuty. [11]



**Obr. 22: Metalografickém lisu Citopress 10**

### 9.1.3 Broušení a leštění

Následně proběhla úprava zkoumané plochy v automatické brusce/leštičce STRUERS TEGRAMIN-20 (Obr. 23). Do pracovního programu stroje (Obr. 24) byly zvoleny brusné 1-4 a lešticí 5-7 podprogramy. Kromě možnosti volby stříkací emulze a času běhu podprogramu, stroj nabízí širší spektrum voleb. Zvoleny brousící a lešticí parametry jsou dle Tab. 5



**Obr. 23: Metalografická bruska/leštička Tegramin-20**

Pro broušení se používaly kotouče typu MD-PIANO od nejhrubšího po nejjemnější s vodní lubrikací. Pro leštění se používaly kotouče MD-PLUS se syntetickým vlasem určeno pro sintrované materiály a oceli. Nejdříve s 3 $\mu$ m brusivem a pak 1 $\mu$ m. Na závěr se vzorky dolešťovaly na kotouči MD-CHEM určeným pro digitální leštění všech materiálů.

Surface	Suspension	Lub.	Time/ $\mu$ m
1 Piano 120		Water	2:00 min
2 Piano 220		Water	3:00 min
3 Piano 600		Water	3:00 min
4 Piano 1200		Water	1:30 min
5 Plus	DiaP. Mol		3:30 min
6 Plus	DiaP. Dur		3:00 min
7 Chem	OP-S		1:30 min
8 New step			

Copy step    Insert step    Delete step    Save functions

Obr. 24: Struktura pracovního programu brusky/leštičky

	Emulze	Čas (min)	Přítlak (N)	Rotace kotouče (RPM)	Rotace hlavy (RPM)	Směr rotace hlavy ku rotaci kotouče
MD-Piano 120	Voda	2:00	50	300	150	Protisměr
MD-Piano 220	Voda	3:00	40	300	150	Protisměr
MD-Piano 600	Voda	3:00	30	300	150	Protisměr
MD-Piano 1200	Voda	1:30	25	300	150	Protisměr
MD-Plus	DiaPol Mol	3:30	15	150	150	Protisměr
MD-Plus	DiaPol Dur	3:00	15	150	150	Protisměr
MD-Chem	OP-S	1:30	15	150	150	Protisměr

Tab. 5: Zvolené parametry broušení/leštění

#### 9.1.4 Leptání

Po posledním kroku leštění pro odhalení struktury ve viditelném spektru je nutné zkoumanou plochu naleptat. K leptadlům spadají různé kyselinové roztoky s určitou koncentrací složek. Pro oceli nejběžnějšími leptadly jsou Nital s 3% či 5%  $\text{HNO}_3$  (kyselina dusičná) a Vilella - Bain s poměry: 100 ml  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (ethanol); 5ml  $\text{HCl}$  (kyselina chlorovodíková); 1g  $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$  (kys. pikrová). Vzhledem k tomu, že struktura zkoumaných materiálů je jemnozrná, větší rychlostí leptání a kvalitou snímků se prokázalo leptadlo Vilella - Bain

## 9.2 Metalografická analýza

Metalografická analýza se prováděla na obou materiálech vždy na vzorku ve válcovaném stavu, a dále na vzorcích po druhém a třetím cyklu prokování. Analýza výkovků po prvním cyklu pýchování se neprováděla kvůli malým strukturním změnám v souvislosti s malou deformací, kdy na základě dříve řešeného projektu bylo zřejmé, že karbidová zrna zůstanou v porovnání s válcovaným stavem na svých místech s téměř stejnou vláknitostí.

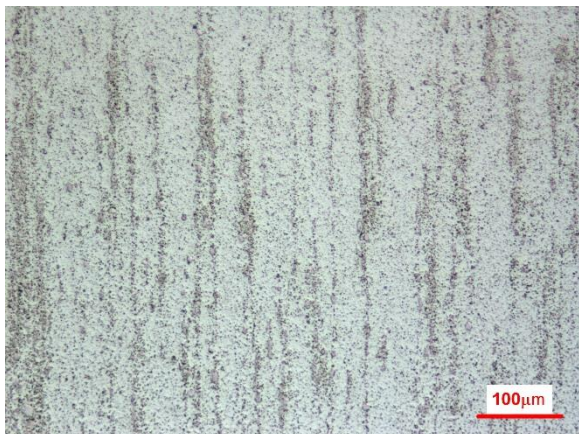
Metalografická analýza probíhala pod mikroskopem ZEISS AXIO Observer.Z1m (Obr. 25) s použitím software AxioVision. Dokumentování se provádělo při zvětšení 50×, 100× a 500×.



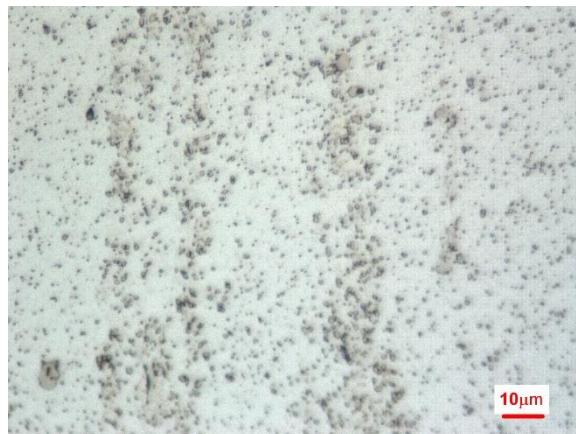
**Obr. 25: Metalografický mikroskop Zeiss Axio**

U všech ocelí určených k obrábění se přítomnost usměrněné vláknité struktury považuje za nežádoucí. Vlákňitost vede k jejich předčasnému selhání, respektive k podstatnému snížení provozních vlastností nástroje. Vlákňitost spočívá v tom, že při tváření probíhá tok materiálu ve směru největší deformace. Zatímco deformovaná zrna rekrystalizují, karbidy rekrystalizaci nepodléhají a pouze se přemísťují, případně se rozlamují a drtí na menší. Po tváření v jednom směru tak dochází ke vzniku typické vláknité struktury s rozdílnými mechanickými vlastnostmi ve směru největší deformace vzhledem k ostatním směrům, kdy zejména ve směru kolmém na směr vláknitosti můžeme očekávat velké rozdíly v chování struktury při zatěžování. Pokud množství karbidů při nehomogenním rozmístění je velké, vláknitost lze pozorovat i bez leptání struktury. Pruhy na obr. 26, 27 jsou karbidy, uspořádané při plastické deformaci během válcování odlitku. Několika tvářecími cykly, kdy deformace probíhá v různých směrech, by se tato vláknitost měla eliminovat a rozložení karbidů by se mělo blížit práškové oceli.



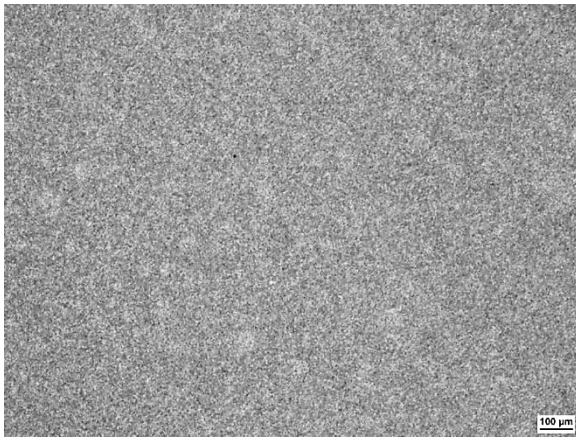


**Obr. 26: Vzorek 2O - válcovaný polotovár  
neleptáno 100×**

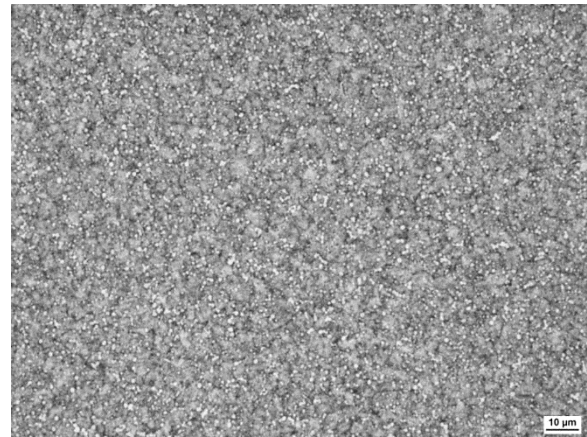


**Obr. 27: Vzorek 2O – válcovaný polotovár  
neleptáno 500×**

### 9.2.1 Metalografické záznamy rychlořezné práškové oceli

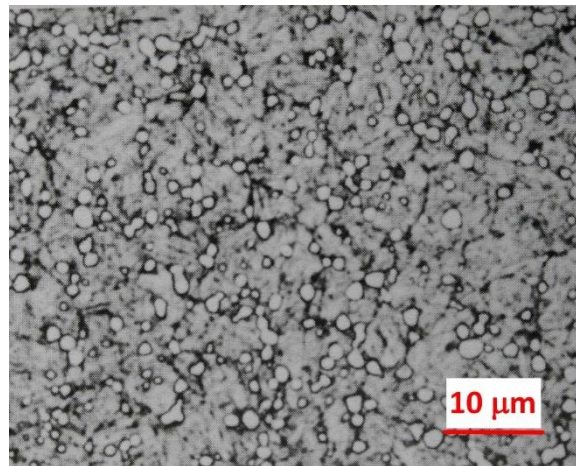


**Obr. 28: Prášková ocel (ERA Steel, ASP 2052), 50×**



**Obr. 29: Prášková ocel (ERA Steel, ASP 2052), 500×**

Jak již bylo řečeno, mezi značné výhody rychlořezných ocelí vyrobených práškovou metalurgií patří nevytvoření různorodých strukturálních orientací. Na obr. 28, 29, 30 vidíme velmi homogenní strukturu, a taková by měla být docílena po třech pýchovacích cyklech.



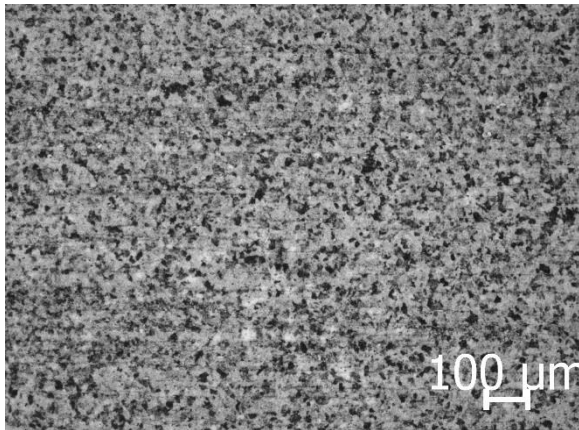
**Obr. 30 Prášková ocel AISI T15, káleno v oleji, třikrát temperováno po dobu dvou hodin na teplotě 540°C, 3% nital, 1000×**

## 9.2.2 Metalografické záznamy ČSN 19 852 (W.-Nr. 1.3243)

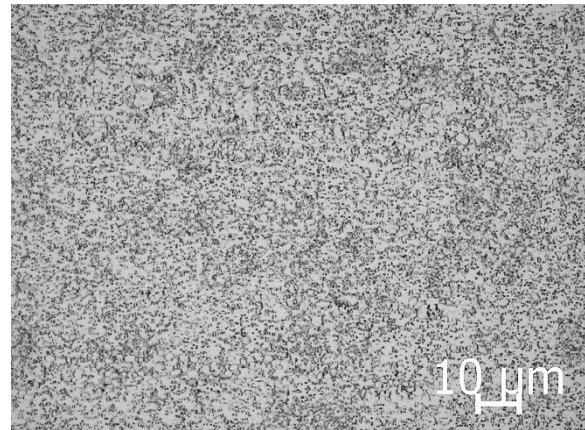
V následujících kapitolách jsou na obr.31 až 86 fotografie z optického mikroskopu ZEISS AXIO Observer.Z1m (Obr. 25) s použitím software AxioVision.

### 9.2.2.1 Válcovaný polotovar žíhaný naměkko

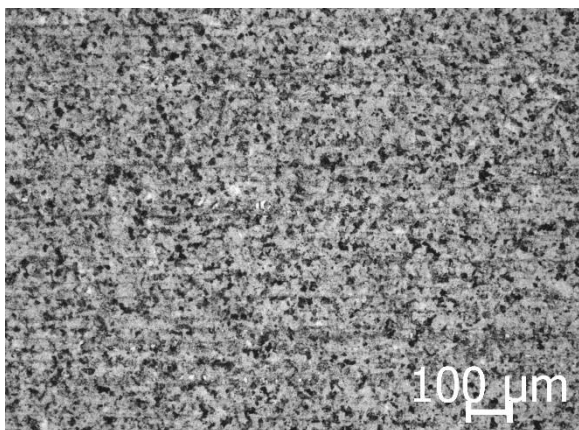
Řez byl veden středem polotovaru v podélném směru, leptáno Vilella – Bain.



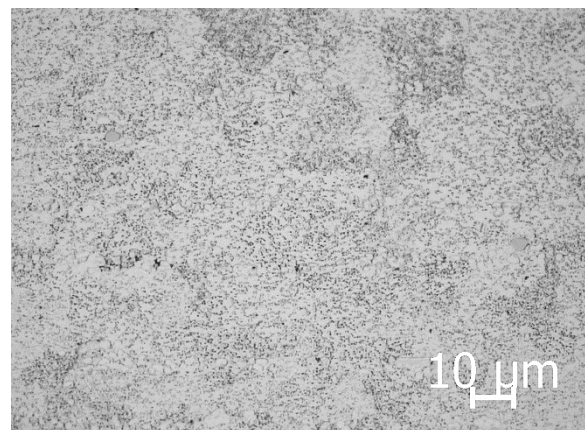
Obr. 31: Okrajová oblast, 50×



Obr. 32: Okrajová oblast, 500×



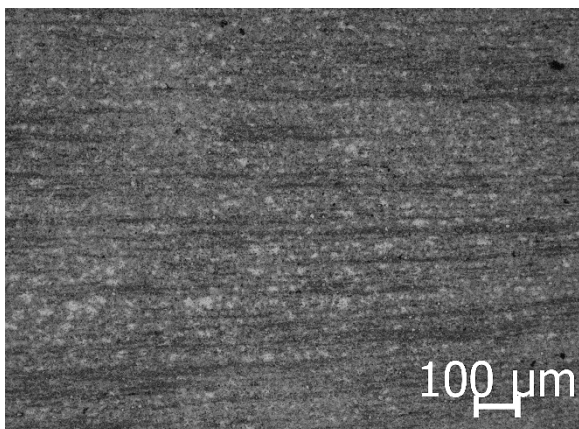
Obr. 33: Středová oblast, 50×



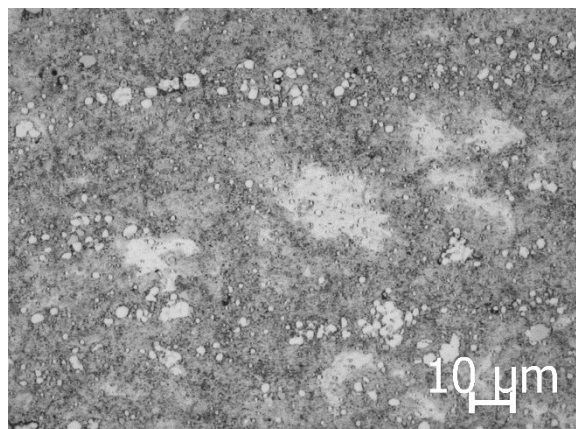
Obr. 34: Středová oblast, 500×

Pro válcované vzorky jsou typické karbidické segregace, uspořádané do pruhů ve směru válcování. Mezi strukturou okrajové části vzorku a středem není patrný výrazný rozdíl.

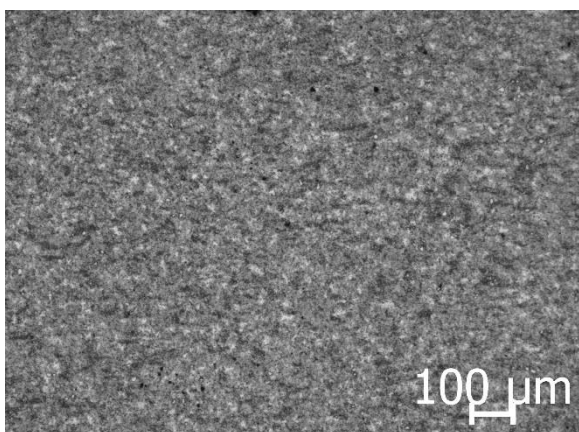
**9.2.2.2 Kované vzorky, 2×přechováno, podélný řez vedený středem vzorku, pozice viz obr. 20, leptáno Vilella- Bain**



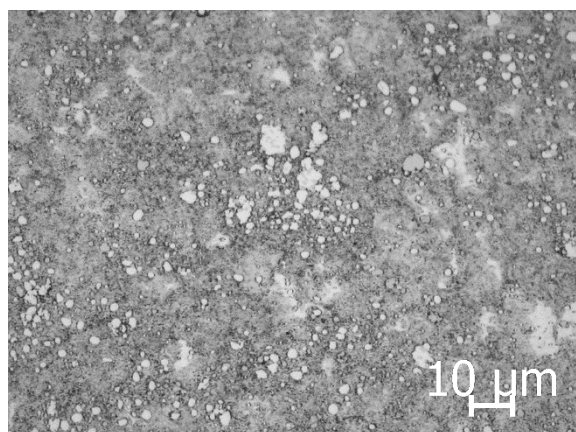
**Obr. 35: Pozice 1, 50×,  $\epsilon=1,91$**   
Vláknitá struktura v podélném směru



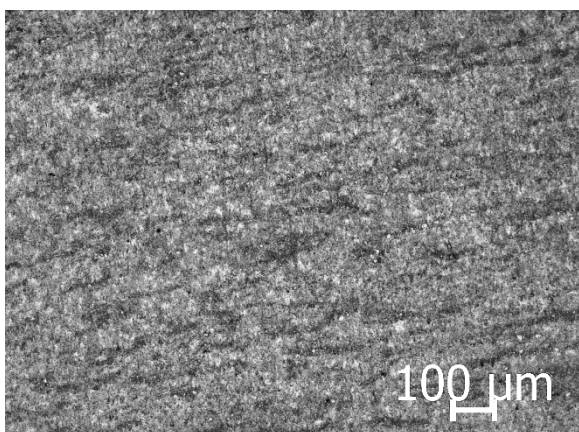
**Obr. 36: Pozice 1, 500×,  $\epsilon=1,91$**   
Jsou patrné karbidy v pružích, struktura je výrazně nehomogenní



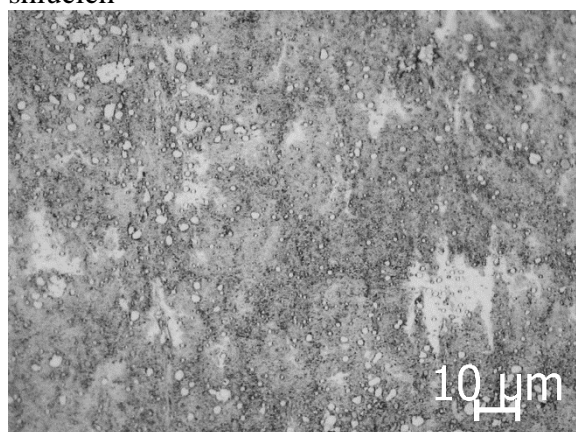
**Obr. 37: Pozice 2, 50×,  $\epsilon=5,82$**   
Vláknitost je potlačena



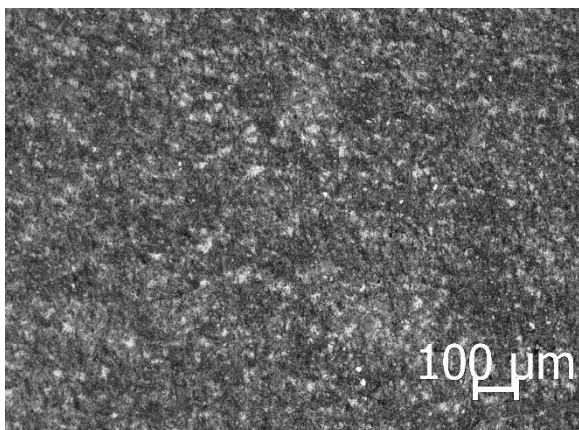
**Obr. 38: Pozice 2, 500×,  $\epsilon=5,82$**   
Karbidy o velikosti max. 8  $\mu\text{m}$  a menší, ve shlucích



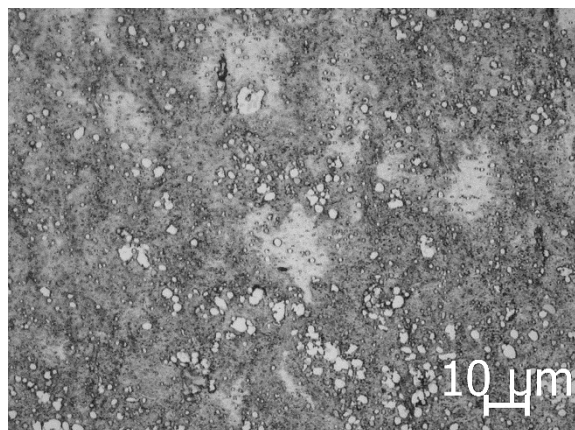
**Obr. 39: Pozice 3, 50×,  $\epsilon=3,45$**   
Uspořádaná struktura, směr textury je vůči podélné ose otočen o cca 10-20°



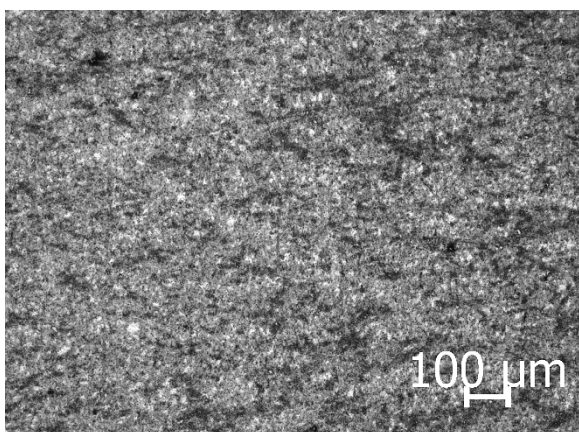
**Obr. 40: Pozice 3, 500×,  $\epsilon=3,45$**   
Jemné karbidy s ojedinělými většími max. 5  $\mu\text{m}$ , homogenně rozložené



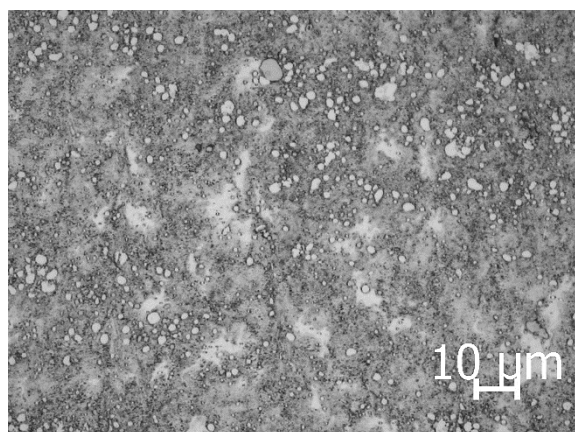
**Obr. 41: Pozice 4, 50×,  $\epsilon=1,6$**   
Směr struktury není patrný, může probíhat ve směru přibližně kolmém na rovinu řezu



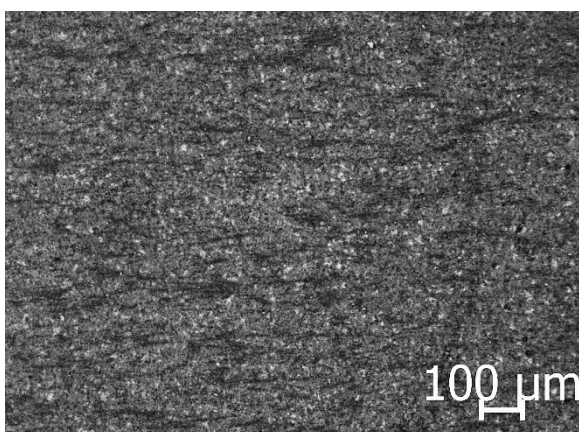
**Obr. 42: Pozice 4, 500×,  $\epsilon=1,6$**   
Karbidy pod 5 μm, ve shlucích



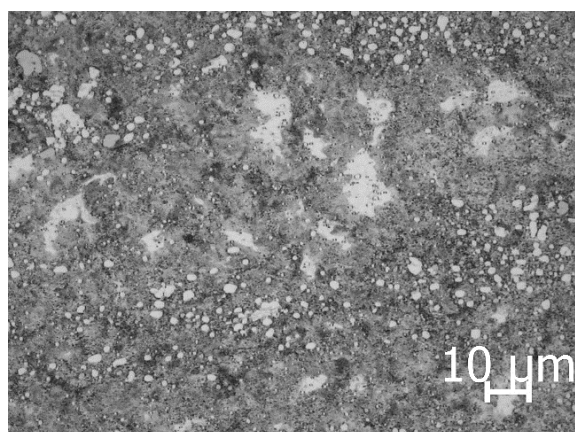
**Obr. 43: Pozice 5, 50×,  $\epsilon=7,34$**   
Směr struktury není patrný, může probíhat ve směru přibližně kolmém na rovinu řezu



**Obr. 44: Pozice 5, 500×,  $\epsilon=7,34$**   
Velmi jemné karbidy, největší max.4 μm

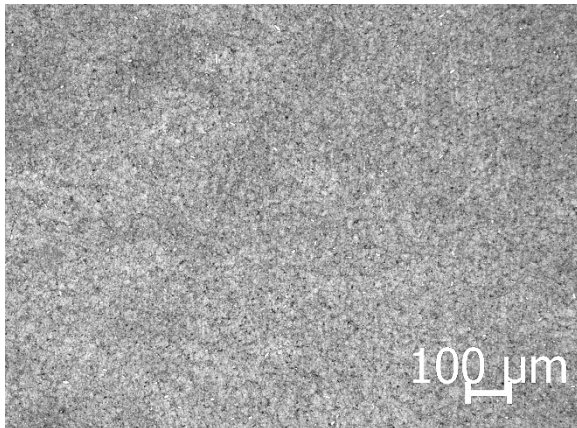


**Obr. 45: Pozice 6, 50×,  $\epsilon=8,09$**   
Patrná usměrněná struktura v podélném směru vzorku

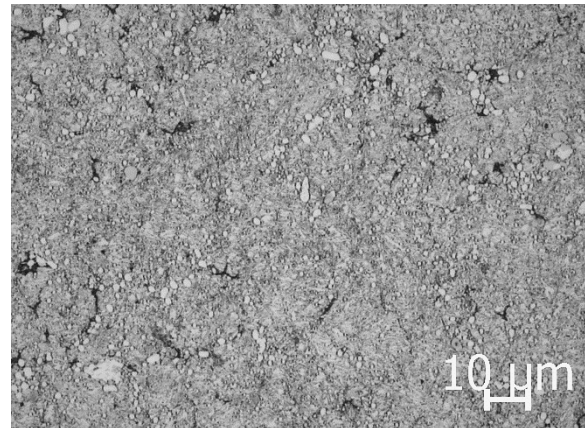


**Obr. 46: Pozice 6, 500×,  $\epsilon=8,09$**   
Velmi jemné karbidy, uspořádané do pruhů

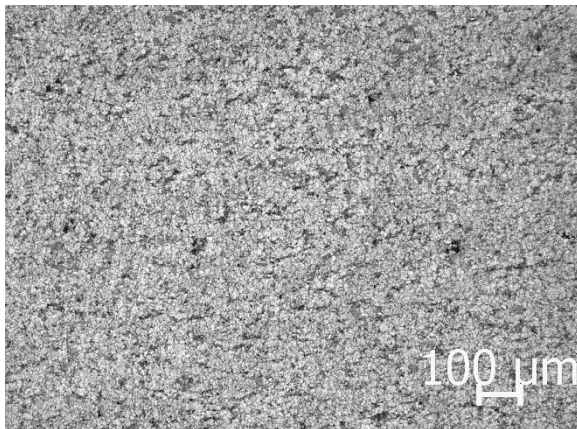
**9.2.2.3 Kované vzorky, 3×Pěchováno, podélný řez vedený středem vzorku, pozice viz obr. 20, leptáno Vilella- Bain**



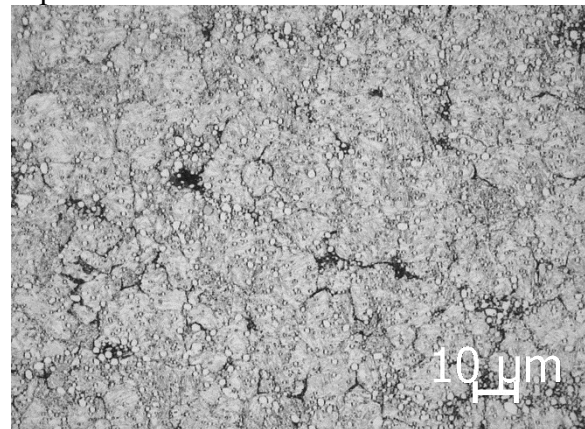
**Obr. 47: Pozice 1, 50×,  $\epsilon=3,82$**   
Velmi jemná struktura bez směrové orientace



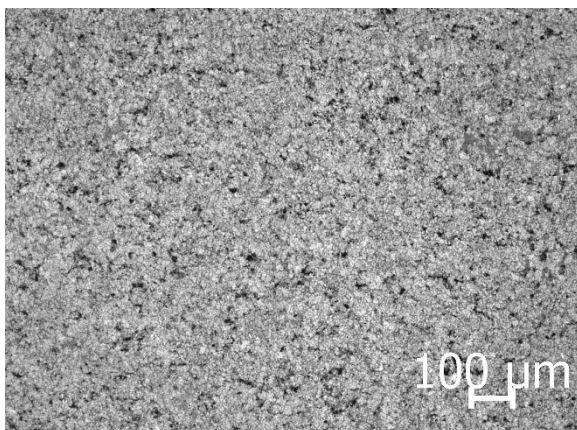
**Obr. 48: Pozice 1, 500×,  $\epsilon=3,82$**   
Velké karbidy max.10 μm, nepravidelně uspořádané



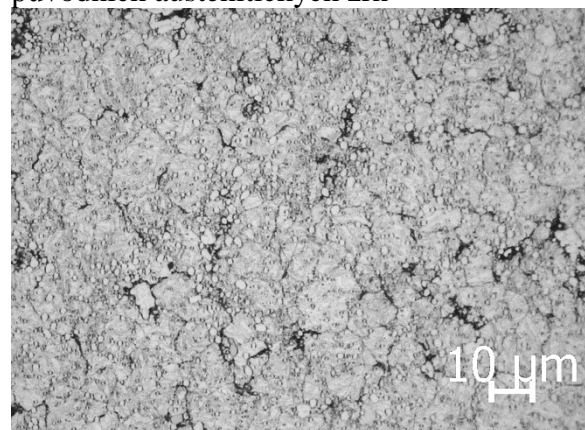
**Obr. 49: Pozice 2, 50×,  $\epsilon=7,94$**   
Náznak usměrnění struktury v podélném směru



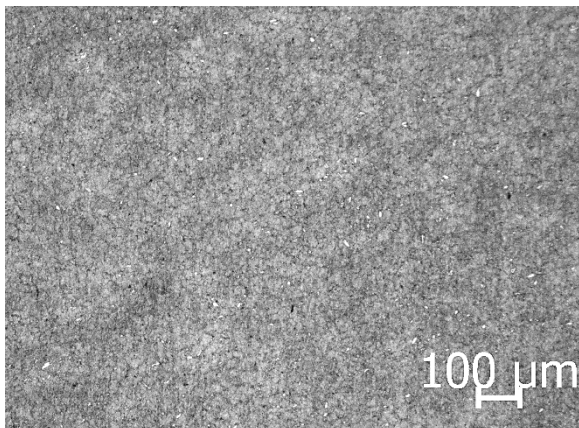
**Obr. 50: Pozice 2, 500×,  $\epsilon=7,94$**   
Velmi jemné karbidy, pod 2 μm, homogenně rozložené, větší, pravděpodobně karbidy Cr částečně ve shlucích po hranicích původních austenitických zrn



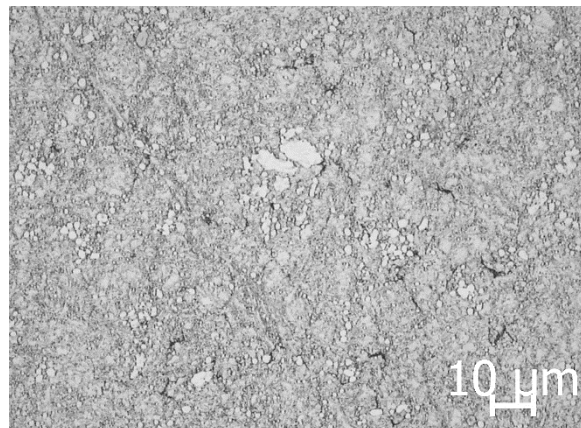
**Obr. 51: Pozice 3, 50×,  $\epsilon=6,76$**   
Směr struktury není patrný, může probíhat v ostrém úhlu nebo kolmo k rovině řezu



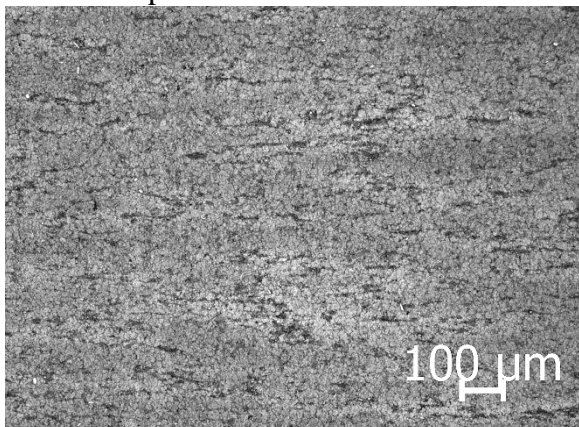
**Obr. 52: Pozice 3, 500×,  $\epsilon=6,76$**   
Malé karbidy pod 3 μm



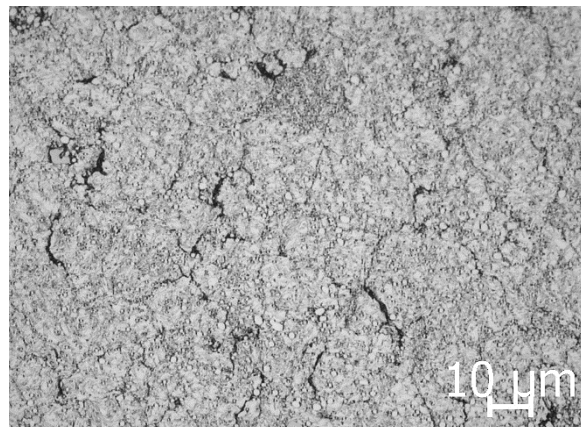
**Obr. 53: Pozice 4, 50×,  $\epsilon=3,16$**   
Náznak směru struktury kolmo na podélnou osu vzorku – důsledek přechování a omezené deformace pod osou kovádla



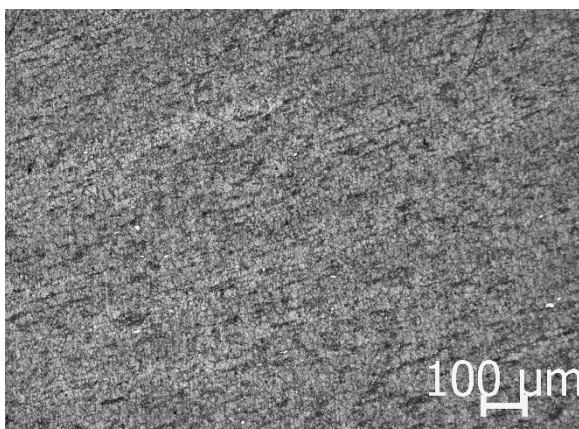
**Obr. 54: Pozice 4, 500×,  $\epsilon=3,16$**   
Nehomogenní struktura, velké karbidy max. 10  $\mu\text{m}$ , karbidy ve shlucích



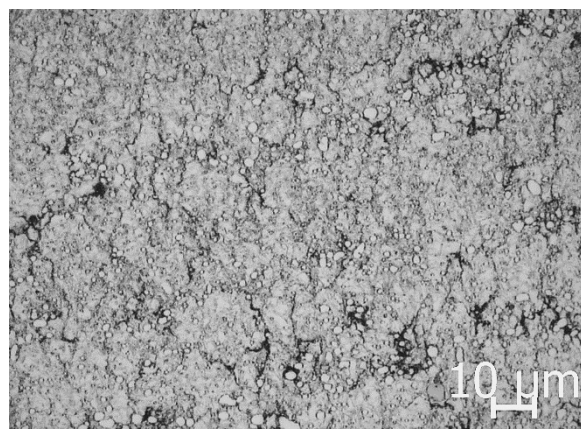
**Obr. 55: Pozice 5, 50×,  $\epsilon=10,5$**   
Patrné uspořádání struktury v podélném směru



**Obr. 56: Pozice 5, 500×,  $\epsilon=10,5$**   
Ultrajemné karbidy, homogenně rozložené, pod cca 1  $\mu\text{m}$



**Obr. 57: Pozice 6, 50×,  $\epsilon=9,88$**   
Uspořádání velmi jemné struktury ve dvou směrech, jeden směr je otočen o cca 30° k podélné ose, druhý o cca 100° vůči ose



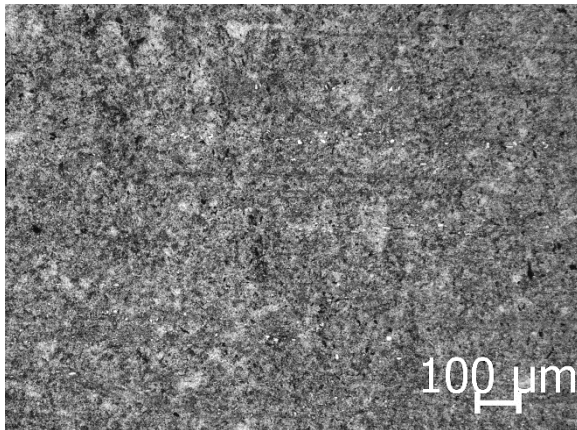
**Obr. 58: Pozice 6, 500×,  $\epsilon=9,88$**   
Velké množství ultrajemných karbidů pod 2  $\mu\text{m}$ . Patrný jsou hranice původních austenitických zrn.

### 9.2.3 Metalografické záznamy ČSN 19 830 (W.-Nr. 1.3343)

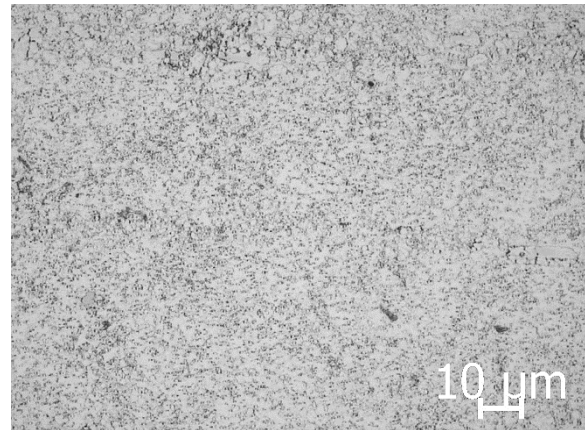
Strukturní rozbor této oceli byl proveden stejným způsobem jako u předchozího materiálu – viz. kap.9.2.2.

#### 9.2.3.1 Válcovaný polotovár žíhaný naměkko

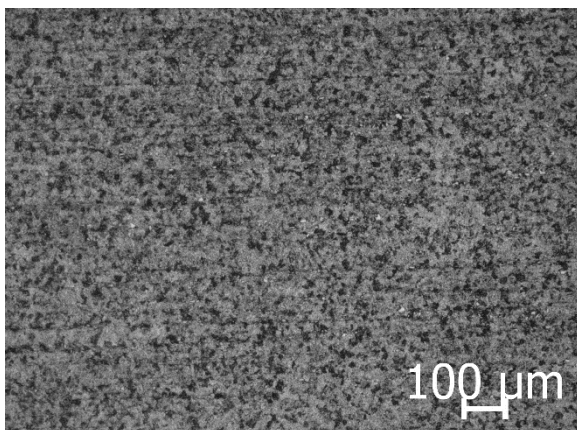
Řez byl veden středem polotovaru v podélném směru, leptáno Vilella – Bain.



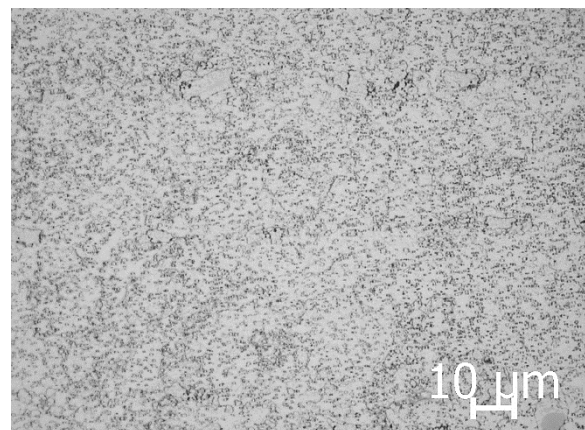
Obr. 59: Okrajová oblast, 50×



Obr. 60: Okrajová oblast, 500×



Obr. 61: Středová oblast, 50×

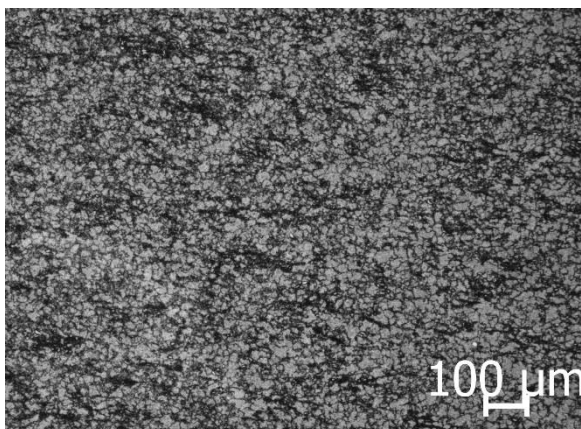


Obr. 62: Středová oblast, 500×

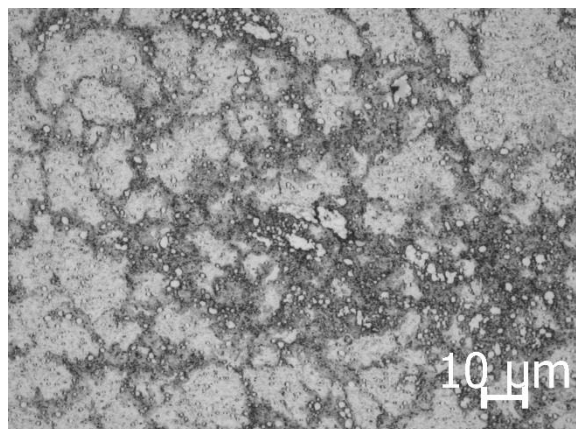
Pro válcované vzorky jsou typické karbidické segregace, uspořádané do pruhů ve směru válcování. Co se týče vláknitosti, mezi okrajovou částí vzorku a středem není patrný výrazný rozdíl.



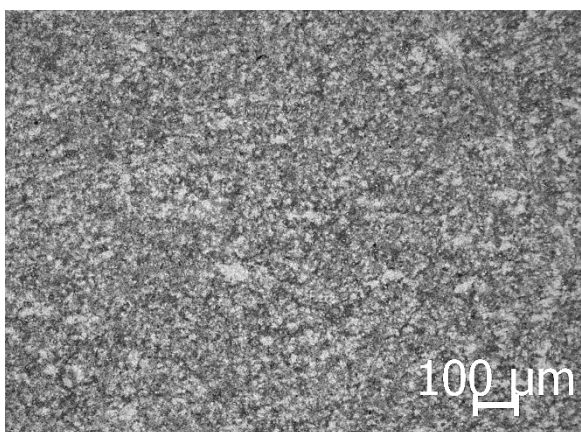
**9.2.3.2 Kované vzorky, 2×Pěchováno, podélný řez vedený středem vzorku, pozice viz obr. 20, leptáno Vilella- Bain**



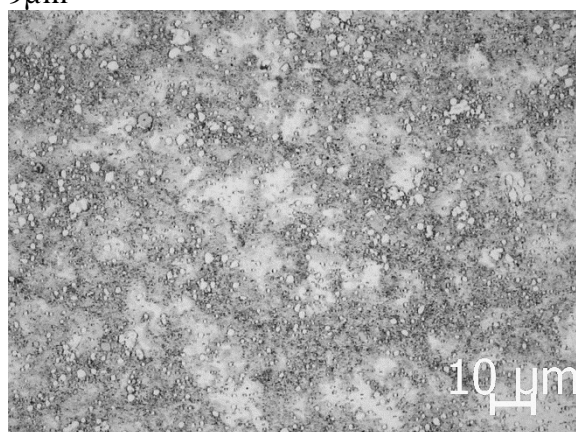
**Obr. 63: Pozice 1, 50×,  $\epsilon=1,91$**   
Směr struktury není patrný



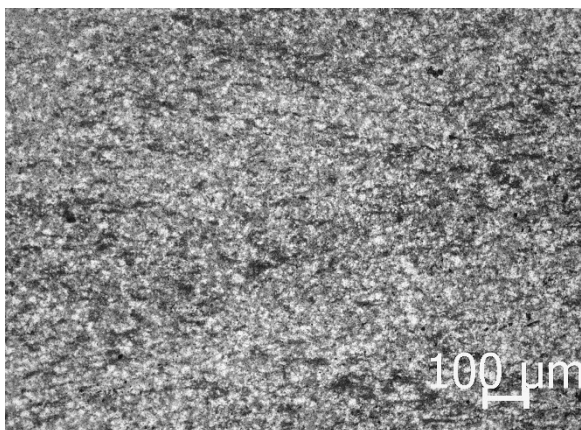
**Obr. 64: Pozice 1, 500×,  $\epsilon=1,91$**   
Karbidy ve shlucích maximální velikosti 9μm



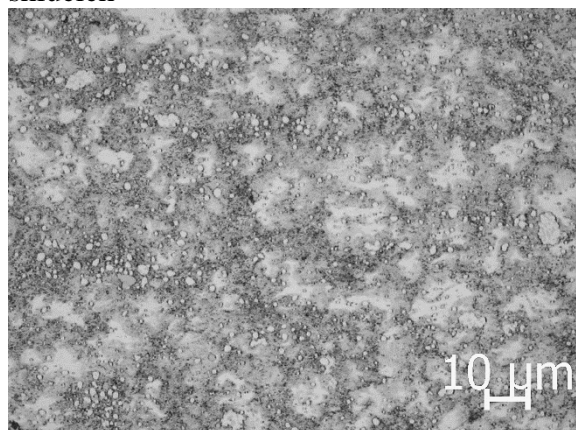
**Obr. 65: Pozice 2, 50×,  $\epsilon=5,82$**   
Směr struktury není patrný



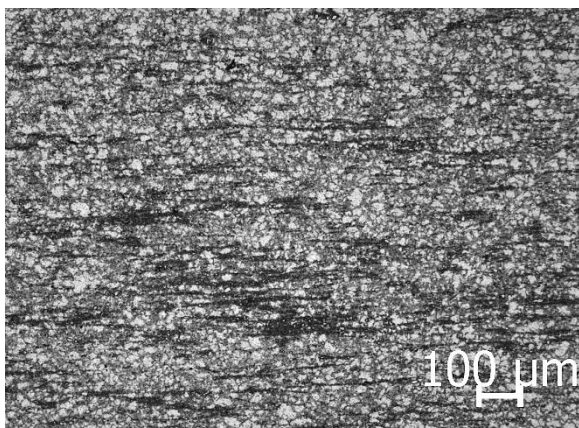
**Obr. 66: Pozice 2, 500×,  $\epsilon=5,82$**   
Nepřavidelně uspořádané karbidy ve shlucích



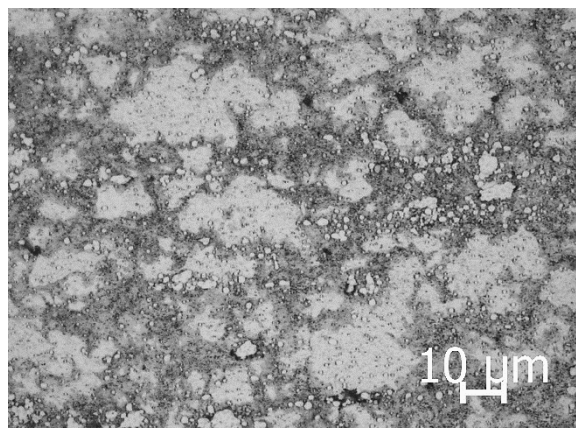
**Obr. 67: Pozice 3, 50×,  $\epsilon=3,45$**   
Náznak usměrnění struktury v horizontálním směru



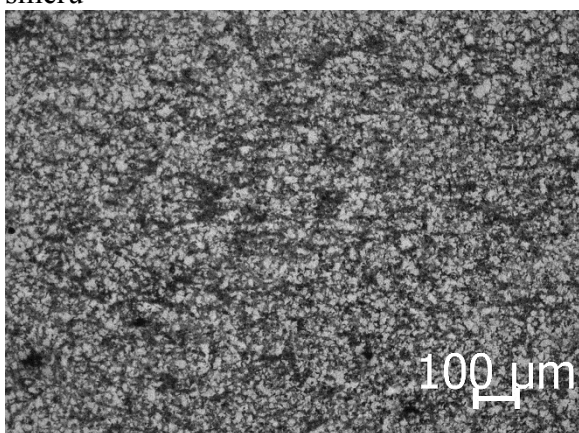
**Obr. 68: Pozice 3, 500×,  $\epsilon=3,45$**   
Jemné primární karbidy maximální velikosti 3μm



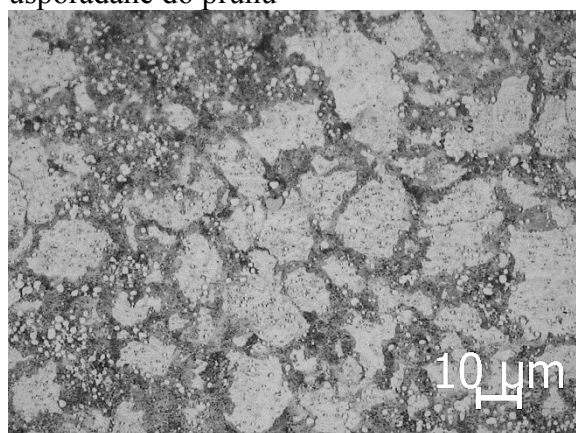
**Obr. 69: Pozice 4, 50×,  $\epsilon=1,6$**   
Výrazně patrný směr struktury v podélném směru



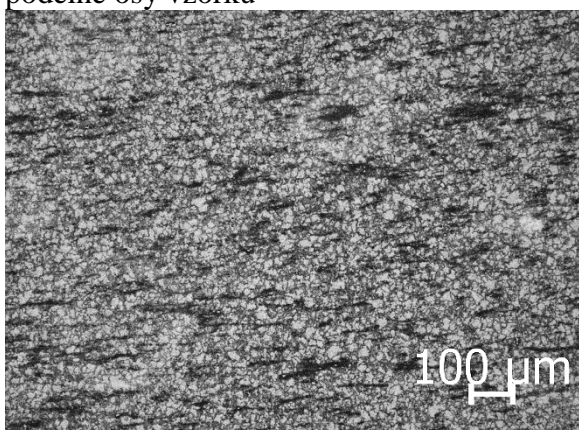
**Obr. 70: Pozice 4, 500×,  $\epsilon=1,6$**   
Jednotlivé karbidy velikosti až 7μm uspořádané do pruhů



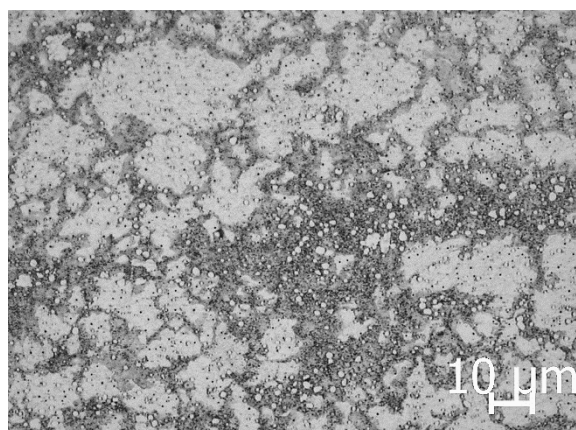
**Obr. 71: Pozice 5, 50×,  $\epsilon=7,34$**   
Jemně uspořádaná struktura ve směru podélné osy vzorku



**Obr. 72: Pozice 5, 500×,  $\epsilon=7,34$**   
Shluky velmi jemných karbidů

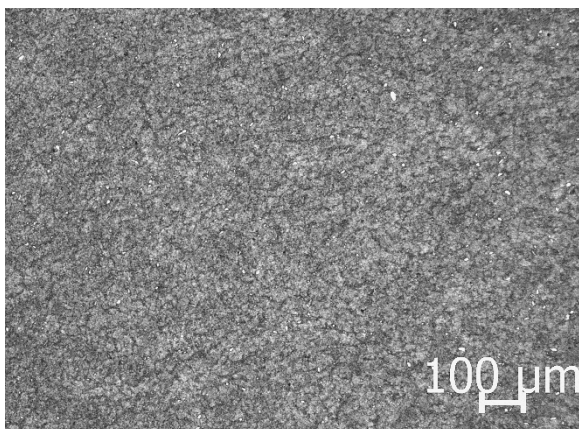


**Obr. 73: Pozice 6, 50×,  $\epsilon=8,09$**   
Usměrněná struktura, otočená cca pod úhlem 10-20° k podélné ose vzorku

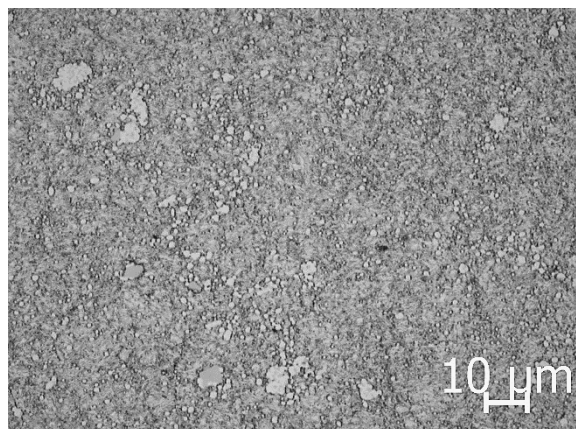


**Obr. 74: Pozice 6, 500×,  $\epsilon=8,09$**   
Velice jemné karbidy o velikosti 1μm

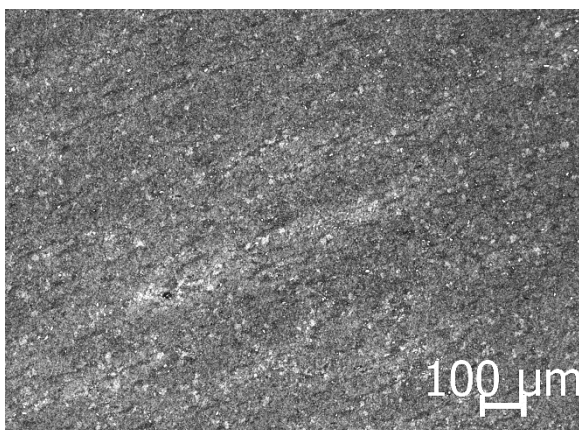
**9.2.3.3 Kované vzorky, 3×Pěchováno, podélný řez vedený středem vzorku, pozice viz obr. 20, leptáno Vilella- Bain**



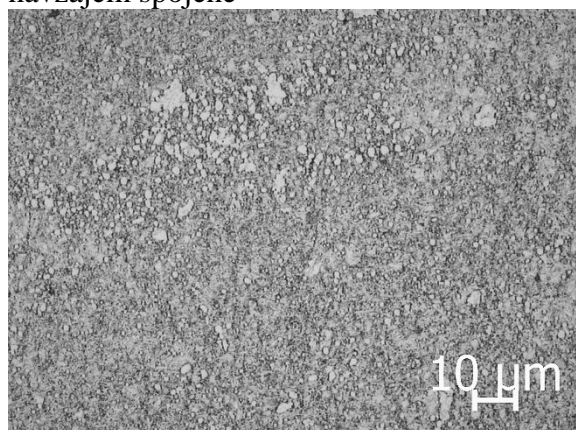
**Obr. 75: Pozice 1, 50×,  $\epsilon=3,82$**   
Usměrnění struktury není patrné



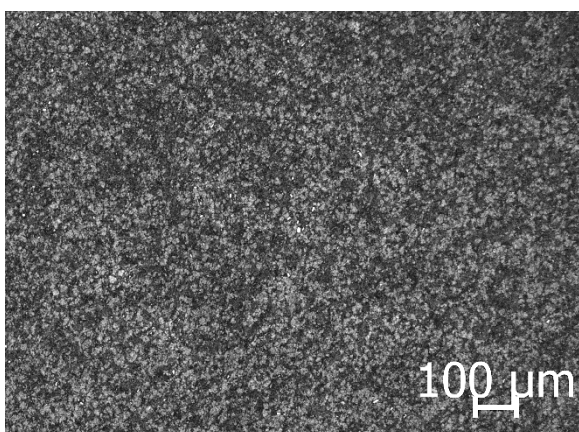
**Obr. 76: Pozice 1, 500×,  $\epsilon=3,82$**   
Velké karbidy až 10  $\mu\text{m}$ , nerovnoměrně rozložené. Menší karbidy ve shlucích, navzájem spojené



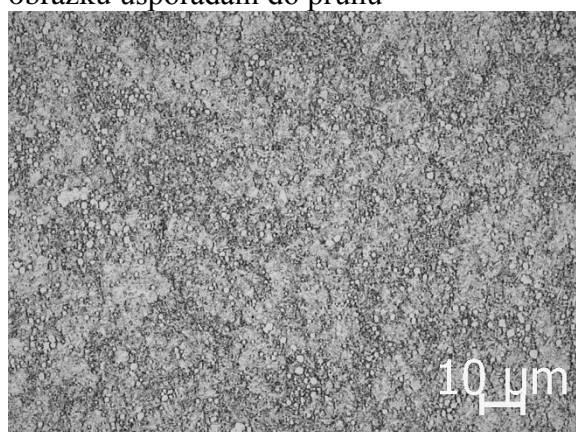
**Obr. 77: Pozice 2, 50×,  $\epsilon=7,94$**   
Výrazný směr struktury 45° k podélné ose



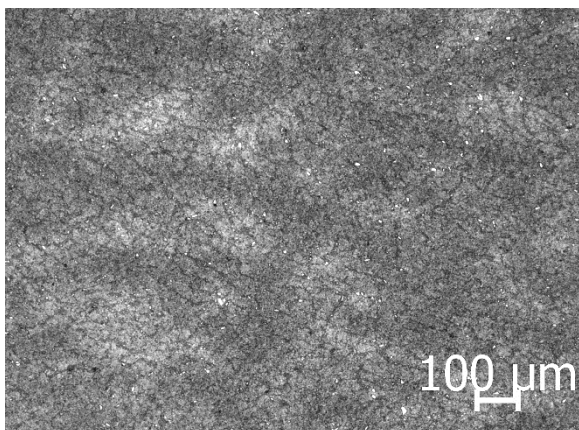
**Obr. 78: Pozice 2, 500×,  $\epsilon=7,94$**   
Větší karbidy max. 7  $\mu\text{m}$ , v horní části obrázku uspořádání do pruhu



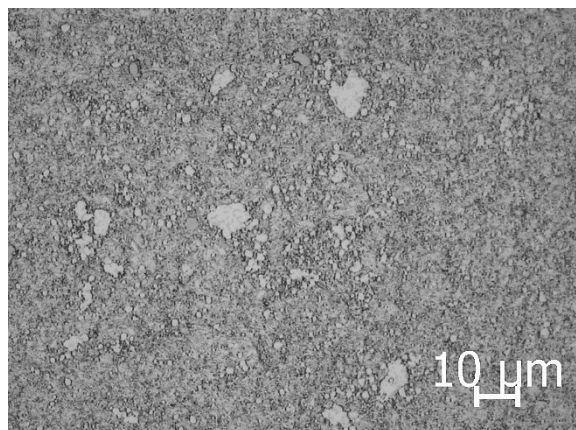
**Obr. 79: Pozice 3, 50×,  $\epsilon=6,76$**   
Směr struktury není patrný, může probíhat kolmo k rovině řezu



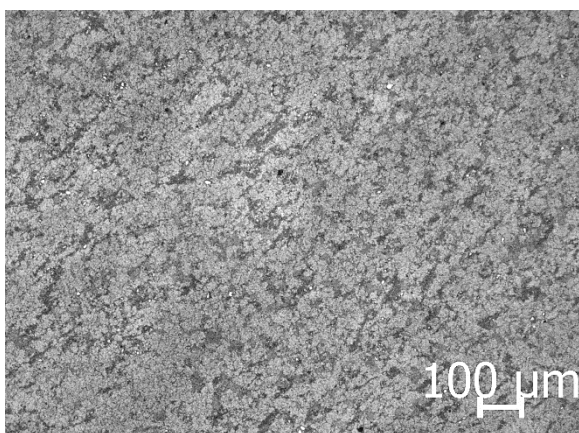
**Obr. 80: Pozice 3, 500×,  $\epsilon=6,76$**   
Homogenní rozložení karbidů, velmi malé karbidy pod 1  $\mu\text{m}$ , struktura velmi podobná práškové oceli



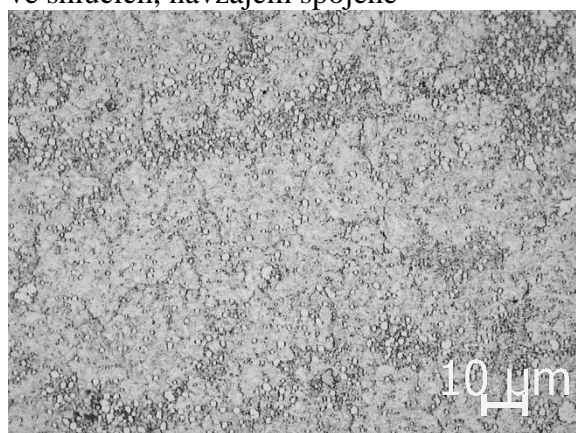
**Obr. 81: Pozice 4, 50×,  $\epsilon=3,16$**   
Nehomogenní struktura



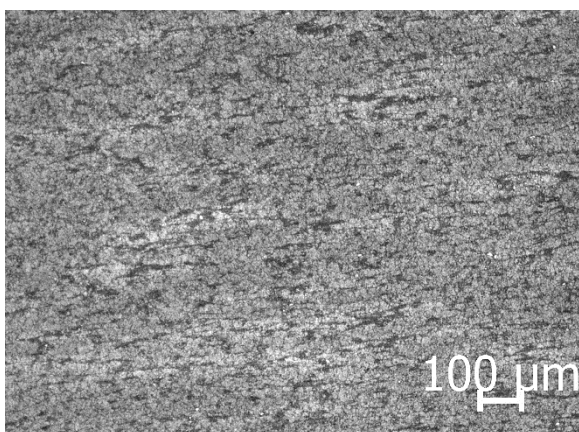
**Obr. 82: Pozice 4, 500×,  $\epsilon=3,16$**   
Velké karbidy max. 10 μm, menší karbidy  
ve shlucích, navzájem spojené



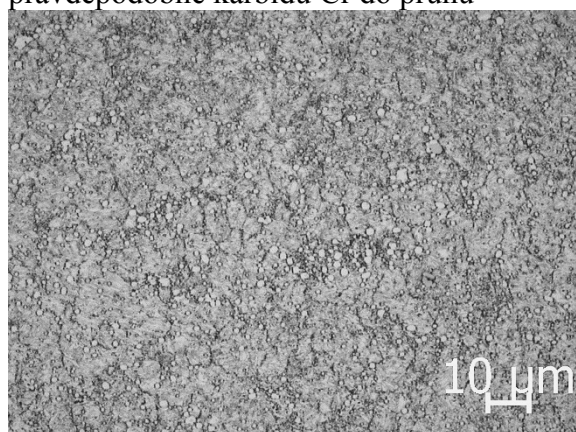
**Obr. 83: Pozice 5, 50×,  $\epsilon=10,5$**   
Směr struktury – 45° k podélné ose



**Obr. 84: Pozice 5, 500×,  $\epsilon=10,5$**   
Velmi jemné karbidy pod 1 μm, uspořádání  
pravděpodobně karbidů Cr do pruhů



**Obr. 85: Pozice 6, 50×,  $\epsilon=9,88$**   
Směr struktury probíhá pod úhlem cca 20°  
k podélné ose

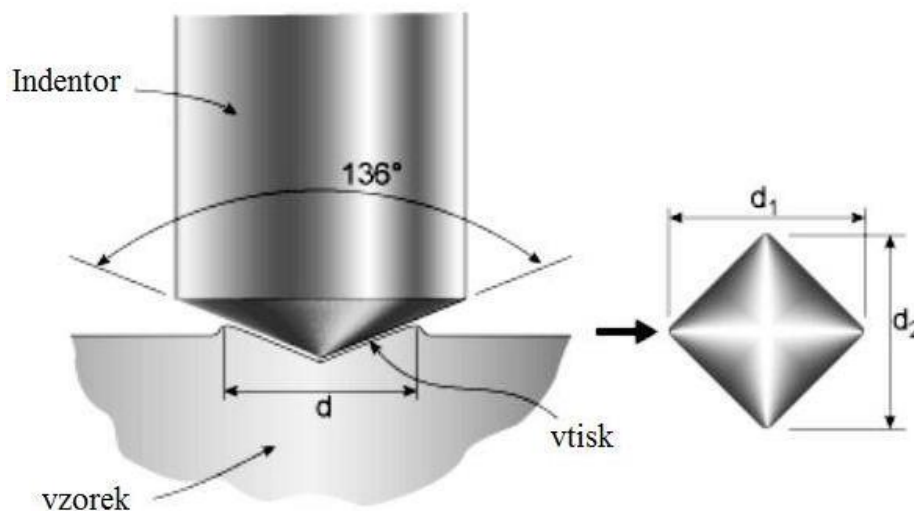


**Obr. 86: Pozice 6, 500×,  $\epsilon=9,88$**   
Velmi jemné karbidy pod 1 μm, větší  
z nich – pravděpodobně karbidy Cr-  
ve středu obrázku ve shluku

## 10 Stanovení tvrdosti ve vztahu k rozložení deformace v tělese a teplotě při ochlazování

Obecně tvrdost je schopnost materiálu odolávat průniku cizího pevnějšího tělesa. Pro zjištění statické tvrdosti jako vnikající těleso se používá indentor. Statická tvrdost se vyznačuje jako poměr velikosti zatížení k rozměrové změně vtisku. Statická tvrdost je měřená ve třech rozmezích: makrotvrdost, mikrotvrdost a nanotvrdost. Hlavní rozdíl mezi nimi je ve velikosti vnikající síly, a následně i změně rozměru vtisku.

Podstata měření mikrotvrdosti podle Vickerse (EN ISO 6507) spočívá ve vtisku pravidelného diamantového čtyřbokého jehlanu o vrcholovém úhlu  $136^\circ$  do zkoušeného povrchu (Obr. 87).



Obr. 87: Schéma zkoušky tvrdosti dle HV

Mikrotvrdost je určena pro měření tvrdosti v rozměrech jednotlivých zrn. Měření se provádí na tvrdoměrech, které mají rozsah zatížení indentoru méně než 2 N, a které jsou spojeny s optickým mikroskopem pro odečítání velikosti vytvořeného vtisku. Hodnota mikrotvrdosti je definována jako podíl velikosti zatížení působícího na diamantový indentor a velikosti plochy vytvořeného vtisku a počítá se podle vztahu:

$$HV = 0,102 \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2}$$

kde: F... Zatížení vtisku [N]

d...průměrná úhlopříčka vtisku [mm]

Při měření tvrdosti podle Vickerse však musí být dodržena některá pravidla rozmístění vtisků vůči okraji vzorku a vůči vzdalenosti mezi jednotlivými vtisky. Co se týče okraje vzorku, střed vtisku nesmí být umístěn pro ocel blíže než  $2,5d$  od něho. Střed dvou vtisků nesmí být pro ocel umístěny blíže než  $3d$ . Pokud výsledné hodnoty tvrdosti nebudou zkreslené, musí se této vzdaleností dodržovat.

Z provedených analýz musíme brát v úvahu to, že struktura rychlořezné oceli je vysoce jemná. Objem primárních karbidů v materiálu se pohybuje v rozsahu 8-10% a průměr kulatých karbidů dosahuje 3  $\mu\text{m}$ .

V souladu s očekávanou tvrdostí v rozsahu  $400 \pm 200$  HV (200 HV pro válcovaný stav, 400 HV pro 2 $\times$ pěchovaný stav a 600 HV pro 3 $\times$ pěchovaný stav) a doporučení provést měření tvrdosti zatížením 0,2 kgf byla sestavena tab.6, pro odhad velikosti uhlopříčky vtisků. Z tabulky 6 je pátrno, že průměrná uhlopříčka vtisků by se měla pohybovat mezi 43,1 – 24,9  $\mu\text{m}$ . To znamená, že v povrchu jednoho vtisku se bude skrývat 26 – 9 karbidů, což by mělo být objektivní. S ohledem na všechny této faktory bylo rozhodnuto provádět tvrdostní měření při zatížení 1.961 N (0,2 kgf). Dané zatížení by mělo být dostačující pro celkovou analýzu tvrdosti ve středových oblastech vzorků s různými efektivními deformacemi při ochlazování popsaném v sedmé kapitole.

Tvrdoměr Struers DuraScan-80 (Obr. 88) pracuje s software ECOS Workflow, a umožňuje provedení měření tvrdosti dle Vickers EN ISO 6507 a Knoop EN ISO 4545. Zatížení tvrdoměru se pohybuje v silovém rozsahu: 0,098 – 98 N (0,01 – 10 kgf). Vlastní dané vybavení centrum výzkumu Řež s.r.o. člen skupiny Ústavu Jaderného Výzkumu, a po domluvě s místními odborníky bylo možné tvrdostní hodnocení provést.

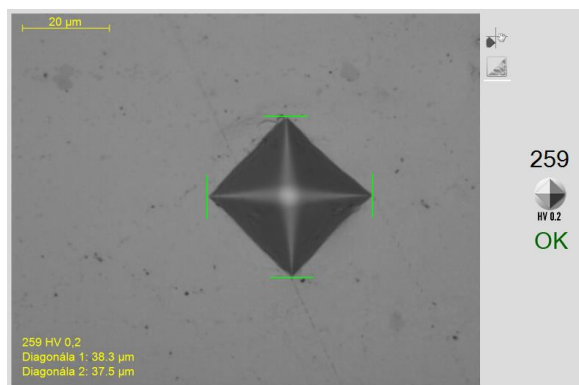


**Obr. 88: Tvrdoměr DuraScan-80**

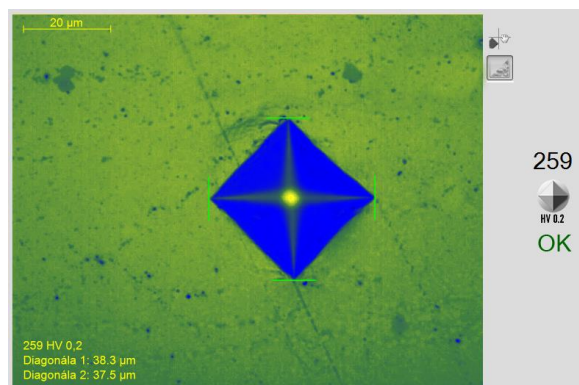
HV	HV 0.2 d [μm]	HV	HV 0.2 d [μm]	HV	HV 0.2 d [μm]	HV	HV 0.2 d [μm]	HV	HV 0.2 d [μm]
80	68.10	265	37.42	450	28.71	635	24.17	820	21.27
85	66.07	270	37.07	455	28.56	640	24.08	825	21.21
90	64.21	275	36.73	460	28.40	645	23.98	830	21.14
95	62.49	280	36.40	465	28.25	650	23.89	835	21.08
100	60.91	285	36.08	470	28.10	655	23.80	840	21.02
105	59.44	290	35.77	475	27.95	660	23.71	845	20.95
110	58.08	295	35.46	480	27.80	665	23.62	850	20.89
115	56.80	300	35.17	485	27.66	670	23.53	855	20.83
120	55.60	305	34.88	490	27.52	675	23.44	860	20.77
125	54.48	310	34.60	495	27.38	680	23.36	865	20.71
130	53.42	315	34.32	500	27.24	685	23.27	870	20.65
135	52.42	320	34.05	505	27.11	690	23.19	875	20.59
140	51.48	325	33.79	510	26.97	695	23.10	880	20.53
145	50.58	330	33.53	515	26.84	700	23.02	885	20.47
150	49.73	335	33.28	520	26.71	705	22.94	890	20.42
155	48.92	340	33.03	525	26.58	710	22.86	895	20.36
160	48.15	345	32.79	530	26.46	715	22.78	900	20.30
165	47.42	350	32.56	535	26.33	720	22.70	905	20.25
170	46.72	355	32.33	540	26.21	725	22.62	910	20.19
175	46.04	360	32.10	545	26.09	730	22.54	915	20.14
180	45.40	365	31.88	550	25.97	735	22.47	920	20.08
185	44.78	370	31.67	555	25.86	740	22.39	925	20.03
190	44.19	375	31.45	560	25.74	745	22.32	930	19.97
195	43.62	380	31.25	565	25.63	750	22.24	935	19.92
200	43.07	385	31.04	570	25.51	755	22.17	940	19.87
205	42.54	390	30.84	575	25.40	760	22.09	945	19.81
210	42.03	395	30.65	580	25.29	765	22.02	950	19.76
215	41.54	400	30.46	585	25.18	770	21.95	955	19.71
220	41.07	405	30.27	590	25.08	775	21.88	960	19.66
225	40.61	410	30.08	595	24.97	780	21.81	965	19.61
230	40.16	415	29.90	600	24.87	785	21.74	970	19.56
235	39.73	420	29.72	605	24.76	790	21.67	975	19.51
240	39.32	425	29.55	610	24.66	795	21.60	980	19.46
245	38.91	430	29.37	615	24.56	800	21.54	985	19.41
250	38.52	435	29.20	620	24.46	805	21.47	990	19.36
255	38.14	440	29.04	625	24.36	810	21.40	995	19.31
260	37.78	445	28.87	630	24.27	815	21.34	1000	19.26

**Tab. 6: Průměrná hodnota úhlopříček vtisků v závislosti na HV a zatížení 1.961 N**

Software je dostatečně uživatelsky zručný. Měření probíhá v automatickém režimu dle předběžně definovaných trajektorií, počtu vtisků s následnou možností digitální korekce rozměrů úhlopříček  $d_1$  a  $d_2$ . (Obr. 89-90)



**Obr. 89: Zkušební vtisk, válcovaný stav ČSN 19 830, obyčejné světlo**



**Obr. 90: Zkušební vtisk, válcovaný stav ČSN 19 830, zvýrazněné barvy pro lepší viditelnost hranic vtisku**

Měření tvrdosti bylo provedeno na přeleštěných površích vzorků a probíhalo v jejich centrálních oblastech. Čili ve stejných místech kde se prováděla metalografická analýza. Tím pádem je možné srovnání hodnot tvrdostí s obdrženou efektivní deformací pro následnou diskuzi. Výsledné hodnoty mikrotvrdosti jsou sepsány v tab.7

Materiál	Stav pěstování	Oblast měření	Vpich HV 0,2			HV Průměr	HRC Průměr	ε
			1. Vpich	2. Vpich	3. Vpich			
ČSN 19 852	Válcováno	Střed	245	253	249	249	23	-
	2xPěstováno	Oblast 4	416	421	414	417	43	1,6
		Oblast 6	419	414	409	414	43	8,09
	3xPěstováno	Oblast 4	620	637	603	620	55	3,16
Oblast 6		612	629	629	623	55	9,88	
ČSN 19 830	Válcováno	Střed	222	235	239	232	20	-
	2xPěstováno	Oblast 4	458	466	447	457	46	1,6
		Oblast 6	493	502	499	498	50	8,09
	3xPěstováno	Oblast 4	576	560	549	562	53	3,16
Oblast 6		600	604	595	600	54	9,88	

**Tab. 7: Záznam mikrotvrdosti HV 0,2/HRC ve vztahu k rozložení deformace v podélném řezu vedeného středem vzorku**



## 11 Závěr

Pro vysocelegované rychlořezné oceli je typické velké množství karbidů různého typu v závislosti na teplotě, při níž precipitují. Tvrdost a charakter těchto karbidů je rozhodující pro mechanické vlastnosti. Obecné složení karbidů můžeme zapsat podle poměru počtu atomů kovu (M) a uhlíku takto:  $M_3C$ - $M_{23}C_6$ - $M_6C$  - $M_7C_3$ - $M_2C$ - $MC$  (Tab. 8), kdy karbid  $M_3C$  vzniká při nejnižší teplotě,  $MC$  při nejvyšší.

Karbidy	Tvrdost HV 0,1	Prvky (M)	Poznámka
$M_3C$	cca 950	Fe, Mn	Karbid cementitického typu, je relativně měkký
$M_{23}C_6$	1000 - 1100	Cr	Při ohřevu na kalící teplotu se zcela rozpustí, chrom přechází do tuhého roztoku a zvyšuje prokalitelnost oceli
$M_6C$	1200 - 1300	W	Při ohřevu na kalící teplotu se zčásti rozpustí v austenitu, zčásti zůstává zachován a omezuje růst zrna austenitu
$M_7C_3$	1600 - 1800	Cr	
$M_2C$	1700 - 1900	W, Mo	Precipitují ve struktuře při popouštění 500 - 600°C
MC ( $M_4C_3$ )	2200 - 3000	V	Jemné velmi tvrdé karbidy, které se při austenitizaci jen zčásti rozpustí a zabraňují zhrubnutí austenitického zrna. Dále precipitují ve struktuře při popouštění 500 - 600°C

**Tab. 8 Karbidy v nástrojových ocelích**

Výsledná struktura rychlořezné oceli po pomalém ochlazování se označuje jako ledeburitická, a to proto, že se karbidy vylučují (při krystalizaci) jako kostrovité útvary podobného tvaru jako je ledeburit v binární soustavě Fe - Fe<sub>3</sub>C. Po všech přeměnách (Viz. Diagram 8) konečná struktura je tvořena  $\alpha$  +  $M_6C$  +  $MC$  (ferit + komplexní karbidy). [12]

Na metalografických fotografiích jsou u oceli ČSN EN 19852 výrazně vidět větší karbidy, které jsou pravděpodobně karbidy Cr. Tyto větší karbidy mají tendenci vytvářet shluky nebo pruhy po hranicích původních austenitických zrn. Dále můžeme pozorovat velmi jemné karbidy, které se zobrazují jako „tečky“ a jsou ve struktuře rozloženy rovnoměrně, toto jsou pravděpodobně ultrajemné karbidy Vanadu. Mezi tím existuje ve struktuře mnoho jemných karbidů, které mohou být tvořeny atomy W, Cr, Fe a bývají komplexní ( tvořeny atomy dvou nebo více kovů a uhlíkem).

Cílem kování bylo vyrobit ultrajemnou strukturu bez vláknitosti. Z numerické simulace byla odečtena velikost efektivní deformace. Z metalografické analýzy je vidět, že s rostoucím stupněm efektivní deformace dochází ke zjemnění karbidů, kdy místa v kovaném vzorku s vysokým stupněm deformace se vyznačují velmi jemnými karbidy do velikosti max 1-2  $\mu$ m, které jsou homogenně rozloženy ve struktuře, někdy lze pouze pozorovat slabý náznak uspořádání u karbidů chromu. Kvantifikace a měření rozložení karbidů nebylo provedeno, a to proto, že dostupnou technikou nebylo možné stanovit počet ani velikost ultrajemných karbidů, které jsou pro získanou vysoce prokovanou strukturu typické.

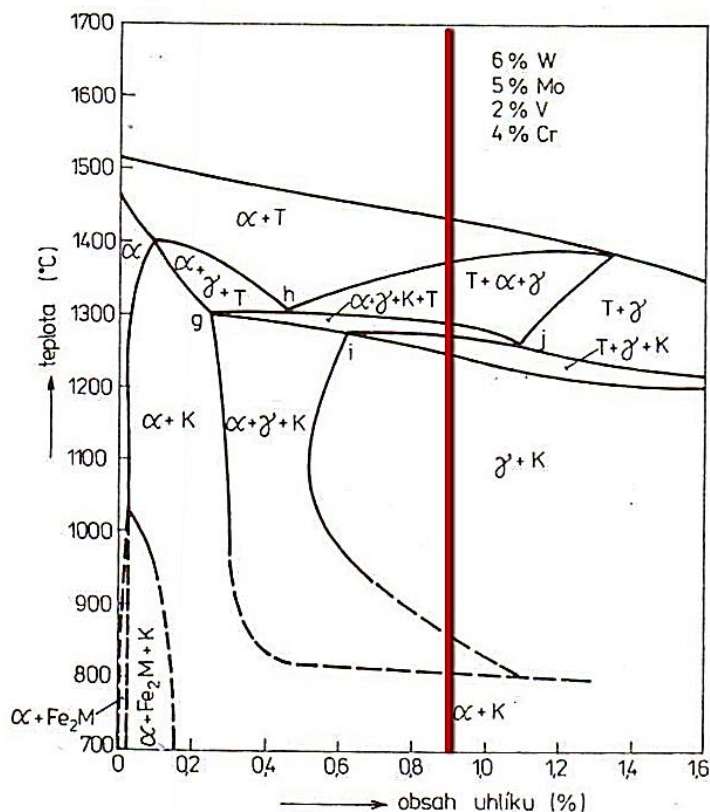


Diagram 8 Vertikální řez rovnovážným diagramem Fe-C-W-Mo ČSN 19 830

Naproti tomu i v místech, které jsou vysoce prokované, lze pozorovat uspořádání struktury, které připomíná vláknitost. Uspořádání je např. výrazné ve středu 3x pěchovaných vzorků s efektivní deformací 10, v rohové části vzorků, v pozici 3 je naopak potlačena nejlépe. V ostatních oblastech je uspořádání struktury různé a v různých směrech. Je ovšem otázkou, co způsobuje tento jev. Podle srovnání průběhu ochlazování výkovek s IRA a ARA diagramy daných materiálů (Diagramy 4-7) lze soudit, že základní struktura je tvořena feritem. Potvrdilo se to i zkoumáním struktury na řádkovacím elektronovém mikroskopu na katedře. U vzorků jsou vidět hranice původních austenitických zrn, která během ohřevu podléhají rekrytalizaci. Po poslední tvářecí operaci a následném chladnutí již neproběhne rekrytalizace austenitu za vzniku rovnoosých zrn, austenitická zrna zůstávají ve tvaru, v jakém byla po poslední tvářecí operaci při dolní teplotě kování, a následná fázová transformace potom vede ke vzniku „usměrněné“ struktury. Směr struktury přibližně odpovídá matematickému modelu toku materiálu – viz. příloha C. Dá se očekávat, že při následujícím tepelném zpracování kalením a popouštěním tento efekt zmizí.

Vzorky pro zkoumání tvrdosti byly zvoleny z pozic s největší (pozice 6) a nejmenší (pozice 4) efektivní deformací. Mikrotvrdost HV 0,2/HRC v závislosti na počtu pěchovacích a prodlužovacích operací rostla, ale nekoresponduje s hodnotami efektivní deformace, odečtené z numerických simulací v konkrétních bodech (viz tab. 7). Vzhledem k vysokým gradientům vypočítané efektivní deformace v numerickém modelu může i malá odchylka v poloze jednotlivých bodů znamenat nepřesnost ve vztahu k reálnému vzorku, který byl kován volným způsobem a jeho tvar není matematicky přesný. Pro určení hodnoty efektivní deformace z numerického modelu by bylo vhodnější zvolit více bodů v dané oblasti.

Z této práce vyplynulo, že opakovaným kováním ve všech směrech, kdy po pēchování a následném prodlužování probíhá následující deformace proti směru předchozí operace, dochází k drčení a zjemňování karbidů na velmi jemné částice, které jsou při zvětšení 500x pozorovatelné jako drobné tmavé body v základní struktuře a nelze je kvantifikovat. Po předběžném vyhodnocení na řádkovacím elektronovém mikroskopu se jeví, že nejjemnější karbidy svojí velikostí budou mít rozměry řádově kolem 0,1 μm. Takto jemné karbidy prášková ocel již neobsahuje a právě toto je zřejmě hlavním důvodem vynikajících vlastností kovaných obráběcích nástrojů.

## Zdroje

- [1] Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj, CZ.1.07/1.1.08/03.0009  
Dostupné z:  
[https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjipKCagd3QAhWBGywKHWgUChoQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Fcoptel.coptkm.cz%2Freposit.php%3Faction%3D0%26id%3D25317%26instance%3D2&usg=AFQjCNHcjI9wiiu1f6drhR-UeaHbwXR0w&sig2=16tG\\_F5lpRf10N5xUzEa2g](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjipKCagd3QAhWBGywKHWgUChoQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Fcoptel.coptkm.cz%2Freposit.php%3Faction%3D0%26id%3D25317%26instance%3D2&usg=AFQjCNHcjI9wiiu1f6drhR-UeaHbwXR0w&sig2=16tG_F5lpRf10N5xUzEa2g)
- [2] Internetová stránka metaspaces.ru [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z:  
<http://www.metaspaces.ru/education-career/osnovy-metallurgii/poroshkovaya-metallurgiya.html>
- [3] Internetová stránka markmet.ru [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z:  
[http://markmet.ru/tehnologiya\\_metallov/instrumentalnye-stali-i-splavy](http://markmet.ru/tehnologiya_metallov/instrumentalnye-stali-i-splavy)
- [4] BENEŠOVÁ, S., Přednášky *technologie tváření (TTV)*, Plzeň, ZČU
- [5] BENEŠOVÁ, S., KŘÍŽ, A., *Výpočet stupně prokování a jeho vztah k rozložení deformace uvnitř tělesa, stanovené numerickou simulací*, FST, KMM
- [6] HAŠEK, Vladimír. *Kování: pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Řada strojírenské literatury. s.55 – 57, s.428 – 430, s.61 – 66, s.549
- [7] ŽÍDEK, Milan, Vladimír DĚDEK a Boris SOMMER. *Tváření oceli*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988. s.47 – 50
- [8] J.R.Davis: *TOOL MATERIALS , ASM SPECIALTY HANDBOOK*, 1998
- [9] Ing. Soňa Benešová, Ph.D. a dr. ing. Antonín Kříž. *Výpočet stupně prokování a jeho vztah k rozložení deformace uvnitř tělesa, stanovené numerickou simulací*. Kovárenství. Brno, 2016, 1991(58), 69. ISSN ISSN 1213-9289.
- [10] <http://ebook.veda-hrou.cz> [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z:  
<http://ebook.veda-hrou.cz/cms/15-kapitola-5-zkouseni-vlastnosti-oceli.html>
- [11] Internetová stránka www.struers.com [online]. [cit. 2017-16-04]. Dostupné z:  
[http://www.struers.com/Content/Documents/Brochures/English/Hot%20Mounting\\_1015\\_English.pdf](http://www.struers.com/Content/Documents/Brochures/English/Hot%20Mounting_1015_English.pdf)
- [12] Podle ústního sdělení Dr. Ing. Miloslava Kesla (PILSEN TOOLS, s.r.o., Tylova 1/57, 30100 Plzeň, Jižní předměstí) dne 24. dubna 2017.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Vlastností řezných materiálů (Humár, 2016).....	12
Obr. 2 Struktura rychlořezné nástrojové oceli v pěchovaném stavu	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Obr. 3 Struktura rychlořezné nástrojové oceli ve válcovaném stavu	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Obr. 4 Nerovnoměrná deformace při pěchování .....	30
Obr. 5 Ukázka rozložení efektivní deformace podle numerické simulace.....	33
Obr. 6: 2×pěchováno, rovina $\alpha$ – řez, vedený ve vzdálenosti 10mm od středu.....	34
Obr. 7: 2×pěchováno, rovina $\beta$ –řez, vedený středem vzorku.....	34
Obr. 8: 3×pěchováno, rovina $\alpha$ – řez, vedený ve vzdálenosti 10mm od středu.....	34
Obr. 9: 3×pěchováno, rovina $\beta$ –řez, vedený středem vzorku.....	34
Obr. 10: Materiál EN 1.3243.....	36
Obr. 11: Materiál EN 1.3343.....	36
Obr. 12: Ovladač panel a komorová pec .....	37
Obr. 13: Kovací lis CKW6000.....	38
Obr. 14: Simulace sestavy pro pěchování – tělesa v řezu .....	39
Obr. 15: Simulace uspořádání nástrojů pro první fázi prodlužování .....	39
Obr. 16: Situace po první fázi prodlužování .....	39
Obr. 17: Simulace uspořádání nástrojů pro druhou fázi prodlužování .....	39
Obr. 18: Simulace vykování špalku o průřezových rozměrech 40×40mm .....	39
Obr. 19: Zleva napravo: Dolní pěchovací čelist, úzké kovadlo, široké kovadlo, podložka pro okování hran v širokém kovadle .....	40
Obr. 20: Dělení vzorků.....	44
Obr. 21: Kotoučová pila Discotom-6 .....	45
Obr. 22: Metalografickém lisu Citopress 10 .....	46
Obr. 23: Metalografická bruska/leštička Tegramin-20 .....	46
Obr. 24: Struktura pracovního programu brusky/leštičky.....	47

Obr. 25: Metalografický mikroskop Zeiss Axio .....	48
Obr. 26: Vzorek 2O – válcovaný polotovar, neleptáno 100× .....	49
Obr. 27: Vzorek 2O – válcovaný polotovar, neleptáno 500× .....	49
Obr. 28: Prášková ocel (ERA Steel, ASP 2052), 50× .....	50
Obr. 29: Prášková ocel (ERA Steel, ASP 2052), 500× .....	50
Obr. 30 Prášková ocel AISI T15, káleno v oleji, třikrát temperováno po dobu dvou hodin na teplotě 540°C, 3% nital, 1000× .....	50
Obr. 31: Okrajová oblast, 50× .....	51
Obr. 32: Okrajová oblast, 500× .....	51
Obr. 33: Středová oblast, 50× .....	51
Obr. 34: Středová oblast, 500× .....	51
Obr. 35: Pozice 1, 50×, $\varepsilon=1,91$ .....	52
Obr. 36: Pozice 1, 500×, $\varepsilon=1,91$ .....	52
Obr. 37: Pozice 2, 50×, $\varepsilon=5,82$ .....	52
Obr. 38: Pozice 2, 500×, $\varepsilon=5,82$ .....	52
Obr. 39: Pozice 3, 50×, $\varepsilon=3,45$ .....	52
Obr. 40: Pozice 3, 500×, $\varepsilon=3,45$ .....	52
Obr. 41: Pozice 4, 50×, $\varepsilon=1,6$ .....	53
Obr. 42: Pozice 4, 500×, $\varepsilon=1,6$ .....	53
Obr. 43: Pozice 5, 50×, $\varepsilon=7,34$ .....	53
Obr. 44: Pozice 5, 500×, $\varepsilon=7,34$ .....	53
Obr. 45: Pozice 6, 50×, $\varepsilon=8,09$ .....	53
Obr. 46: Pozice 6, 500×, $\varepsilon=8,09$ .....	53
Obr. 47: Pozice 1, 50×, $\varepsilon=3,82$ .....	54
Obr. 48: Pozice 1, 500×, $\varepsilon=3,82$ .....	54
Obr. 49: Pozice 2, 50×, $\varepsilon=7,94$ .....	54

Obr. 50: Pozice 2, 500×, $\varepsilon=7,94$ .....	54
Obr. 51: Pozice 3, 50×, $\varepsilon=6,76$ .....	54
Obr. 52: Pozice 3, 500×, $\varepsilon=6,76$ .....	54
Obr. 53: Pozice 4, 50×, $\varepsilon=3,16$ .....	55
Obr. 54: Pozice 4, 500×, $\varepsilon=3,16$ .....	55
Obr. 55: Pozice 5, 50×, $\varepsilon=10,5$ .....	55
Obr. 56: Pozice 5, 500×, $\varepsilon=10,5$ .....	55
Obr. 57: Pozice 6, 50×, $\varepsilon=9,88$ .....	55
Obr. 58: Pozice 6, 500×, $\varepsilon=9,88$ .....	55
Obr. 59: Okrajová oblast, 50× .....	56
Obr. 60: Okrajová oblast, 500× .....	56
Obr. 61: Středová oblast, 50× .....	56
Obr. 62: Středová oblast, 500× .....	56
Obr. 63: Pozice 1, 50×, $\varepsilon=1,91$ .....	57
Obr. 64: Pozice 1, 500×, $\varepsilon=1,91$ .....	57
Obr. 65: Pozice 2, 50×, $\varepsilon=5,82$ .....	57
Obr. 66: Pozice 2, 500×, $\varepsilon=5,82$ .....	57
Obr. 67: Pozice 3, 50×, $\varepsilon=3,45$ .....	57
Obr. 68: Pozice 3, 500×, $\varepsilon=3,45$ .....	57
Obr. 69: Pozice 4, 50×, $\varepsilon=1,6$ .....	58
Obr. 70: Pozice 4, 500×, $\varepsilon=1,6$ .....	58
Obr. 71: Pozice 5, 50×, $\varepsilon=7,34$ .....	58
Obr. 72: Pozice 5, 500×, $\varepsilon=7,34$ .....	58
Obr. 73: Pozice 6, 50×, $\varepsilon=8,09$ .....	58
Obr. 74: Pozice 6, 500×, $\varepsilon=8,09$ .....	58
Obr. 75: Pozice 1, 50×, $\varepsilon=3,82$ .....	59

Obr. 76: Pozice 1, 500×, $\varepsilon=3,82$ .....	59
Obr. 77: Pozice 2, 50×, $\varepsilon=7,94$ .....	59
Obr. 78: Pozice 2, 500×, $\varepsilon=7,94$ .....	59
Obr. 79: Pozice 3, 50×, $\varepsilon=6,76$ .....	59
Obr. 80: Pozice 3, 500×, $\varepsilon=6,76$ .....	59
Obr. 81: Pozice 4, 50×, $\varepsilon=3,16$ .....	60
Obr. 82: Pozice 4, 500×, $\varepsilon=3,16$ .....	60
Obr. 83: Pozice 5, 50×, $\varepsilon=10,5$ .....	60
Obr. 84: Pozice 5, 500×, $\varepsilon=10,5$ .....	60
Obr. 85: Pozice 6, 50×, $\varepsilon=9,88$ .....	60
Obr. 86: Pozice 6, 500×, $\varepsilon=9,88$ .....	60
Obr. 87: Schéma zkoušky tvrdosti dle HV .....	61
Obr. 88: Tvrdoměr DuraScan-80 .....	62
Obr. 89: Zkušební vtisk, válcovaný stav ČSN 19 830, obyčejné světlo .....	64
Obr. 90: Zkušební vtisk, válcovaný stav ČSN 19 830, zvýrazněné barvy pro lepší viditelnost hranic vtisku .....	64



## Seznam tabulek

Tab. 1: Stupně prokování dle Elfmaka a plzeňských kováren (experimentální část) [9].....	33
Tab. 2: Výsledné hodnoty ef. deformací .....	35
Tab. 3: Údajový průběh ochlazování polotovaru 19852 (první kolo kování) .....	41
Tab. 4: Údajový průběh ochlazování polotovaru 19830 (druhé kolo kování) .....	41
Tab. 5: Zvolené parametry broušení/leštění .....	47
Tab. 6: Průměrná hodnota úhlopříček vtisků v závislosti na HV a zatížení 1.961 N.....	63
Tab. 7: Záznam mikrotvrdomosti HV 0,2/HRC ve vztahu k rozložení deformace v podélném řezu vedeného středem vzorku.....	64
Tab. 8 Karbidy v nástrojových ocelích .....	65

## Seznam diagramů

Diagram 1: Grafická Vizualizace teplotního náběhu komor v závislosti na čase .....	37
Diagram 2: Grafická vizualizace průběhu ochlazování polotovaru ČSN 19 852 (první kolo kování).....	42
Diagram 3: Grafická vizualizace průběhu ochlazování polotovaru ČSN 19 830 (druhé kolo kování).....	42
Diagram 4: ARA ČSN 19 852.....	43
Diagram 5: IRA ČSN 19 852 .....	43
Diagram 6: ARA ČSN 19 830.....	43
Diagram 7: IRA ČSN 19 852 .....	43
Diagram 8 Vertikální řez rovnovážným diagramem Fe-C-W-Mo ČSN 19 830 .....	66

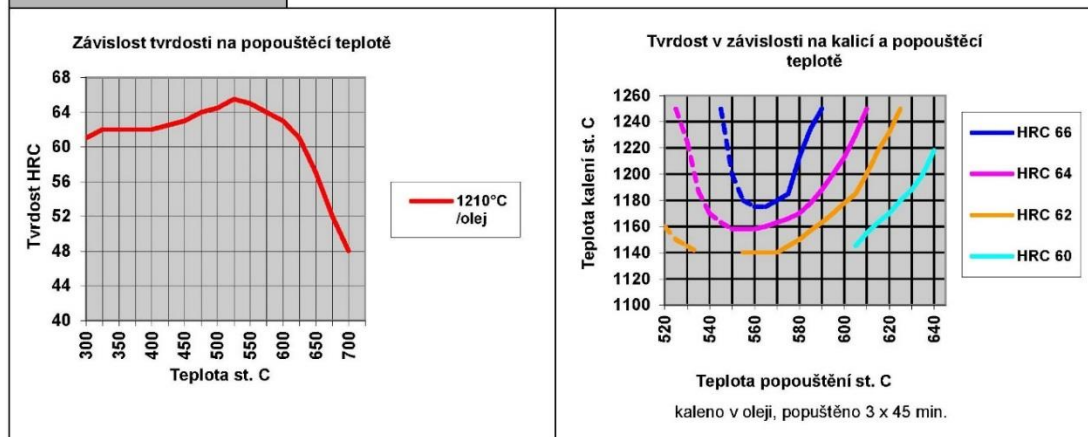
## Grafická část

### Seznam příloh

- Příloha A: Materiálový list ČSN 19830
- Příloha B: Materiálový list ČSN 19830
- Příloha C: Simulace toku materiálu po třetím prodlužování
- Příloha D: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 852, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 50×
- Příloha E: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 852, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 100×
- Příloha F: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 852, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 500×
- Příloha G: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 852, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 50×
- Příloha H: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 852, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 100×
- Příloha I: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 852, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 500×
- Příloha J: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 830, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 50×
- Příloha K: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 830, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 100×
- Příloha L: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 830, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 500×
- Příloha M: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 830, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 50×
- Příloha N: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 830, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 100×
- Příloha O: Mapování strukturních změn, podelný řez vedený osou, ČSN 19 830, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 20), zvětšeno 500×

## Příloha A

HS6-5-2 (HS6-5-2C)														
Rychlořezná molybden-wolfram-vanadová ocel														
Noremní označení	Podle EN ISO 4957			Podle En 10027-2:1992		Podle ČSN								
	HS6-5-2 (HS6-5-2C)			1.3339 (1.3343)		19 830 odpovídá 1.3339								
Charakteristika	Obě varianty se řadí k výkonným rychlořezným ocelím s velkou odolností proti opotřebení a proti popouštění. Ocel HS6-5-2 s nižším obsahem uhlíku je oproti HS6-5-2C houževnatější. HS6-5-2C naproti tomu dosahuje vyšší tvrdosti po kalení a má tudíž zvýšenou odolnost proti opotřebení i při dostatečné houževnatosti.													
Obvyklé použití	Značně namáhané nástroje k obrábění materiálu se střední a vyšší pevností, např. výkonné frézy, vrtáky, závitníky, obráběcí nože na ozubení. HS6-5-2 se používá na nástroje u nichž se vyžaduje vyšší houževnatost. Obě varianty patří k velmi a často používaným rychlořezným ocelím.													
Chemické složení tavby v hmot. % podle ČSN EN ISO 4957	Ocel	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W						
	HS6-5-2	0,80-0,88	≤ 0,45	≤ 0,45	3,80-4,50	4,70-5,20	1,70-2,10	5,90-6,70						
HS6-5-2C	0,86-0,94	≤ 0,45	≤ 0,45	3,80-4,50	4,70-5,20	1,70-2,10	5,90-6,70							
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot. %	Hmotnostní podíl P max. 0,030% a S max. 0,030 %.													
	C <sup>1)</sup>	Si	Mn	Cr	W	Mo	V							
	± 0,03	+ 0,03	+ 0,04	± 0,10	± 0,10	± 0,10	± 0,07							
	Mezní úchytky P + 0,005% a S + 0,005%.													
	<sup>1)</sup> mezní úchytky uhlíku pro ocel HS6-5-2 je ± 0,04%.													
Doporučení pro zpracování	Tvářeni <sup>1)</sup> °C	Žhání na měkko		Kalení <sup>2)</sup> °C	Popouštění <sup>3)</sup> °C	Tvrdost HRC	Tvrdost po popouštění HRC <sup>4)</sup>							
		°C	HB max.				Teplota °C							
	1100-900	780-820	270	1220-1250 1190-1220 1150-1170 1150-1170	540-560 520-550 150-200 560-640	64-66 64-66 63-65 61-54	-	-	-	-	-			
							61	60	59	57	54			
	<sup>1)</sup> ochlazování v peci nebo suchém prostředí s tepelnou izolací;													
	<sup>2)</sup> ochlazovat v solné lázni o teplotě 500-550°C nebo v oleji, popř. v proudu vzduchu.													
	<sup>3)</sup> počet popouštění: teploty v 1. a 2. řádku – 2-3 x; teplota v 3. řádku – 1 x; teplota ve 4. řádku – 3-4 x.													
	<sup>4)</sup> nástroje pro tvářeni, kalené a popouštěné na vyšší teplotu pro docílení větší houževnatosti při nižší tvrdosti.													
Vlastnosti	Fyzikální vlastnosti													
	Modul pružnosti 10 <sup>3</sup> N.m <sup>-2</sup>			Tepelná vodivost W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>			Měrný odpor Ω.mm <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup>			Měrné teplo J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>				
	217			19			0,54			460				
	Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10 <sup>-6</sup> m.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )													
	100		200		300		400		500		600		700	
	11,5		11,7		12,2		12,4		12,7		13,0		12,9	
Měrná hustota g . cm <sup>-3</sup>														
8,1														



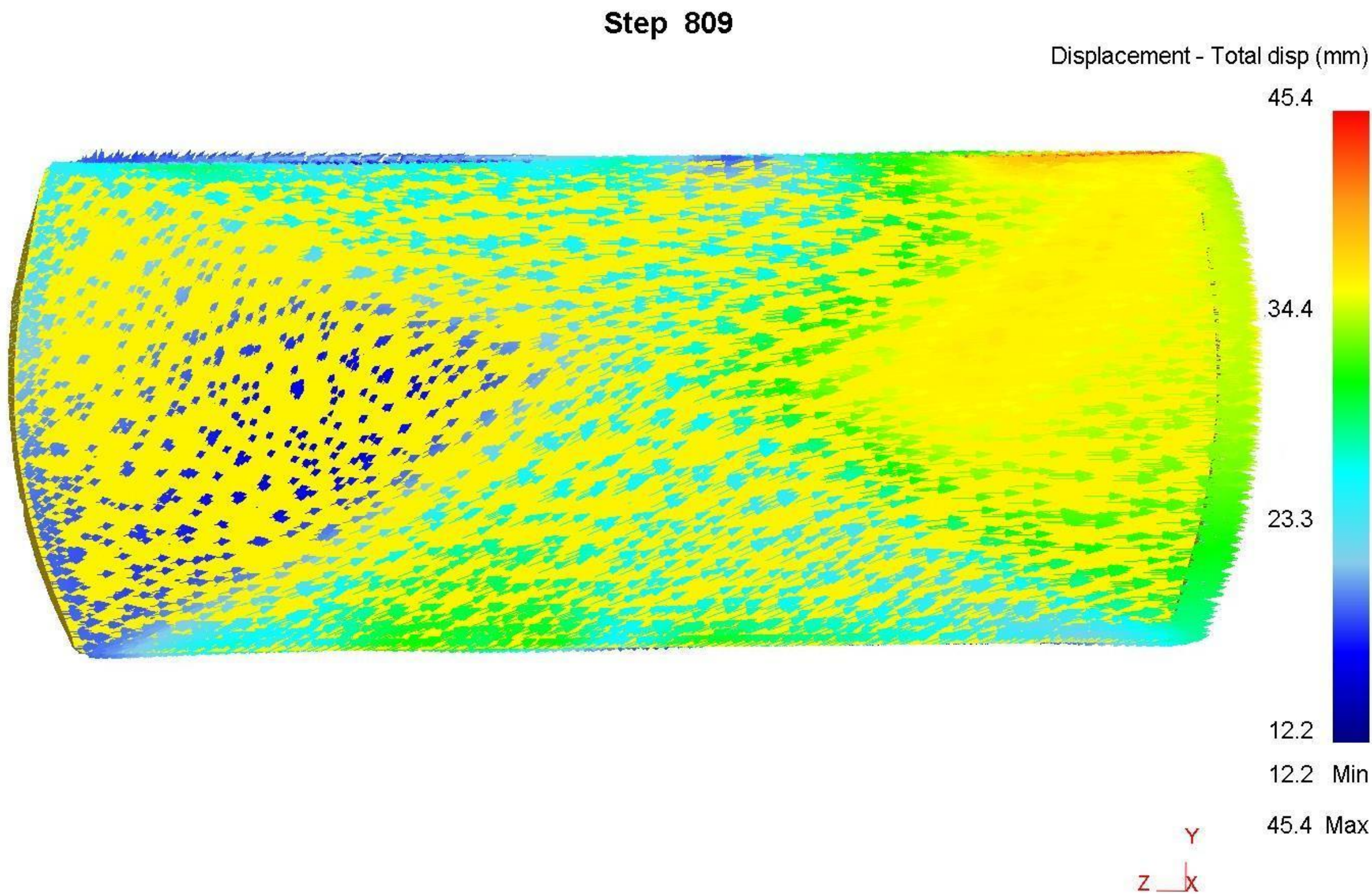
Zdroj: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/nastrojove-oceli-rychlomezne/materialove-listy/materialovy-list-oceli-hs-6-5-2>

## Příloha B

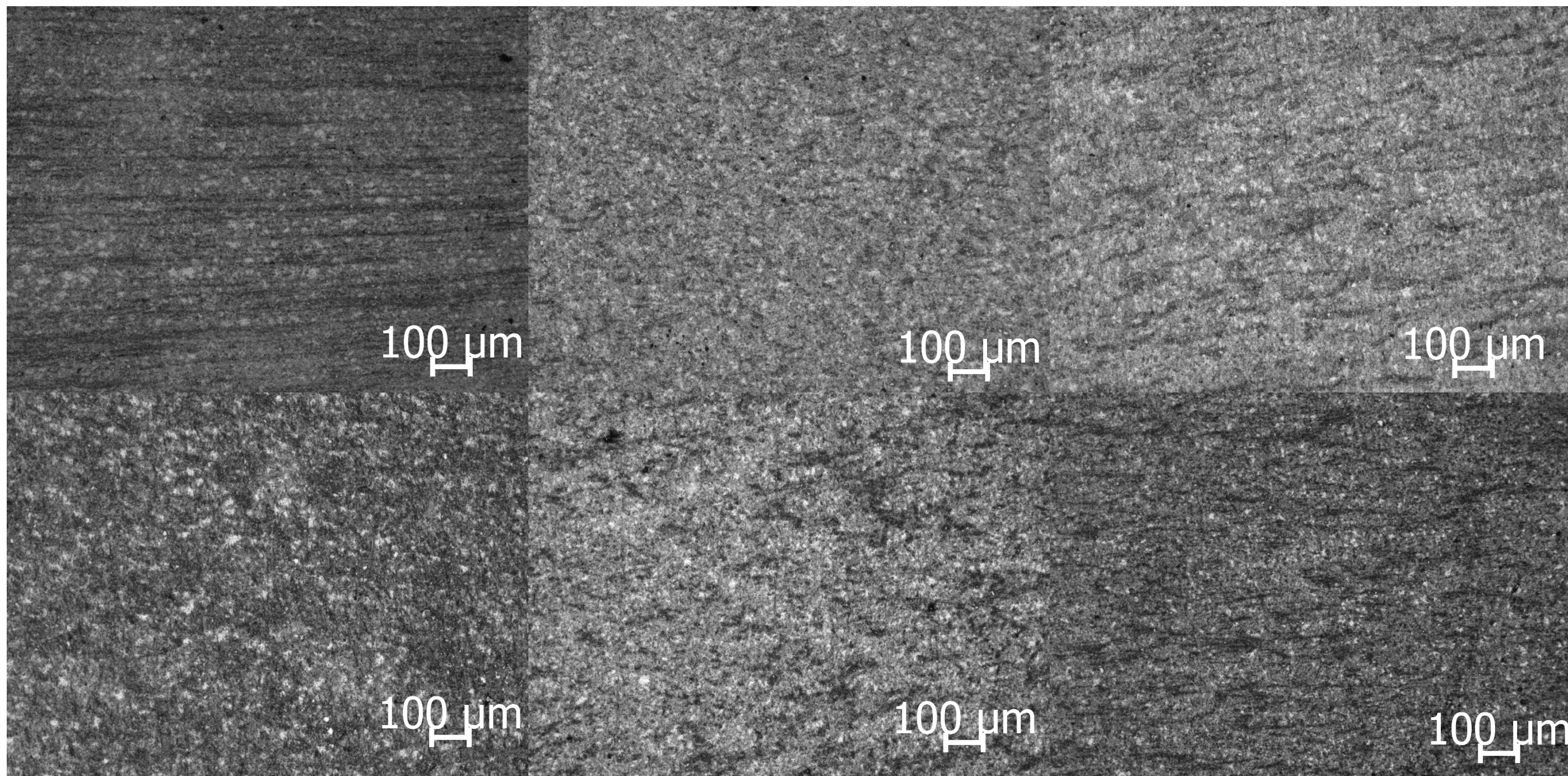
HS6-5-2-5																																																																							
Rychlořezná kobalt-molybden-wolfram-vanadová ocel																																																																							
Noremní označení	Podle EN ISO 4957 HS6-5-2-5	Podle En 10027-2:1992 1.3243	Podle ČSN 19 852																																																																				
Charakteristika	Vysoce výkonná rychlořezná ocel s přísadou 5% kobaltu se zvýšenou tvrdostí při vyšších teplotách a zvýšenou odolností proti popouštění. Při vyšší tvrdosti je i dostatečně houževnatá.																																																																						
Obvyklé použití	Soustružnické a hoblovací nože, určené pro obrábění materiálů o vyšší pevnosti a houževnatosti. Je vhodná i pro obrábění austenitických korozivzdorných ocelí. Frézy, spirálové vrtáky, závitníky a výkonné nástroje pro obrábění dřeva a kompozitních materiálů. Nástroje pro práci za studena.																																																																						
Chemické složení tavby v hmot. % podle ČSN EN ISO 4957	C 0,87-0,95	Si ≤ 0,45	Mn ≤ 0,45	Co 4,50-5,00	Cr 3,80-4,50	Mo 4,70-5,20	V 1,70-2,10	W 5,90-6,70																																																															
Hmotnostní podíl P max. 0,030% a S max. 0,030 %.																																																																							
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot.%	C ± 0,03	Si + 0,03	Mn + 0,04	Co ± 0,10	Cr ± 0,10	Mo ± 0,10	V ± 0,07	W ± 0,10																																																															
Mezní úchytky P + 0,005% a S + 0,005%.																																																																							
Doporučení pro zpracování	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tváření °C<sup>1)</sup></th> <th colspan="2">Žihání na měkko</th> <th rowspan="2">Kalení °C<sup>2)</sup></th> <th rowspan="2">Popouštění °C<sup>3)</sup></th> <th rowspan="2">Tvrdost HRC</th> <th colspan="5">Tvrdost po popouštění HRC</th> </tr> <tr> <th>°C</th> <th>HB max.</th> <th colspan="5">Teplota °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1100-900</td> <td>770-840</td> <td>270</td> <td>1230-1260 1200-1230</td> <td>560-580 550-570</td> <td>65-66 65-66</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p><sup>1)</sup> ochlazování v peci nebo suchém prostředí s tepelnou izolací; <sup>2)</sup> ochlazovat v solné lázni o teplotě 500-550°C nebo v oleji, popř. v proudě vzduchu. <sup>3)</sup> počet popouštění: teploty v 1. a 2. řádce – 3-4 x;</p>							Tváření °C <sup>1)</sup>	Žihání na měkko		Kalení °C <sup>2)</sup>	Popouštění °C <sup>3)</sup>	Tvrdost HRC	Tvrdost po popouštění HRC					°C	HB max.	Teplota °C					1100-900	770-840	270	1230-1260 1200-1230	560-580 550-570	65-66 65-66	-	-	-	-	-																																			
Tváření °C <sup>1)</sup>	Žihání na měkko		Kalení °C <sup>2)</sup>	Popouštění °C <sup>3)</sup>	Tvrdost HRC	Tvrdost po popouštění HRC																																																																	
	°C	HB max.				Teplota °C																																																																	
1100-900	770-840	270	1230-1260 1200-1230	560-580 550-570	65-66 65-66	-	-	-	-	-																																																													
Vlastnosti	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">Fyzikální vlastnosti</th> </tr> <tr> <th>Modul pružnosti 10<sup>3</sup> N.m<sup>-2</sup></th> <th colspan="3">Tepelná vodivost W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup></th> <th>Měrný odpor Ω.mm<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup></th> <th colspan="3">Měrné teplo J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>217</td> <td colspan="3">19</td> <td>0,60</td> <td colspan="3">460</td> </tr> <tr> <td colspan="8">Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10<sup>-6</sup>m.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> <td>600</td> <td>700</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11,5</td> <td>11,7</td> <td>12,2</td> <td>12,4</td> <td>12,7</td> <td>13,0</td> <td>12,9</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8">Měrná hustota g . cm<sup>-3</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="8">8,1</td> </tr> </tbody> </table>							Fyzikální vlastnosti								Modul pružnosti 10 <sup>3</sup> N.m <sup>-2</sup>	Tepelná vodivost W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>			Měrný odpor Ω.mm <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup>	Měrné teplo J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>			217	19			0,60	460			Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10 <sup>-6</sup> m.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )								100	200	300	400	500	600	700		11,5	11,7	12,2	12,4	12,7	13,0	12,9		Měrná hustota g . cm <sup>-3</sup>								8,1							
Fyzikální vlastnosti																																																																							
Modul pružnosti 10 <sup>3</sup> N.m <sup>-2</sup>	Tepelná vodivost W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>			Měrný odpor Ω.mm <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup>	Měrné teplo J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>																																																																		
217	19			0,60	460																																																																		
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10 <sup>-6</sup> m.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )																																																																							
100	200	300	400	500	600	700																																																																	
11,5	11,7	12,2	12,4	12,7	13,0	12,9																																																																	
Měrná hustota g . cm <sup>-3</sup>																																																																							
8,1																																																																							
<p>Závislost tvrdosti na popouštěcí teplotě</p>				<p>Tvrdost v závislosti na kalici a popouštěcí teplotě</p>																																																																			

Zdroj: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/nastrojove-oceli-rychlorezne/materialove-listy/materialovy-list-oceli-hs-6-5-2-5>

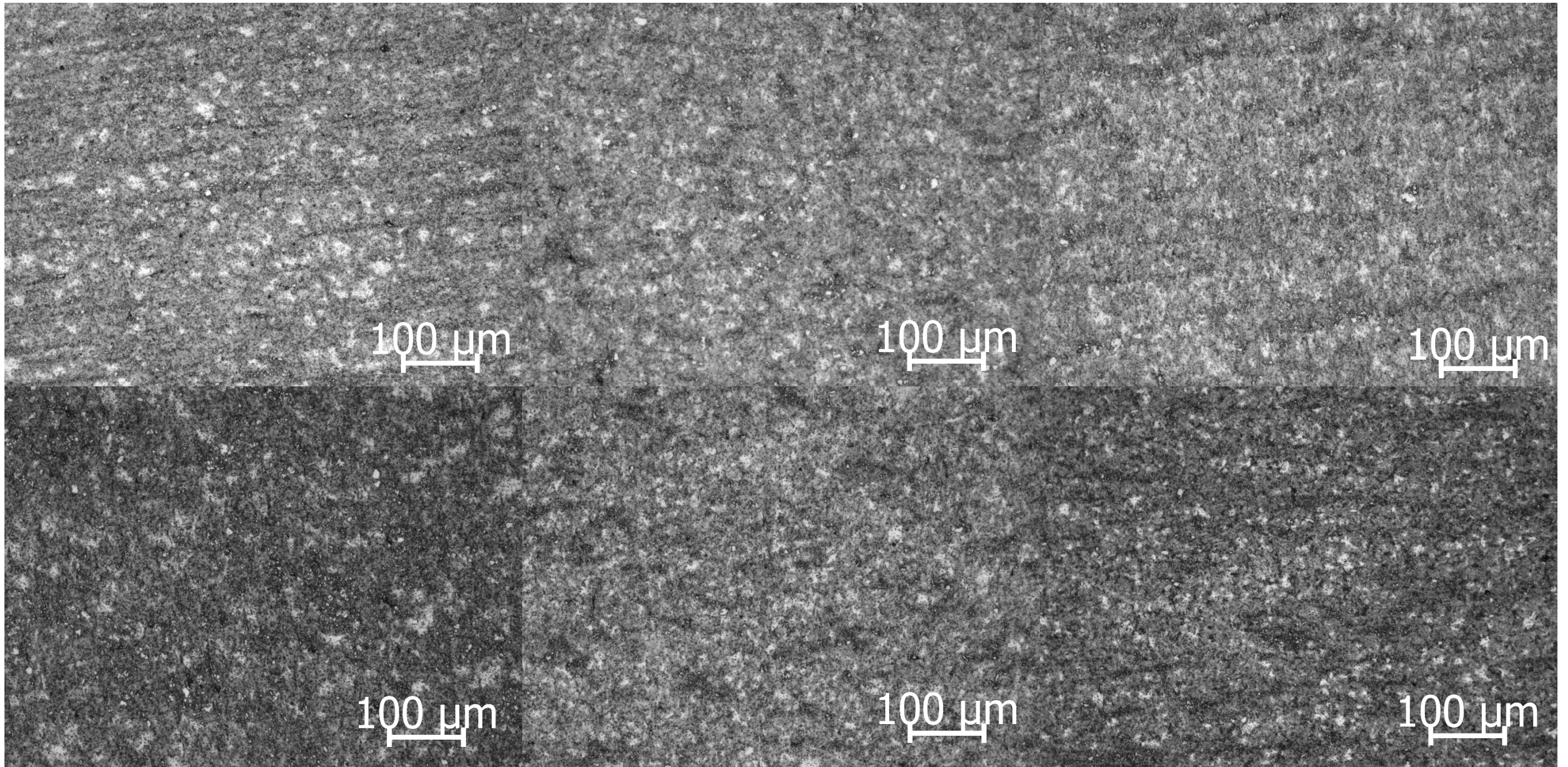
### Příloha C: Simulace toku materiálu po třetím prodlužování



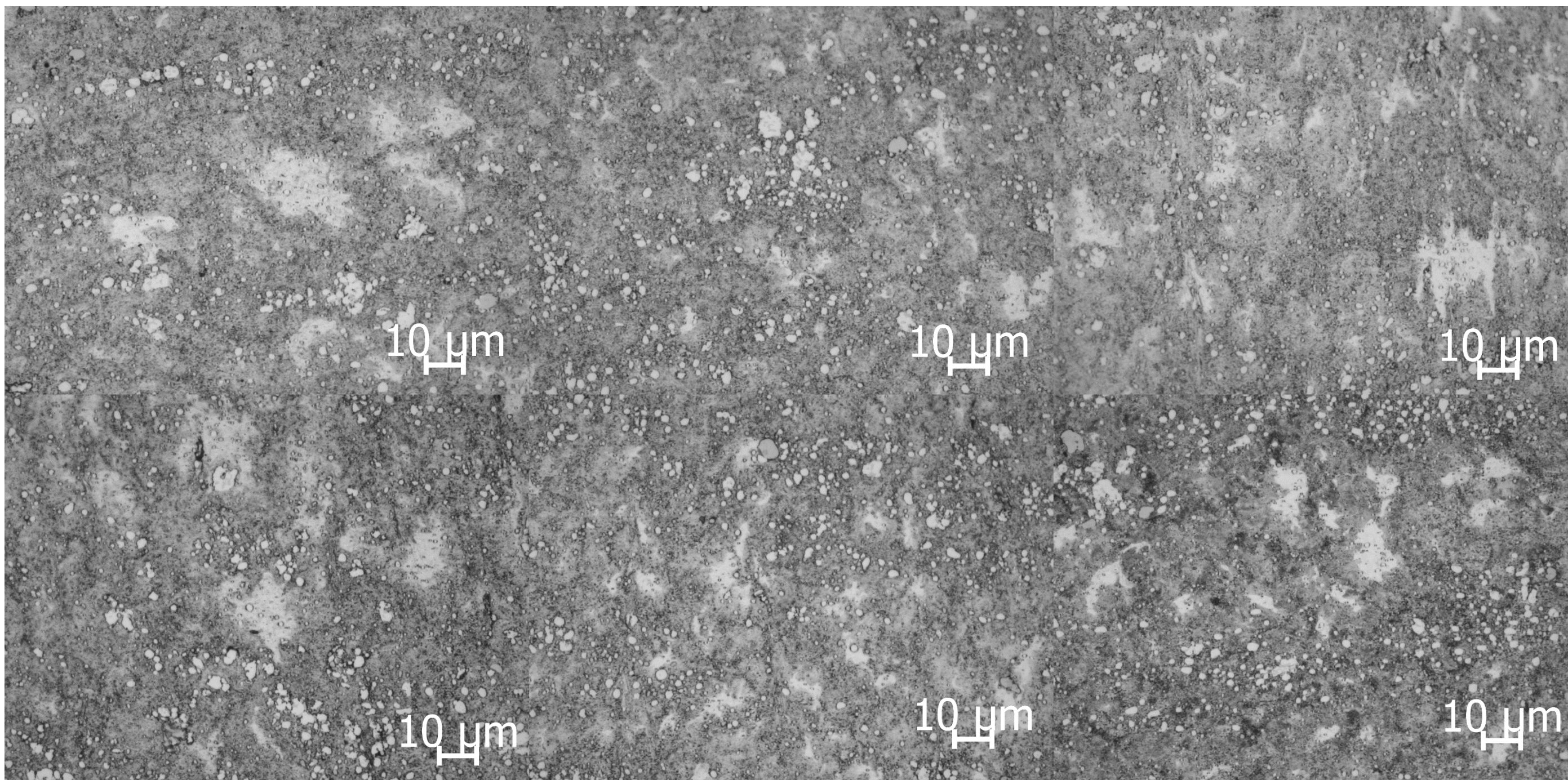
**Příloha D: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 852, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 50×**



**Příloha E: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 852, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 100×**

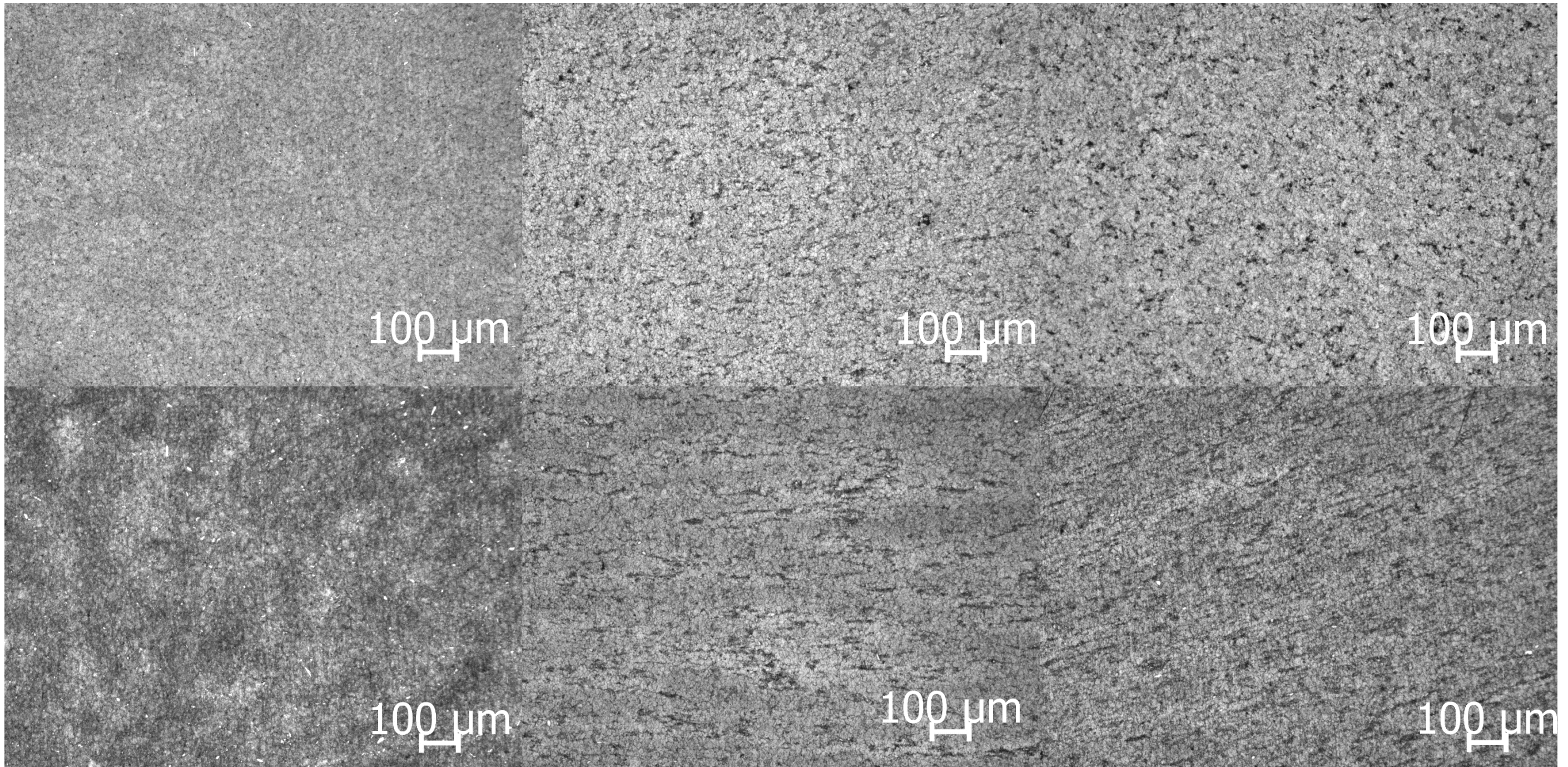


**Příloha F: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 852, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 500×**

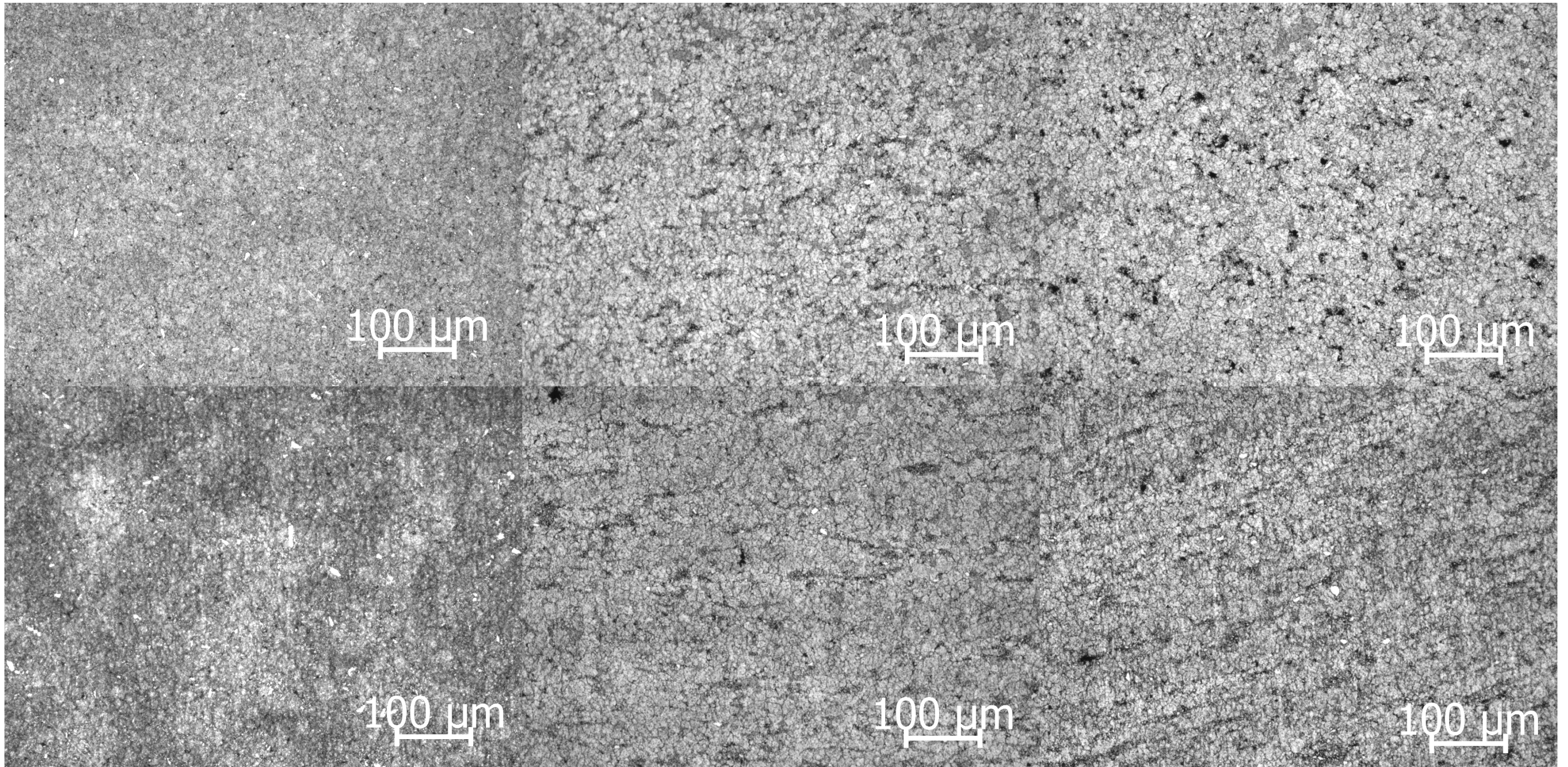




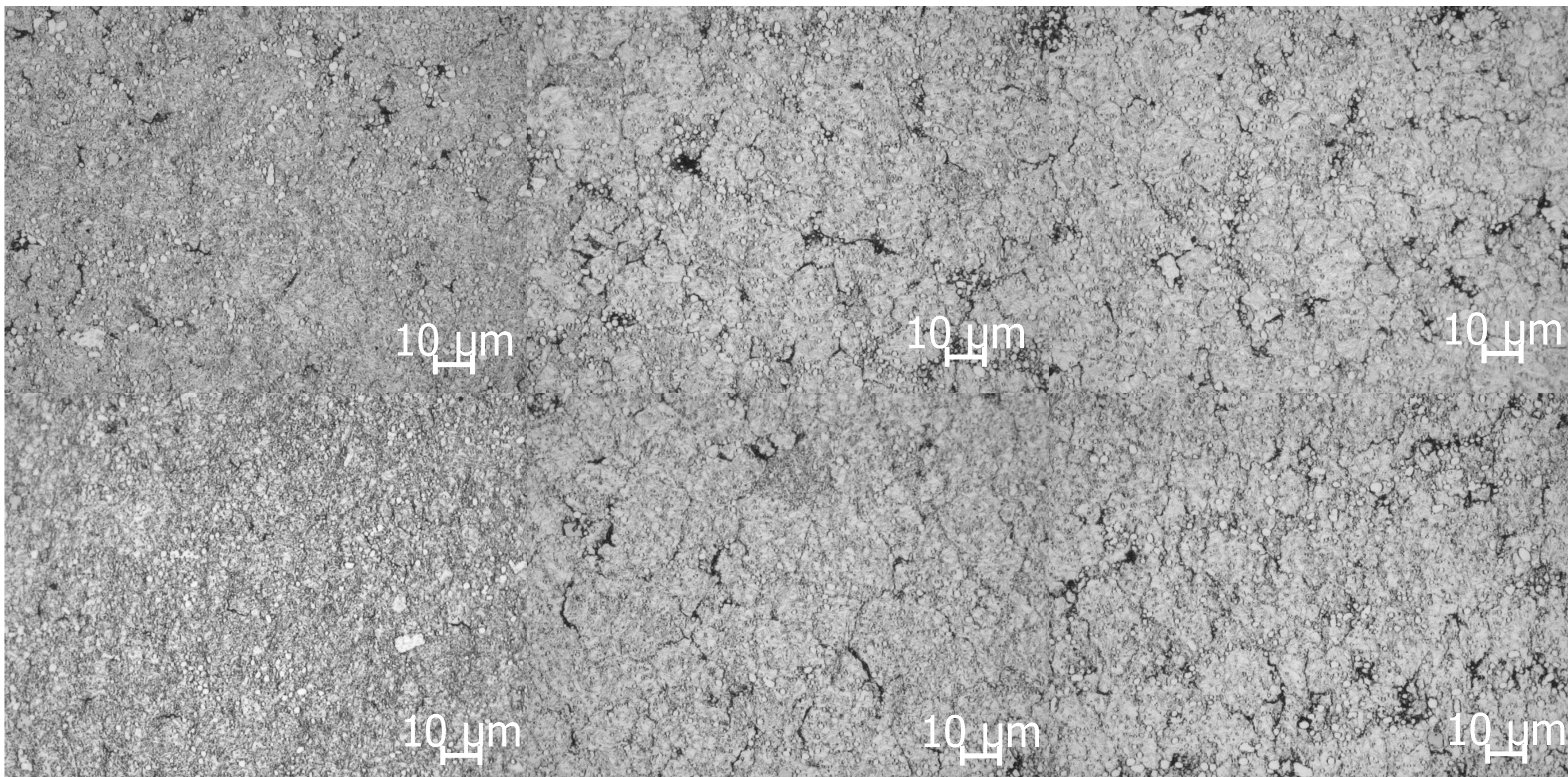
**Příloha G: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 852, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 50×**



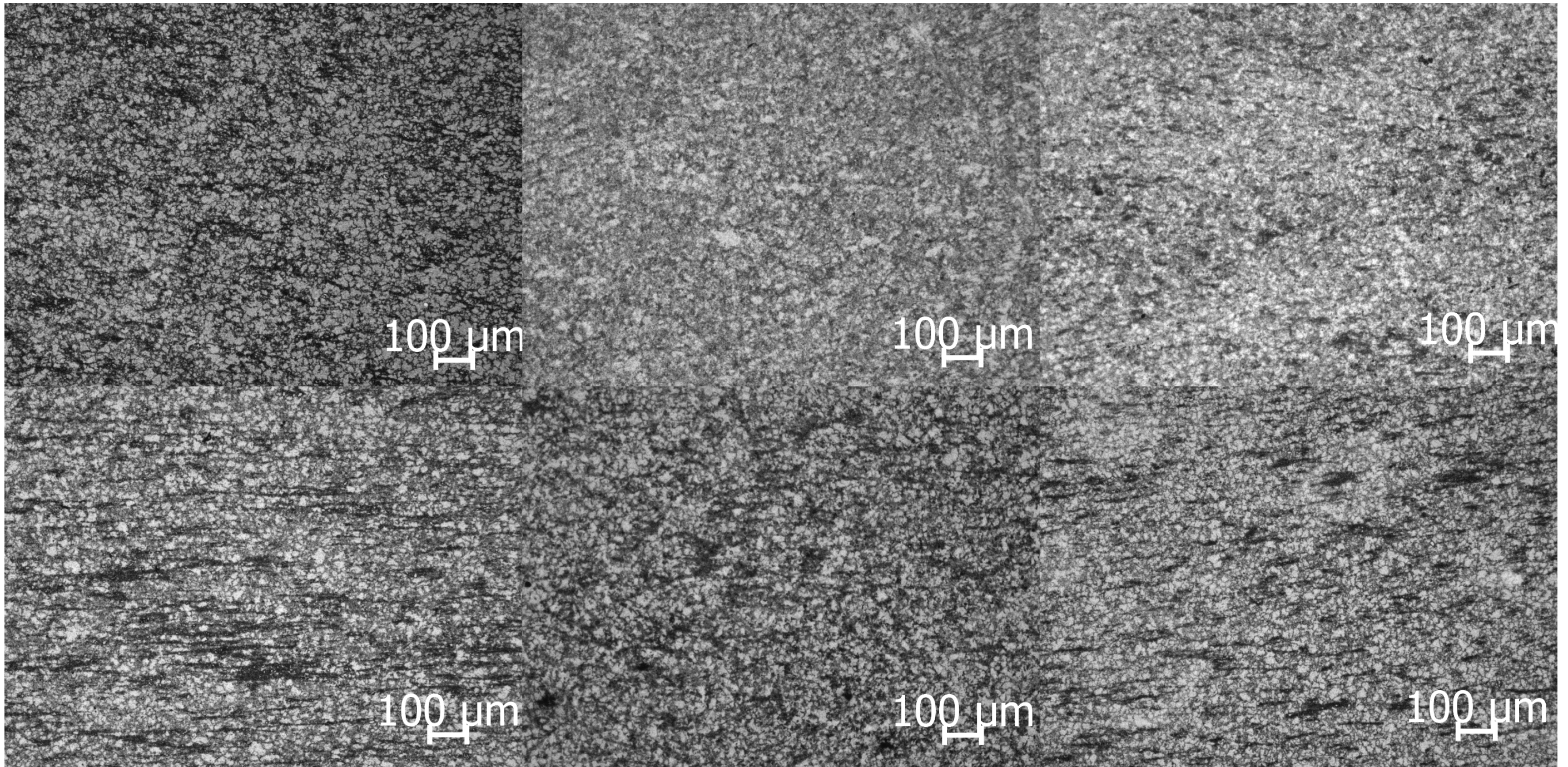
**Příloha H: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 852, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 100×**



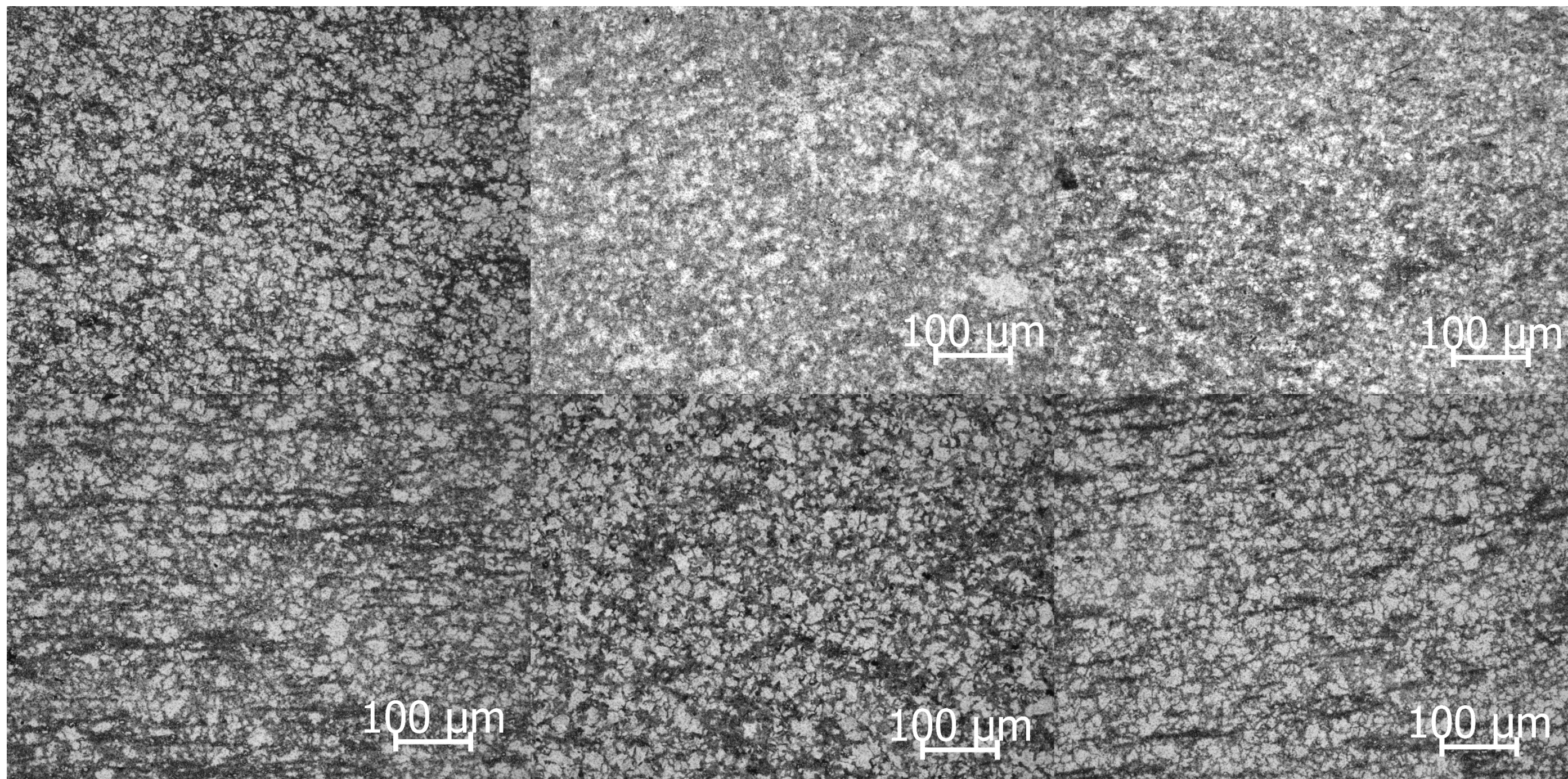
**Příloha I: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 852, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 500×**



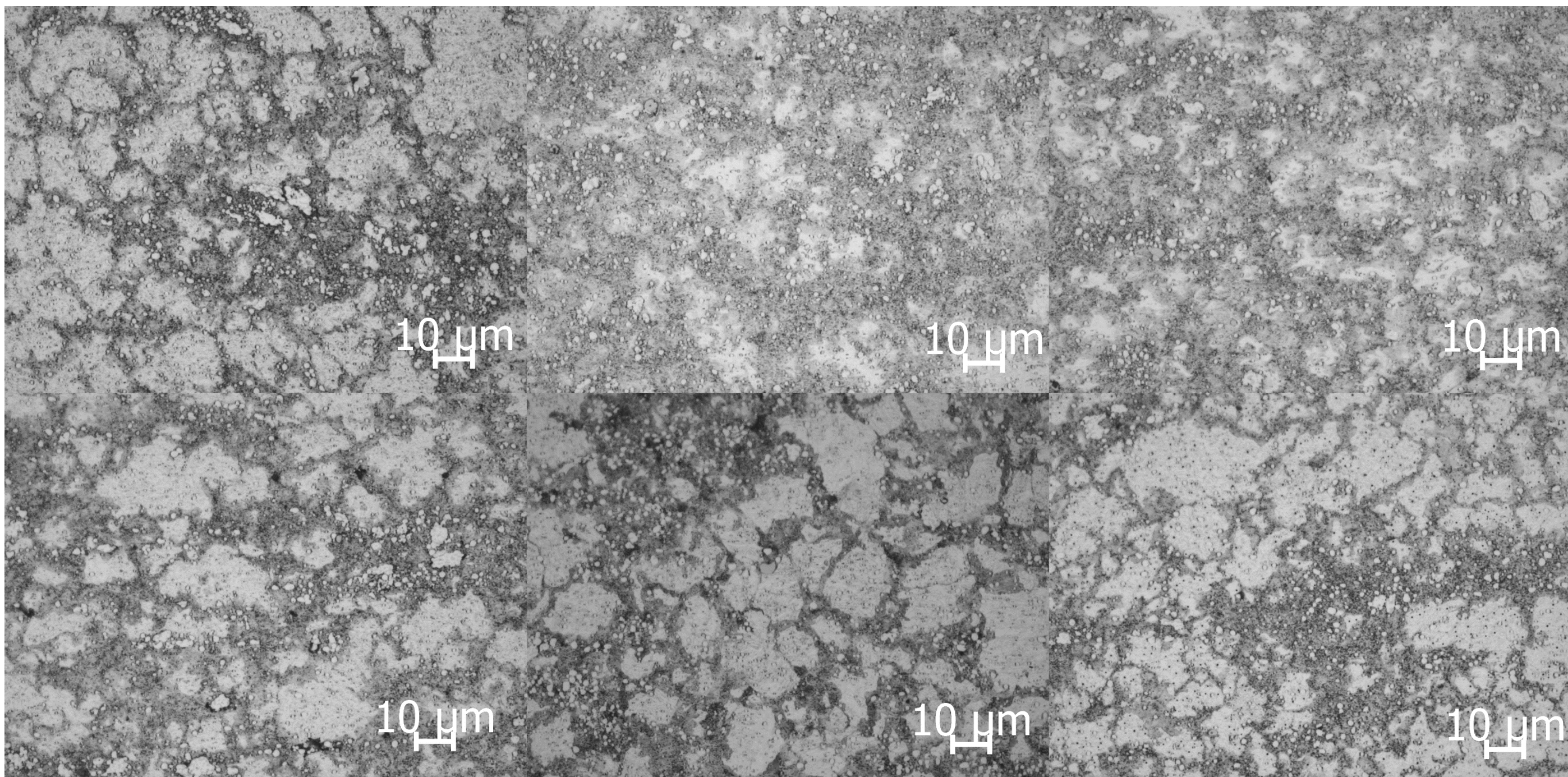
**Příloha J: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 830, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 50×**



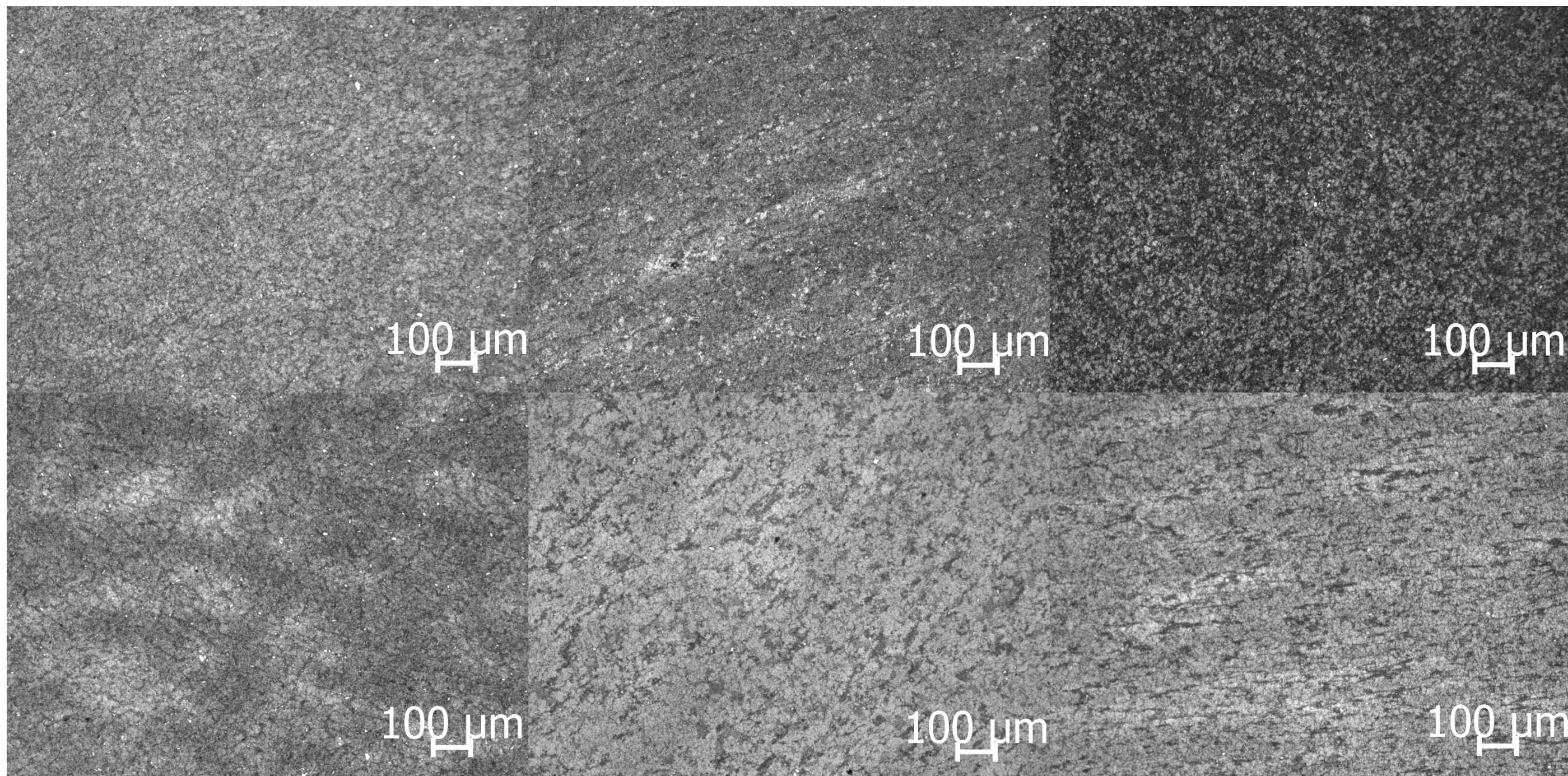
**Příloha K: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 830, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 100×**



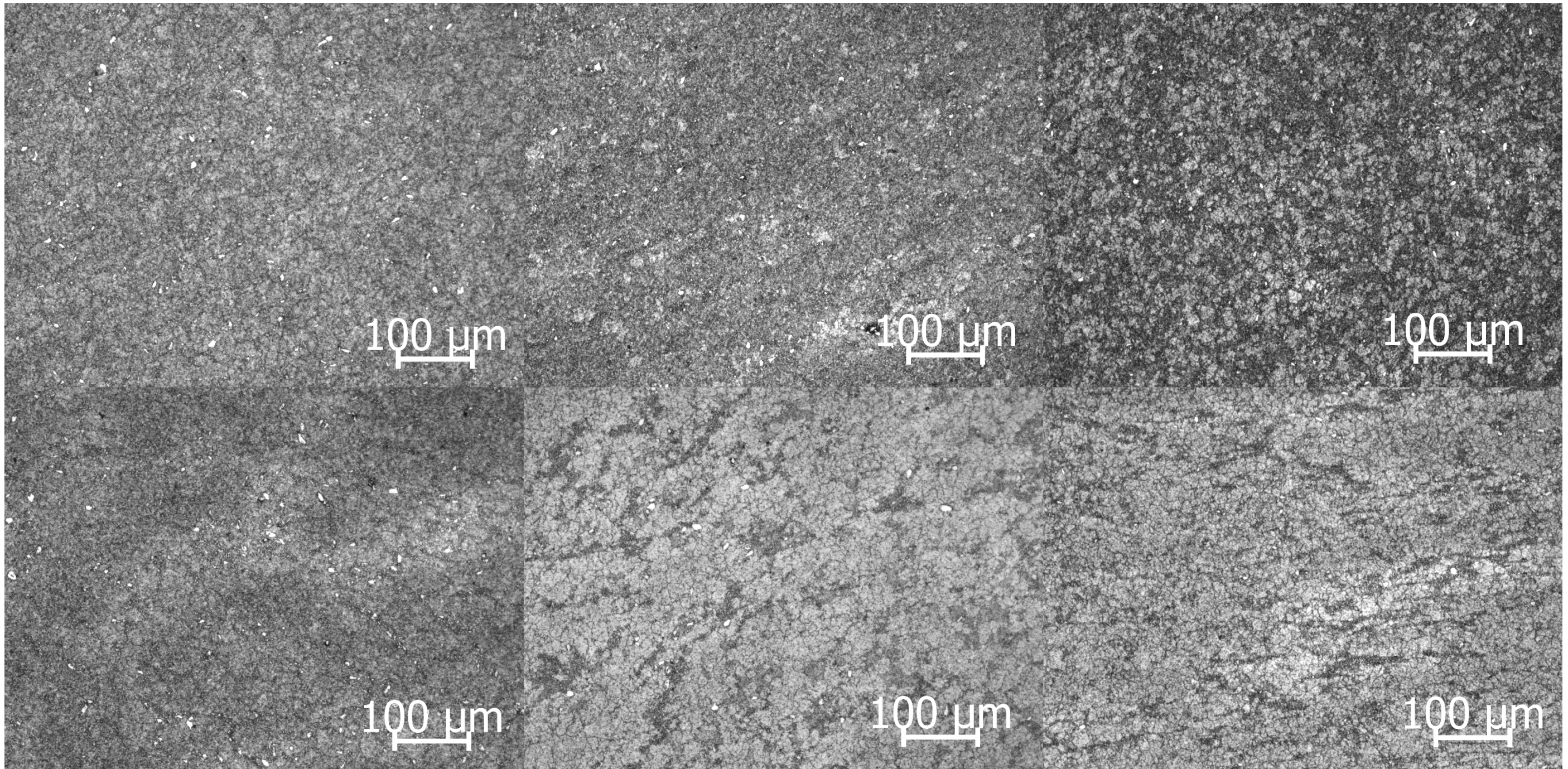
**Příloha L: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 830, 2×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 500×**



**Příloha M: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 830, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 50×**



**Příloha N: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 830, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 100×**





**Příloha O: Mapování strukturních změn, podélný řez vedený osou, ČSN 19 830, 3×pěchováno, pozice 1-6 (viz Obr. 11), zvětšeno 500×**

