

Metodika hodnocení strukturních změn v ocelích při tepelném zpracování

Bc. Pavel Bílek

Ing. Jana Sobotová, Ph.D

Abstrakt

Předložená práce se zabývá volbou metodiky hodnocení strukturních změn ve vysokolegovaných ocelích během austenitizace. Jako modelový materiál byla zvolena ledeburitická ocel Vanadis 6 vyráběná práškovou metalurgií. Na vlastnosti této oceli mají vliv jak stav matrice, tak i vyloučené chromové a vanadové karbidy. S narůstající austenitizační teplotou se uvedené karbidy rozpouštějí, mění se jejich velikost a množství. Struktura oceli byla dokumentována na řádkovacím elektronovém mikroskopu. Pomocí EDS analýzy byly určeny jednotlivé typy karbidů. Pro stanovení jejich kvantitativních charakteristik bylo nejprve použito ruční a následně softwarové vyhodnocování pomocí programu NIS-Elements.

Cílem práce je popis strukturních změn v dané oceli v závislosti na austenitizační teplotě a určení vhodné metodiky pro vyhodnocování stupně rozpouštění karbidů.

Klíčová slova

Nástrojová ledeburitická ocel, karbidy, řádkovací elektronová mikroskopie, EDS analýza, teplota austenitizace

1. Úvod

Vlastnosti ocelí jsou závislé především na struktuře, tj. na fázovém složení a na tvaru a uspořádání jednotlivých fází. Struktura materiálu je dána chemickým složením, způsobem výroby a tepelným a případně povrchovým zpracováním. Strukturou jsou dále ovlivněny fyzikální a zejména mechanické vlastnosti materiálu.

K průběžné kontrole struktury během výroby a dalšího zpracování materiálu se využívá metalografická analýza, vlastnosti materiálu se pak sledují pomocí mechanických zkoušek. Pro danou práci byla jako modelový materiál zvolena nástrojová ocel ledeburitického typu. U těchto ocelí se kontroluje chemické složení a mikročistota. U mikrostruktury se kontroluje stupeň karbidické řádkovitosti, velikost karbidů, povrchové oduhličení, velikost austenitického zrna po kalení a kalitelnost oceli. Po kalení se kromě tvrdosti kontroluje, zda je struktura tvořena popuštěným martenzitem a určitým, přesně definovaným množstvím nerozpuštěných karbidů. Typ těchto karbidů závisí na typu oceli. U použitého materiálu, Vanadis 6, se jedná o vanadové karbidy MC a chromové M_7C_3 . [1]

2. Vysokolegované nástrojové oceli ledeburitického typu

Vysokolegované oceli obecně obsahují zpravidla více než 10% legujících prvků a velmi často i vyšší obsah uhlíku. Do této skupiny patří řada materiálů, používaných na nejvíce namáhané nástroje a rovněž v případech, kdy je nutné zajistit rozměrovou stabilitu výroby. [1]

Vysvětlení pojmu „ocel ledeburitického typu“ pak vychází ze skutečnosti, že většina legujících prvků v těchto materiálech jsou prvky, které rozšiřují oblast existence feritu a zmenšují oblast austenitu. V důsledku toho se eutektoidní bod v diagramu železo – karbid železa a stejně tak bod maximální rozpustnosti uhlíku v austenitu posouvají k nižším hodnotám obsahů uhlíku. Jedním z takto působících prvků a současně nejdůležitější legurou ledeburitických ocelí je chrom.

Při 13 %Cr je maximální rozpustnost uhlíku v austenitu méně než 1% a při vyšším obsahu uhlíku je již ve struktuře přítomná eutektická strukturní složka. Ale i při nižších koncentracích chrómu je maximální rozpustnost uhlíku v austenitu ve srovnání s diagramem Fe-Fe₃C významně omezená, takže materiály s nižším obsahem uhlíku než 2.11 % mohou patřit do skupiny ledeburitických ocelí.

Uvedené změny v rozpustnosti uhlíku v austenitu a posun minimálního obsahu uhlíku potřebného pro výskyt eutektické strukturní složky k nižším hodnotám zapříčiňují, že i ve struktuře materiálů s obsahem uhlíku méně než 1% se vytváří eutektická strukturní složka-ledeburit. Materiály s vysokým obsahem legujících prvků a s výskytem eutektické strukturní složky, již při obsahu uhlíku kolem 0,7-1%C, pak nazýváme ledeburitické oceli. [2]

2.1. Struktura a vlastnosti ledeburitických ocelí

Struktura a vlastnosti ledeburitických ocelí jsou vždy dány charakterem matrice a typem, množstvím, velikostí a rozmístěním karbidů. Úlohy matrice a karbidických fází v procesu výroby, zpracování a používání nástrojů jsou specificky dány. Na druhé straně představují tyto dvě základní strukturní součásti ledeburitických ocelí synergicky fungující celek. V případě nevhodného stavu jednoho či druhého by nástroj nemohl plnit svoji funkci na dostatečné úrovni anebo vůbec ne.

Tvrdość nástrojové oceli je dána superpozicí těchto faktorů. Tedy, za prvé se jedná o tvrdost základní hmoty, tj. matrice, která je vlastně pro tvrdost ocelí rozhodující. Druhým faktorem jsou karbidické fáze. Primárně má však tato strukturní složka na celkovou tvrdost oceli vliv menší. Hlavní vliv má na tvrdost tedy stav matrice a z toho vyplývá, že nástrojové oceli musí být před použitím tepelně zpracovány, aby bylo v matici dosaženo martenzitické struktury. Její tvrdost se pak primárně dá regulovat popouštěním v poměrně širokém rozmezí. Vliv karbidů na samotnou tvrdost je pak především zřejmý u vysokolegovaných ledeburitických ocelí, kde jejich precipitace vyvolává tzv. sekundární tvrdost těchto materiálů a nástrojů z nich vyrobených. Přestože je role matrice pro celkovou tvrdost nástroje rozhodující, jsou to právě karbidy, které zajišťují výslednou vysokou tvrdost matrice. Během austenitizace se karbidy rozpouští v austenitu, ten je sycen uhlíkem a legujícími prvky a tím matrice získává vysokou tvrdost. Proto je velmi důležité chápat oceli ledeburitického typu jako „pseudokompozitní“ materiál, složený z karbidů a matrice, které synergickým efektem přispívají k dosažení požadovaných vlastností nástroje.

Houževnatost, tj. odolnost proti iniciaci křehkého porušení materiálu, je ovlivněna řadou faktorů. Zejména se jedná o chemické složení oceli a způsob výroby a s tím spojenou homogenitu a izotropii materiálu. Dalšími faktory jsou čistota a mikročistota. Následně pak houževnatost těchto materiálů ovlivňuje tepelné zpracování, zejména výše teploty austenitizace, čas prodlevy a teplota popouštění. Houževnatost roste s klesajícím obsahem uhlíku a rovněž se snižující se austenitizační teplotou a tím s jemnějším zrnem. Velmi výrazně houževnatost roste s lepší mikročistotou (tj. nižším obsahem vměstků) oceli. Obecně výrazně lepší houževnatosti mají nástrojové oceli vyráběné práškovou metalurgií ve srovnání s jejich protějšky o stejném chemickém složení, avšak vyrobenými klasickými metalurgickými postupy. Tyto materiály navíc „netrpí“ známou anizotropií mechanických vlastností vlivem tzv. karbidické řádkovitosti, která je typická pro konvenčně vyráběné, tj. lité a tvářené oceli ledeburitického typu, a jejich vlastnosti jsou směrově nezávislé.

Důležitými vlastnostmi nástrojů pro práci za studena je řezivost a odolnost proti otěrům. Obě vlastnosti značně souvisejí s tvrdostí nástroje. Ale tvrdost není jediným kritériem řezivosti, resp. otěruvzdornosti. Velmi významnou roli hraje rovněž struktura, zejména typ, velikost a rozmístění karbidů. Pro oba parametry platí, že jejich výše závisí na obsahu uhlíku a karbidotvorných prvků, zejména těch, které tvoří termicky stabilní a tvrdé karbidy. Tyto

karbidy jsou odolné vůči změnám za vyšších teplot. Jedná se o karbidy vanadu, niobu, titanu, dále pak postupně wolframu, molybdenu, chromu. [1]

2.2. Karbidické fáze ledeburitických ocelí

Základní a typickou legurou všech ocelí ledeburitického typu je chrom, kterého obsahují až 13%. Chrom v těchto ocelích ovlivňuje prokalitelnost a vytváří stabilní a tvrdý karbid M_7C_3 , který způsobuje vysokou otěruvzdornost..

Druhou typickou legurou všech ocelí ledeburitického typu je vanad. Z obvyklých legujících prvků má vanad nejvyšší afinitu k uhlíku a tvoří velmi stabilní karbidy typu MC. Vanad zhoršuje obrobitelnost (v důsledku vzniku velmi tvrdých karbidů) a brousitelnost ocelí. V nástrojových ocelích se vanadu používá zejména z těchto důvodů: zlepšuje prokalitelnost, tvoří velmi tvrdé karbidy zvyšující otěruvzdornost materiálu a zvyšuje odolnost vůči popouštění. V důsledku malých rozměrů karbidických částic a jejich vysoké termické stability jsou oceli s obsahem vanadu odolné vůči růstu zrna a hrubnutí struktury během austenitizace. Tímto si zachovávají do značné míry příznivé hodnoty mechanických vlastností i po kalení z relativně vysokých austenitizačních teplot. V ocelích s přítomností jiných karbidických fází je karbid MC v austenitu prakticky nerozpustný, protože přednostně se rozpouštějí karbidy o nižší termické stabilitě.

Po snížení ceny molybdenu na světovém trhu se tento prvek začal rovněž používat k legování ocelí ledeburitického typu. Obecně zlepšuje prokalitelnost ocelí.

Mezi typické doprovodné prvky jsou zahrnovány mangan a křemík. U ledeburitických ocelí by obsah těchto prvků neměl být vyšší než cca 0.5%. Pouze u speciálních ocelí vyráběných PM postupy jsou obsahy křemíku až kolem 1%.

Karbidické fáze mají rozdílnou termickou stabilitu, a tak zatímco se některé během austenitizace rozpouštějí v tuhém roztoku při relativně nízkých teplotách, jiné se zachovávají v nerozpuštěném stavu až do teploty solidu, případně i výše. Podle toho lze v zásadě rozlišit i úlohu jednotlivých prvků v konkrétní oceli – prvky, obsažené v karbidech o nízké termické stabilitě zvyšují prokalitelnost, tvrdost martenzitu (i celkově tvrdost oceli) a schopnost sekundárního vytvrzování. Prvky, obsažené v karbidech o vysoké tepelné stabilitě (např. vanad) mají vliv zejména na odolnost vůči opotřebení a ovlivňují velikost zrna po tepelném zpracování. [2]

3. Experimentální materiál

Pro danou práci byl použit jako modelový materiál ledeburitická ocel vyráběná práškovou metalurgií - Vanadis 6. Jedná se o materiál na nástroje pro práci za studena. Poskytuje vysokou odolnost proti opotřebení a zároveň dobrou houževnatost. Chemické složení je v tabulce 1.

Tabulka 1. – Typické chemické složení Vanadis 6 [3]

Prvek	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
%	2,1	1,0	0,4	6,8	1,5	5,4

Z tepelného zpracování je u Vanadis 6 vhodné zmínit kalení a popouštění. Vysokolegované oceli mají sníženou tepelnou vodivost, z tohoto důvodu se u nich používá stupňovitý ohřev. Výrobce doporučuje první ohřev na 600-650°C, následuje ohřev na 900-950°C a poté ohřev na austenitizační teplotu. Ta se udává v rozmezí 1000 – 1100°C, obvykle se doporučuje 1050°C. Výdrž na teplotě je 30 minut pro teplotu austenitizace pod 1100°C a nebo 15 minut pro teplotu nad 1100°C. Ochlazování probíhá nejčastěji v inertním plynu (např. dusík) za zvýšeného tlaku. [3]

Typické karbidické fáze v dané oceli:

M_7C_3 – chromový karbid s vyšším obsahem uhlíku. Jeho tvrdost je 1600 - 1800 HV. V chromových ledeburitických ocelích se někdy může nacházet současně s fází $M_{23}C_6$.

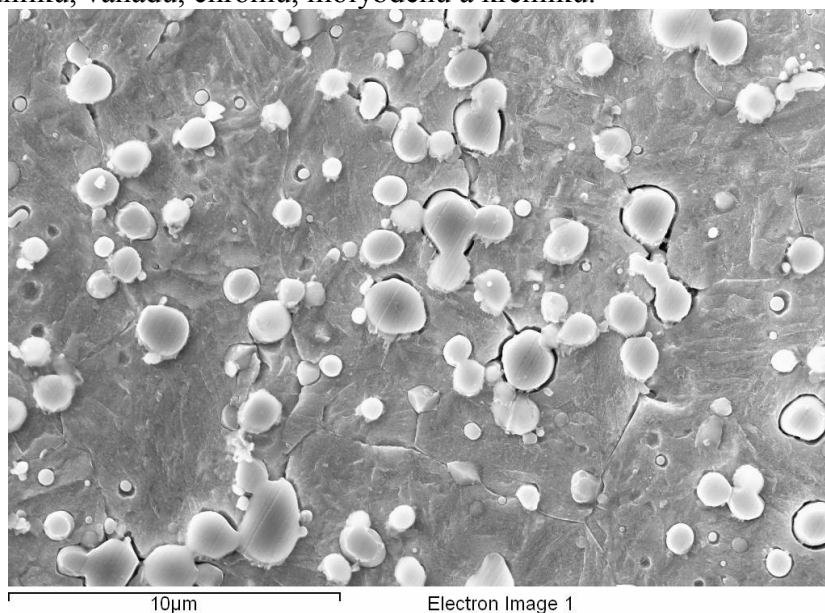
MC – typický karbid ledeburitických ocelí tvořený hlavně vanadem. Jeho tvrdost je až 3000 HV.

PM (ocel vyrobena práškovou metalurgií) ledeburitická ocel Vanadis 6 je ve stavu dodaném od výrobce tvořená perlitem a karbidy MC a M_7C_3 . Její tvrdost je kolem 250 HB (cca 264 HV). Ve stavu kaleném a popuštěném je matrice martenzitická (tvoří ji popuštěný martenzit), a v ní se nacházejí karbidické fáze opět dvojího typu – MC a M_7C_3 . Celkový objemový podíl volně vyloučených karbidů je výrazně nižší, než ve stavu dodaném od výrobce. [2]

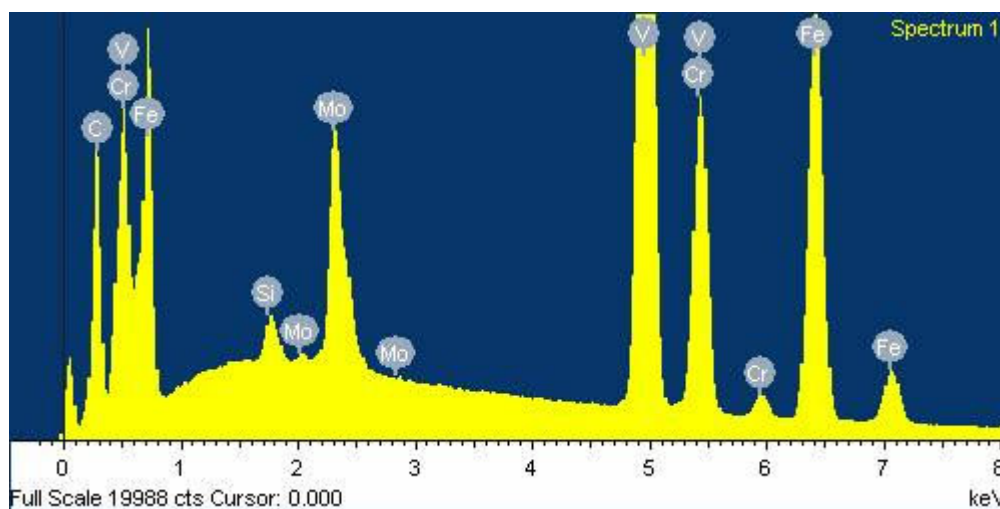
4. Experiment a vyhodnocení

Strukturní změny po tepelném zpracování byly pozorovány pro různé teploty austenitizace: 1000, 1050, 1100 a 1150°C. Všechny vzorky byly tepelně zpracovány, z každé teploty se provedl metalografický výbrus a následně pro zviditelnění struktury a pro pozorování na rastrovacím elektronovém mikroskopu byly naleptány po dobu 1 minuty v 2% roztoku nitalu (kyselina dusičná – HNO_3).

Z každé austenitizační teploty se na daném vzorku provedlo 7 měření. Nejprve se nasnímal obraz a poté se pomocí EDS analýzy provedl rozbor chemického složení v daném obrazu. Výsledkem je spektrum zobrazující intenzitu charakteristického záření na energii. Každému atomu odpovídá určitá energie. Na obrázku 1 je sejmutý obraz vzorku pro austenitizační teplotu 1000°C při zvětšení 5000krát a na obrázku 2 je jeho spektrum. Píky odpovídají intenzitě charakteristického záření jednotlivých atomů. Ve vzorku jsou iniciovány prvky železa, uhlíku, vanadu, chromu, molybdenu a křemíku.



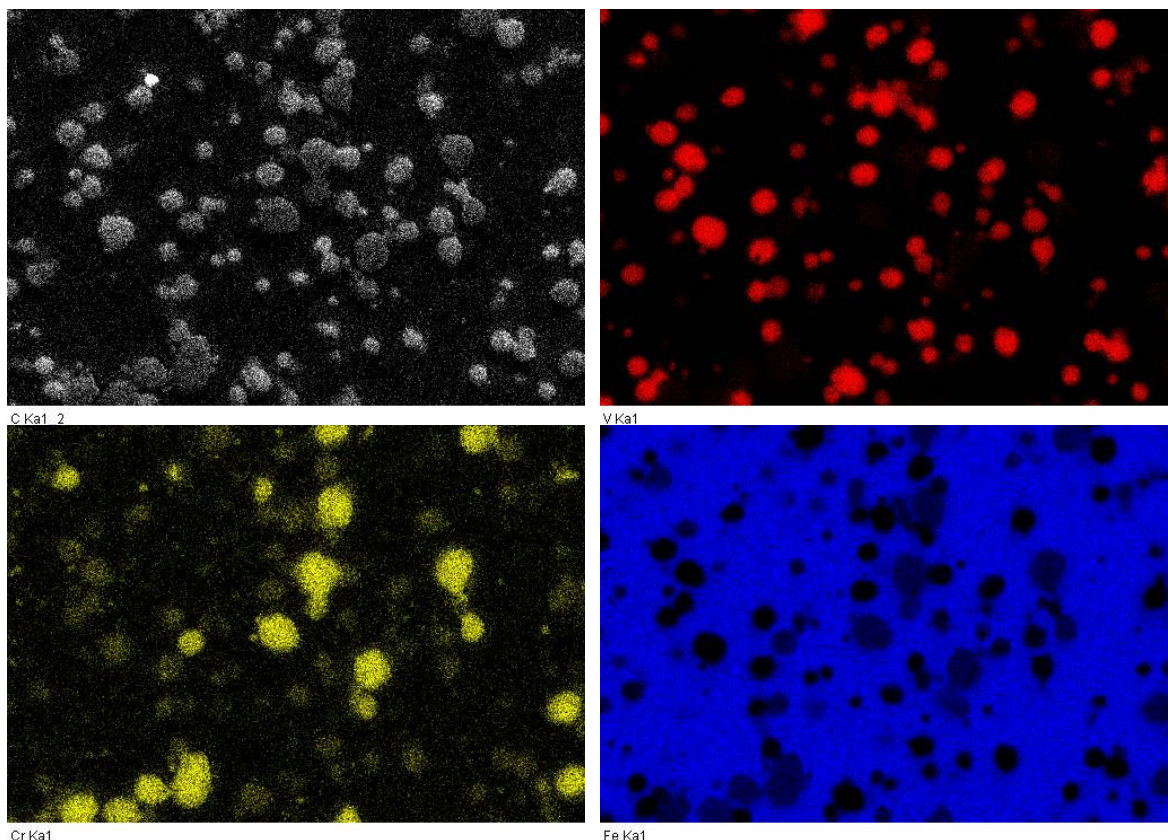
Obr. 1. Struktura oceli pro teplotu austenitizace 1000°C, zvětšení 5000krát.



Obr. 2. Spektrum získané z EDS analýzy.

Pro vybrané chemické prvky, tj. ty které jsou důležité z hlediska vytváření karbidů MC a M_7C_3 , tedy: vanad, chróm, železo a uhlík byla provedena opět EDS analýza jejich rozložení v obrazu. Výsledkem byly mapy zobrazující rozmístění daného prvku. Molybdenu je v dané oceli malé množství, přednostně se vytvářejí karbidy ostatních kovů a molybden se v nich rozpouští. Z toho důvodu se pro vyhodnocování dále neuvažuje. Křemík se v oceli nachází z výroby a pro vyhodnocování karbidů není podstatný.

Na obrázcích 3 až 6 jsou mapy pro teplotu austenitizace 1000°C. Světlejší místa v nich zobrazují vyšší koncentraci daného prvku. Pro lepší orientaci byly jednotlivým prvkům přiřazeny následující barvy. Chróm – žlutá, vanad – červená, železo – modrá a uhlíku byla ponechána bílá barva. Z obrázků je vidět, že uhlík je obsažen v karbidech, ale také je rozpuštěn v matrici. Dále lze popsat, že vanadové karbidy MC obsahují i malé množství chrómu (světle žlutá místa na mapě chrómu odpovídající jasně červeným místům na mapě vanadu) a zároveň v nich není rozpuštěno železo (černá místa na mapě železa). Karbidy M_7C_3 obsahují kromě chrómu i určité množství železa (tmavá místa na mapě železa odpovídající jasně žlutým místům na mapě chrómu).

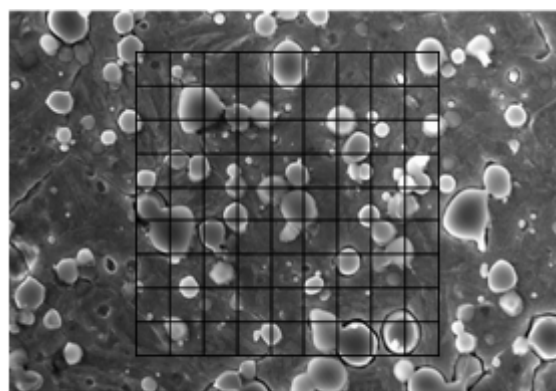


Obr. 3. – 6. Mapy rozložení chemického složení jednotlivých prvků v obr. 1., v pořadí uhlík, vanad, chróm a železo.

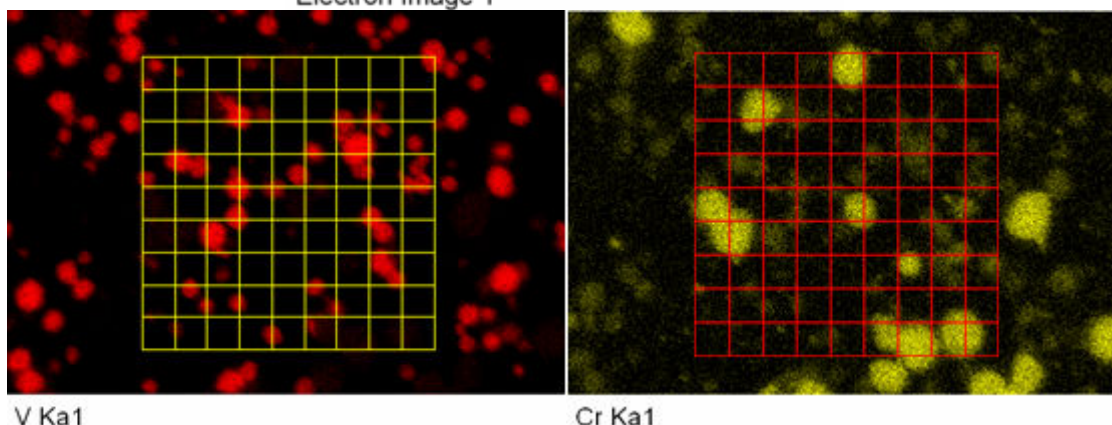
Po získání daných map bylo určováno množství karbidů ve struktuře oceli. Byly použity dvě metody: ruční a počítačové vyhodnocování za pomoci programu NIS-Elements. Na vlastnosti oceli má především vliv rozpouštění chrómu a vanadu do matrice, a proto pro určování karbidů byly důležité pouze jejich mapy. Mapy železe a uhlíku byly snímány pro získání informací o rozložení daných prvků v matrici.

4.1. Ruční vyhodnocování karbidů

Společně s vanadovou a chromovou mapou (obr.4.a 5.) byl pro vyhodnocení použit i základní obraz (obr.1). Na snímky byly v programu Microsoft PowerPoint položeny testovací mřížky (obr.7. – 9) a bodovou analýzou byly stanoven celkový podíl karbidů ve struktuře a podíl chromových a vanadových karbidů ve struktuře. Bylo provedeno 18 měření pro teploty 1000 a 1050°C. Výsledky jsou dokumentovány v tabulce 2.



Electron Image 1



V Ka1

Cr Ka1

Obr. 7. – 9. Ruční měření karbidů pomocí 100 bodové sítě pro vzorek z teploty austenitizace 1000°C.

Tabulka 2. – Výsledky měření karbidů v programu Microsoft PowerPoint.

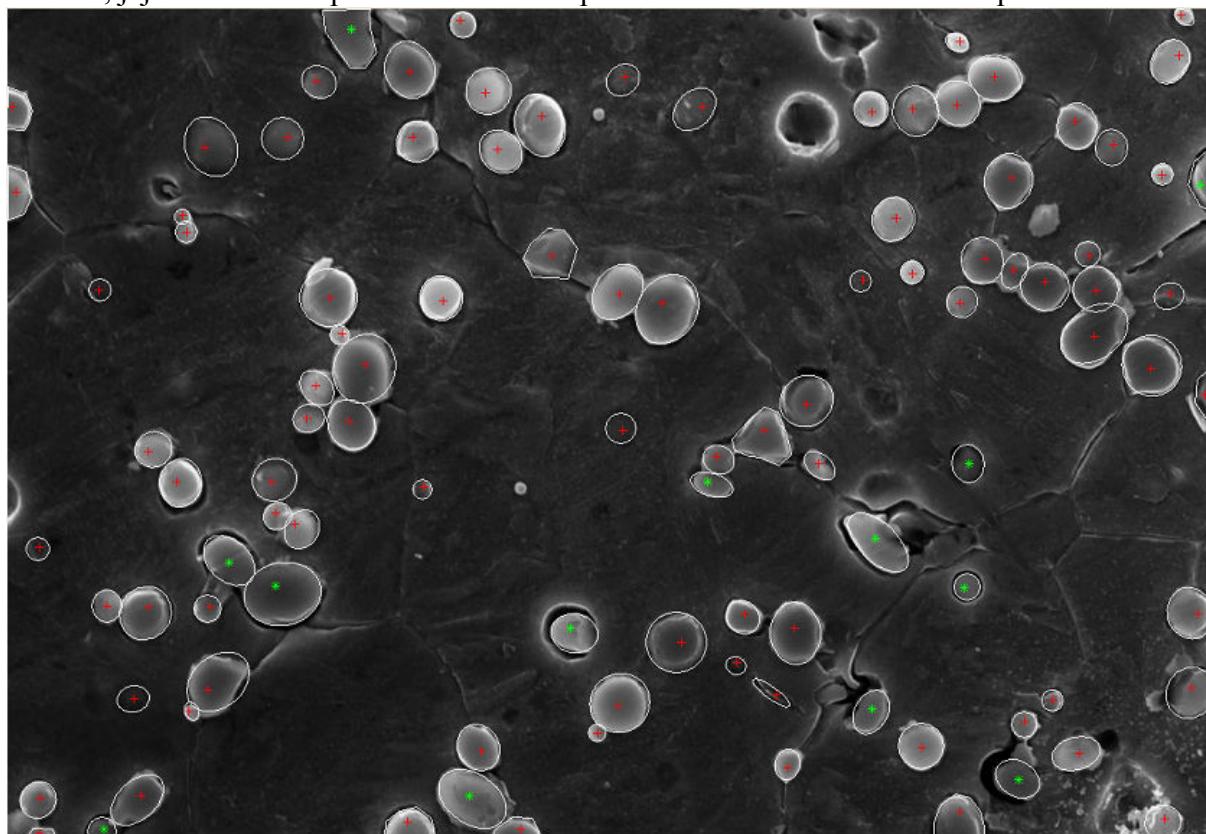
1000°C																			Průměr	Sm. odch.
Obraz	21	20	18	17	20	21	21	20	21	20	21	21	22	20	24	21	23	27	21,0	2,1
V	14	13	14	10	14	15	14	13	14	15	13	12	14	11	15	14	14	18	13,7	1,7
Cr	7	7	4	7	5	6	8	8	6	5	8	8	8	8	10	11	9	9	7,4	1,7
1050°C																				
Obraz	19	18	21	20	18	22	21	23	13	13	18	21	20	18	15	13	16	18	18,2	3,0
V	14	13	14	16	13	13	9	13	10	10	10	14	17	15	13	11	12	12	12,7	2,1
Cr	3	6	4	3	4	4	5	4	2	4	7	7	5	3	2	3	4	5	4,2	1,4

Při tomto postupu bylo zjištěno několik nevýhod. Je problematické rozhodnout, zda započítat karbidy, které se svým krajem těsně dotýkají průsečíku mříže. To se projeví především při vyhodnocování na vanadových a chromových mapách, kde je obtížnější rozpoznatelný okraj karbidů. Další nevýhoda vychází z EDS analýzy. Elektronový paprsek proniká i do určité hloubky pod povrch a v mapách se následně objevují podpovrchové karbidy, které na základním obrazu nejsou patrné. Na základě těchto zkušeností byla pro vyhodnocování podílu katodických částic dále použita druhá metodika.

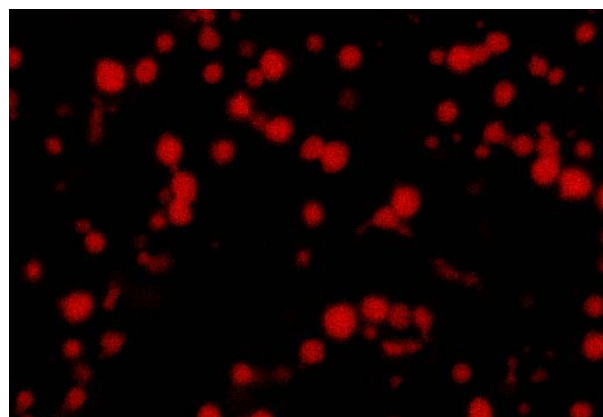
4.2. Vyhodnocování karbidů pomocí programu NIS-Elements

V programu NIS-Elements byl stejně jako v předcházejícím případě použit základní obraz a mapy vanadu a chrómu. Nejprve byly na základním obrazu porovnáním s mapami vanadu a chrómu označeny karbidy vanadu a chrómu. Na obr.10. je příklad takového označení jednotlivých typů karbidů pro teplotu austenitizace 1050°C, červeně jsou vanadové karbidy a zeleně chromové. Na obrázcích 11 a 12 jsou vanadové a chromové mapy nutné pro

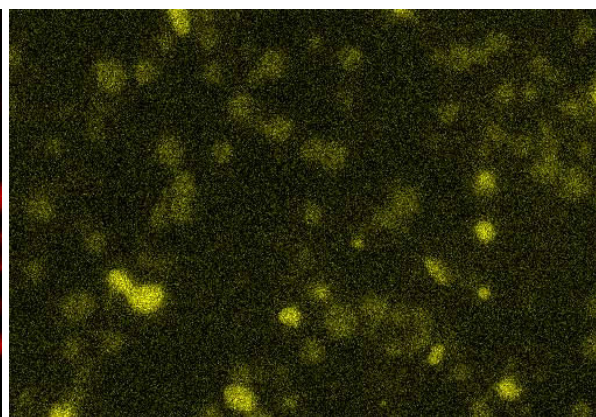
správné určení druhu jednotlivých karbidů. V programu NIS-Elements se pak určoval počet karbidů, jejich velikost a procentuální zastoupení vzhledem k celé zobrazené ploše.



Obr. 10. Vyhodnocení karbidů v programu NIS-Elements, teplota austenitizace 1050°C.



V Ka1



Cr Ka1

Obr. 11. a 12. Mapa vanadu a chromu k obrázku 10.

V porovnání s předešlou metodikou dochází při tomto způsobu k vyhodnocení karbidů pouze na základním obrazu. Je možno konstatovat, že při zpracování v programu NIS-Elements nevzniká problém při určení, zda karbid leží v průsečíku testovací mříže a vyhodnocovány jsou pouze karbidy ležící v rovině výbrusu. Program umožňuje navíc kromě objemového podílu karbidických fází stanovit i jejich velikostní rozdělení.

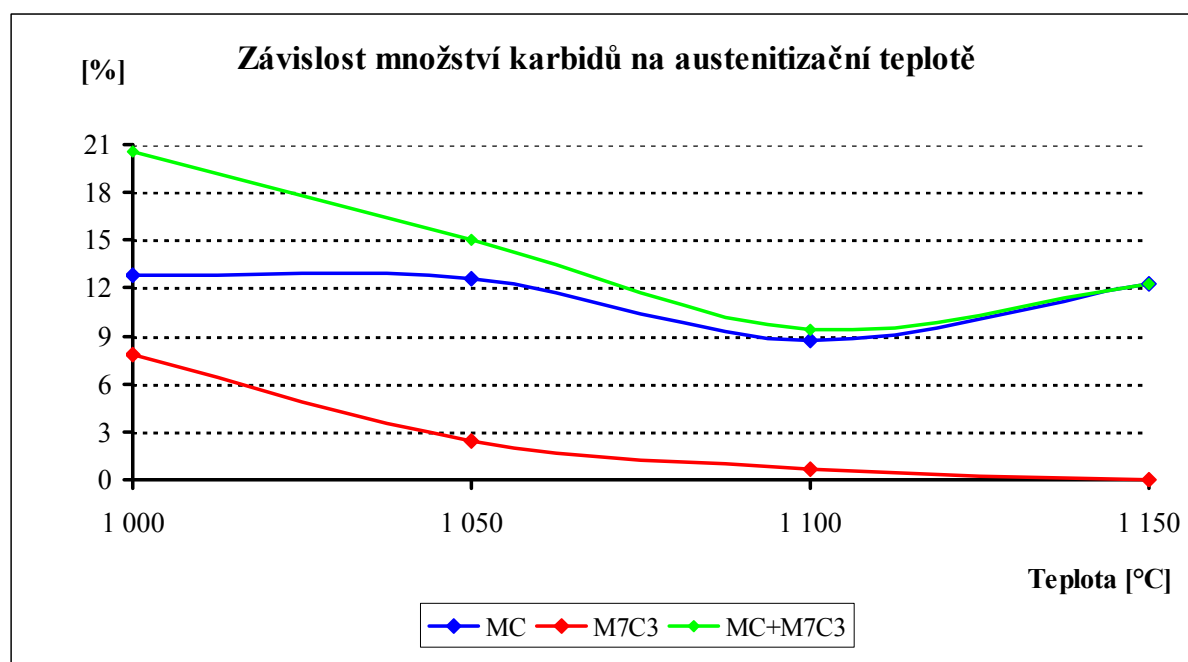
Pomocí této metodiky bylo provedeno měření karbidů pro teploty austenitizace 1000, 1050, 1100 a 1150°C. Na každé teplotě bylo provedeno 7 měření.

4.3. Výsledky a jejich diskuse

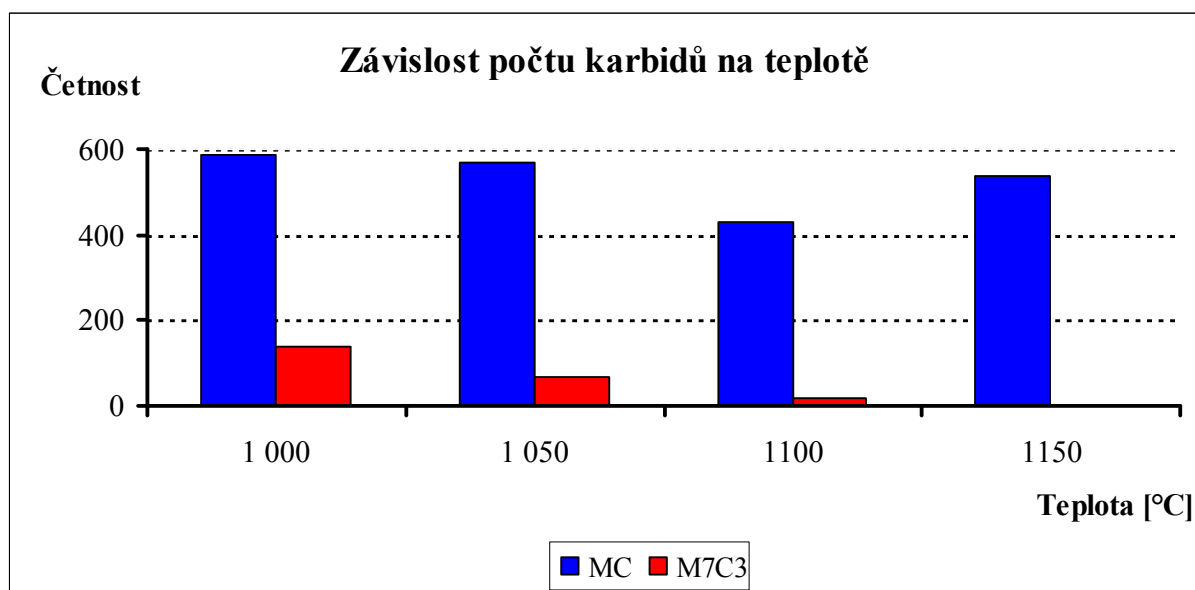
V tabulce 3 jsou výsledky měření podílu karbidů pomocí programu NIS-Elements, obrázky 12 a 13 dokumentují závislost množství karbidů ve struktuře oceli Vanadis 6 na austenitizační teplotě. Je patrné, že s rostoucí austenitizační teplotou se karbidy typu M_7C_3 rozpouštějí a při teplotě 1150°C již nejsou ve struktuře zastoupeny. U karbidu typu MC byl pozorován jen nepatrný pokles zastoupení těchto karbidů ve struktuře. Výjimkou byla teplota 1100°C, kdy byl zaznamenán výrazný pokles, který nemá jasné opodstatnění a bude třeba jej dále ověřit.

Tabulka 3. – Procentuální zastoupení karbidů ve struktuře v závislosti na austenitizační teplotě a celkový počet určených karbidů.

Teplota austenitizace[°C]	1 000	1 050	1 100	1 150
Karbidy vanadu [%]	12,8	12,6	8,8	12,2
Směrodatná odchylka	1,1	1,2	1,0	1,4
Počet	586	568	432	536
Karbidy chromu [%]	7,8	2,5	0,6	0,0
Směrodatná odchylka	2,1	1,0	0,5	0,0
Počet	140	66	19	0
Karbidy celkem [%]	20,6	15,1	9,4	12,2



Obr. 13. Závislost procentuálního zastoupení karbidů na austenitizační teplotě.

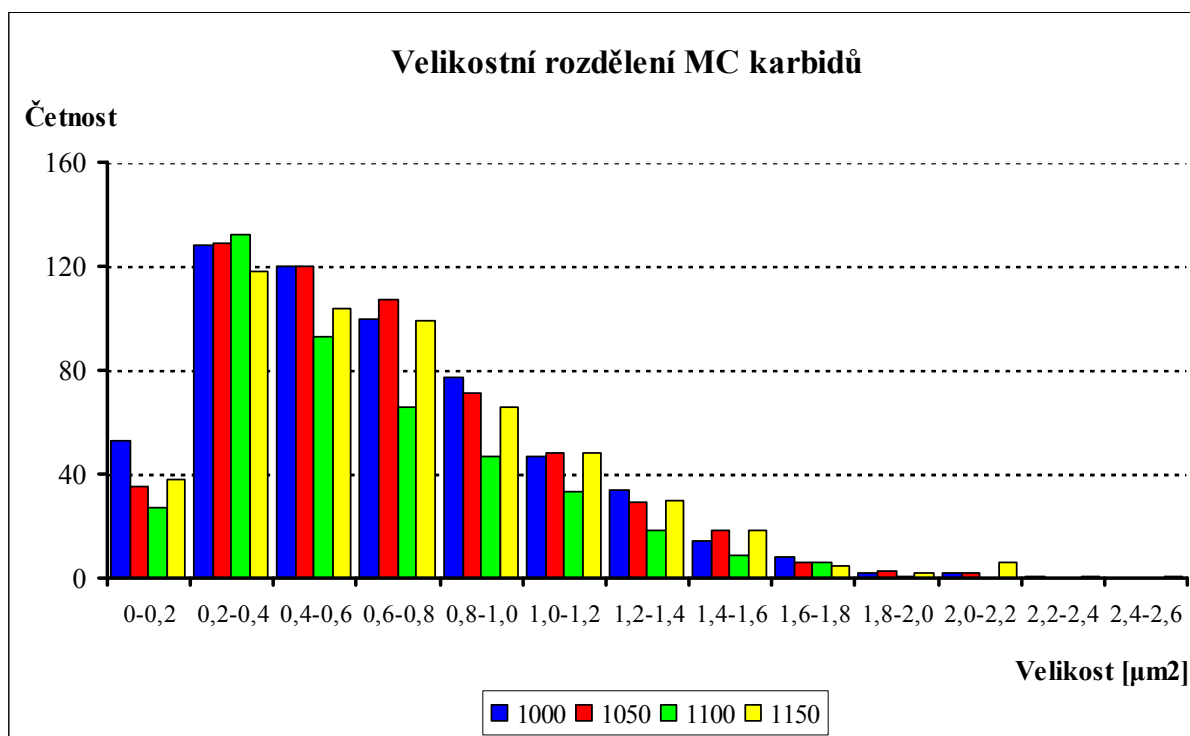


Obr. 14. Počet hodnocených karbidů ve struktuře v závislosti na různé austenitizační teplotě.

Velikostní rozdělení karbidů vanadu v závislosti na austenitizační teplotě je patrné z tabulky 4 a obrázku 15, odpovídající výsledky pro karbidy chrómu jsou v tabulce 5 a na obrázku 16. U karbidů MC se jejich velikost (plocha, kterou v obraze zaujímají) pohybuje do $2,6 \mu\text{m}^2$. Z toho téměř 75 % všech karbidů má velikost v rozmezí $0,2 - 1,0 \mu\text{m}^2$. V závislosti na teplotě austenitizace se jejich rozměry výrazně neliší. Z hlediska četnosti je znatelný pokles pouze u teploty 1100°C . Karbidy M_7C_3 jsou výrazně větší. Jejich rozměry dosahují až $4,8 \mu\text{m}^2$. Z toho téměř 75 % všech karbidů má velikost do $2,0 \mu\text{m}^2$. Z obrázku 15 je ale patrné, že s rostoucí teplotou austenitizace se jejich rozměry zmenšují a zároveň klesá jejich počet, to vše vypovídá o rozpouštění dané fáze do matrice.

Tabulka 4. – Velikostní rozdělení karbidů MC v závislosti na austenitizační teplotě.

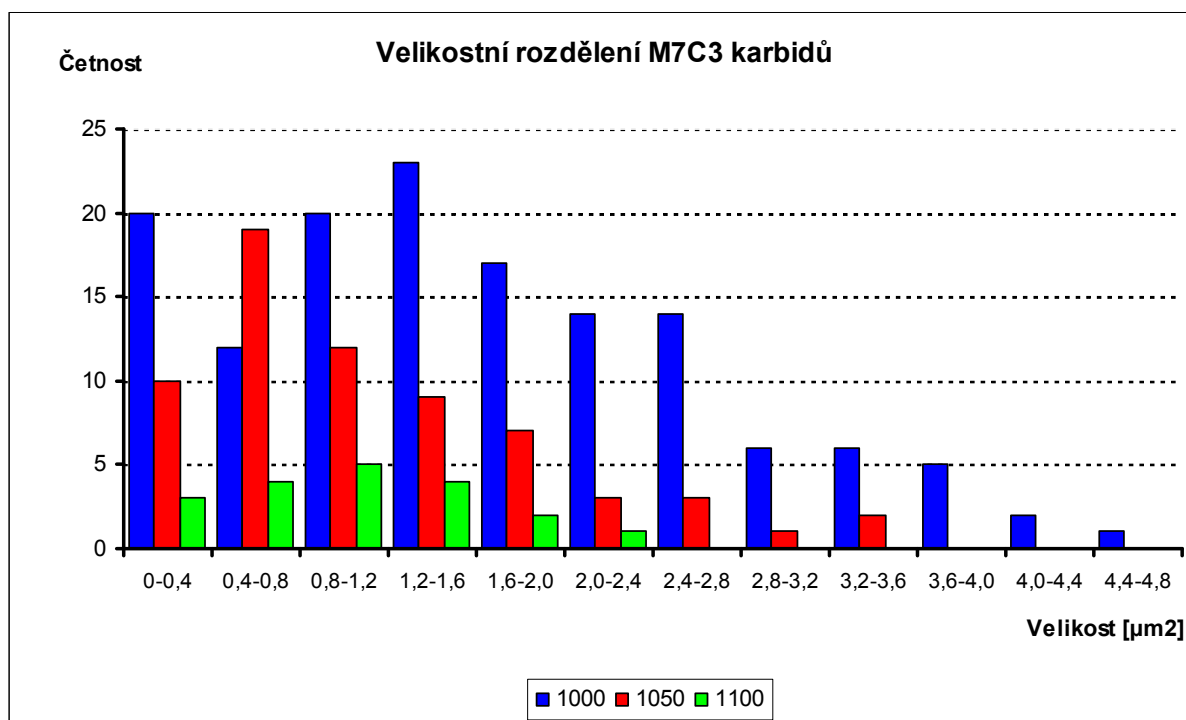
Velikost [μm^2]	1000	1050	1100	1150
0-0,2	53	35	27	38
0,2-0,4	128	129	132	118
0,4-0,6	120	120	93	104
0,6-0,8	100	107	66	99
0,8-1,0	77	71	47	66
1,0-1,2	47	48	33	48
1,2-1,4	34	29	18	30
1,4-1,6	14	18	9	18
1,6-1,8	8	6	6	5
1,8-2,0	2	3	1	2
2,0-2,2	2	2	0	6
2,2-2,4	1	0	0	1
2,4-2,6	0	0	0	1



Obr. 15. Velikostní rozdělení MC karbidů v závislosti na austenitizační teplotě.

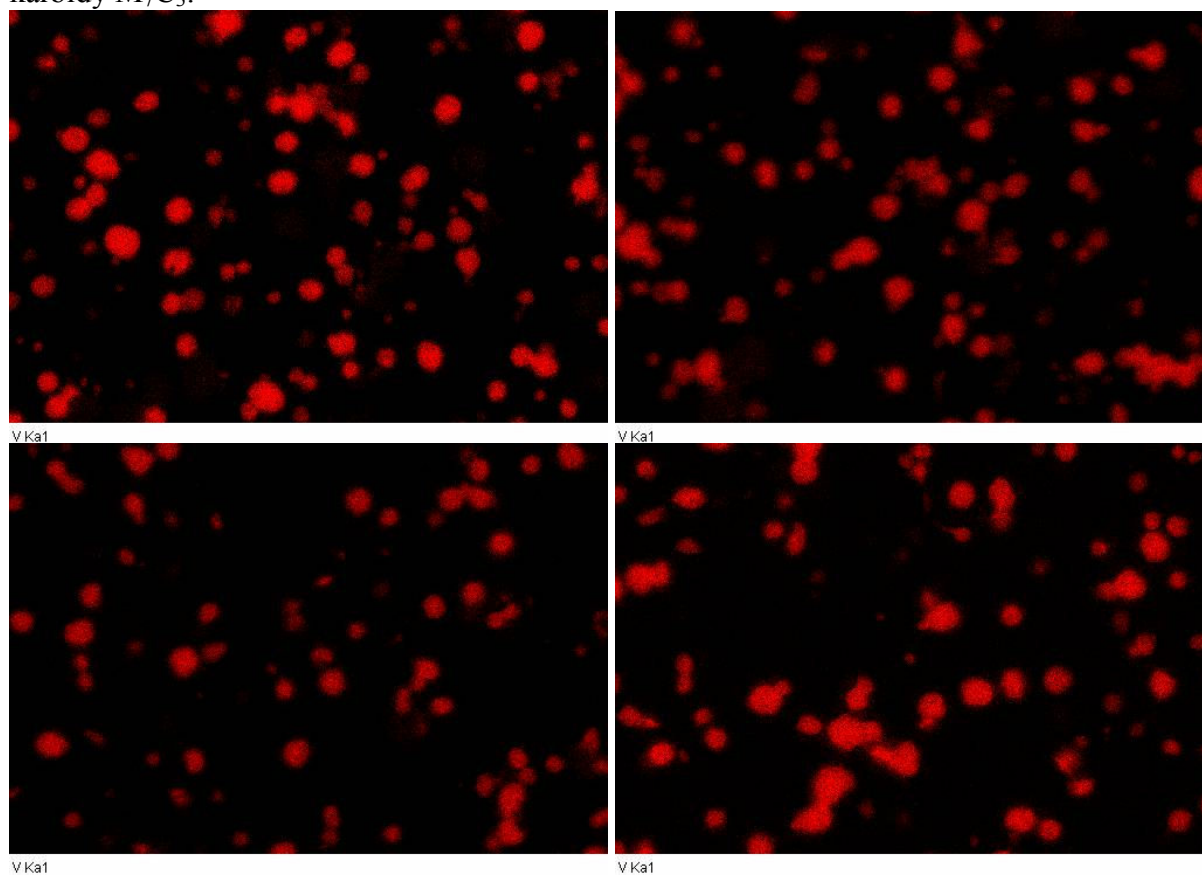
Tabulka 5. – Velikostní rozdělení karbidů M_7C_3 v závislosti na austenitizační teplotě.

Velikost [μm^2]	1000	1050	1100	1150
0-0,4	20	10	3	0
0,4-0,8	12	19	4	0
0,8-1,2	20	12	5	0
1,2-1,6	23	9	4	0
1,6-2,0	17	7	2	0
2,0-2,4	14	3	1	0
2,4-2,8	14	3	0	0
2,8-3,2	6	1	0	0
3,2-3,6	6	2	0	0
3,6-4,0	5	0	0	0
4,0-4,4	2	0	0	0
4,4-4,8	1	0	0	0

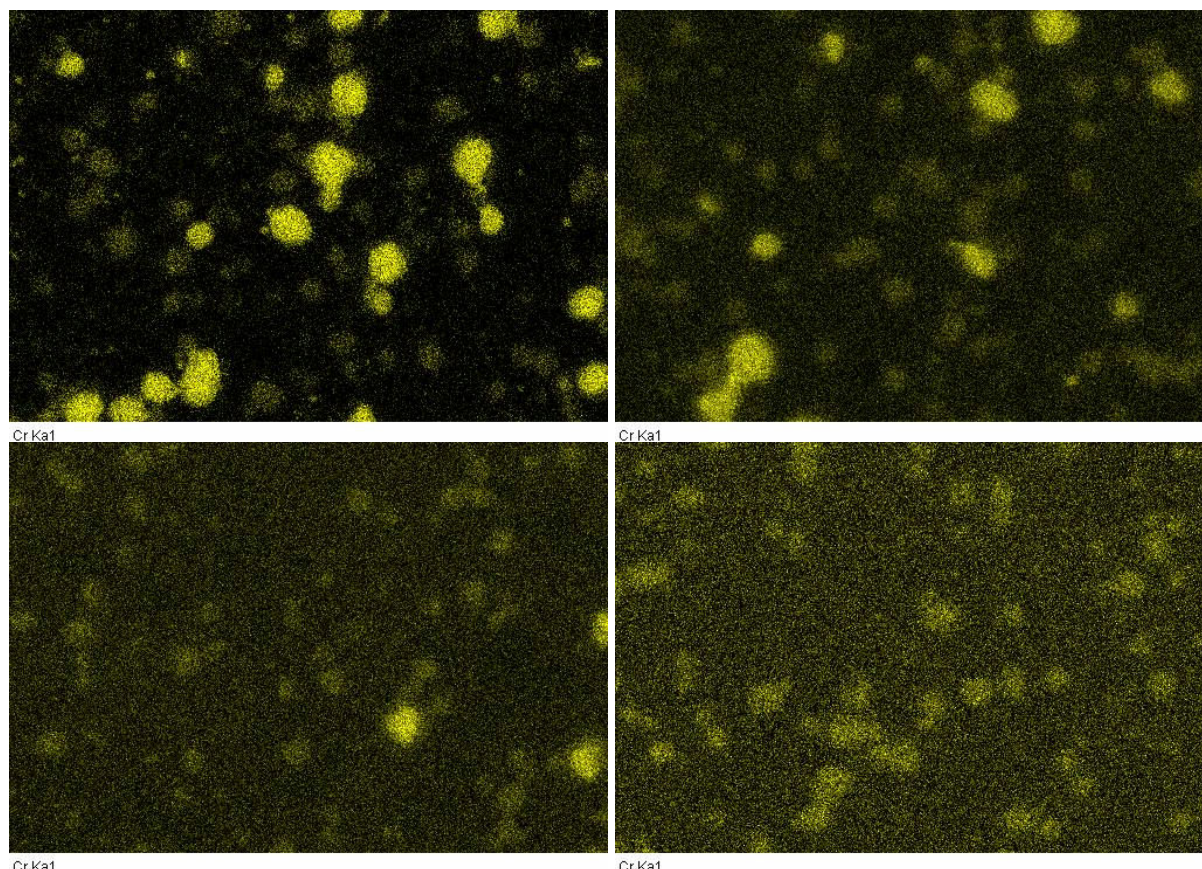


Obr. 16. Velikostní rozdělení M_7C_3 karbidů v závislosti na austenitizační teplotě.

Obrázky 17. – 24. doplňují předešlé výsledky. První čtyři znázorňují mapy vanadových karbidů MC pro různé teploty austenitizace a následující čtyři ukazují to samé pro chromové karbidy M_7C_3 .



Obr. 17. – 20. Vanadové mapy v pořadí dle teplot austenitizace: 1000, 1050, 1100 a 1150°C.



Obr. 21. – 24. *Chrómové mapy v pořadí dle teplot austenitizace: 1000, 1050, 1100 a 1150°C.*

Na chrómových mapách si lze všimnout ve shodě s předcházejícími výsledky, že se vzrůstající teplotou austenitizace dochází k rozpouštění dané fáze a zároveň k obohacování matrice oceli chrómem.

V tabulce 6 je porovnání výsledků získaných oběma metodami pro teploty austenitizace 1000 a 1050°C.

Při použití ruční metody byl stanoven vyšší podíl karbidů. Tento rozdíl je pravděpodobně dán nepřesností analýzy vanadových a chromových map, která je dána zviditelněním i podpovrchových karbidů případně nedostatečně ostrým ohraničením jednotlivých karbidů. Tuto nevýhodu odstraňuje metoda vyhodnocování pomocí programu NIS-Elements, kdy se měření provádí přímo na základním obrazu. Navíc při použití této metody lze snadno získat i velikostní rozdělení částic.

Při vyhodnocování snímků z elektronového mikroskopu v kombinaci s EDS analýzou se autor předložené práce přesvědčil o nutnosti zachovávat stále stejný kontrast a jas obrázků, aby mohly být mezi sebou vzájemně porovnávány.

Tabulka 6. – Porovnání metod pro určování karbidů

Teplota [°C]	1 000	1 050
M1-V [%]	13,8	12,7
M2-V [%]	12,8	12,6
M1-Cr [%]	7,8	4,2
M2-Cr [%]	7,8	2,5

5. Závěry

Na základě získaných výsledků je možno konstatovat, že:

- S rostoucí teplotou austenitizace dochází v oceli Vanadis 6 k rozpouštění chromových karbidů M_7C_3 a při teplotě 1150°C se ve struktuře již žádné nevyskytují a dochází k obohacení základní matrice.
- Vanadové karbidy MC se s rostoucí teplotou austenitizace téměř nerozpouštějí a zůstávají stálé až do teploty 1150°C, lze předpokládat, že zůstávají stále až do teploty solidu.
- Chromové karbidy v oceli Vanadis 6 jsou větší než karbidy vanadové. Karbidy M_7C_3 dosahují velikosti až $4,8\mu m^2$, velikost vanadových je maximálně $2,6\mu m^2$.
- Pro analýzu podílu a velikosti karbidických částí je vhodné použít program NIS-Elements.

Seznam symbolů

MC	karbid, kde je hlavním kovem vanad
M_7C_3	karbid, kde je hlavním kovem chrom
V	vanad
Cr	chrom
Mo	molybden
C	uhlík
Si	křemík
Mn	mangan
°C	stupeň celsia
PM	prášková metalurige

Seznam použité literatury

- [1] Macek, K., Janovec, J., Jurči, P., Zuna, P.: *Kovové materiály*, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2006.
- [2] Jurči, P.: *Nástrojové oceli ledeburitického typu*, Nakladatelství ČVUT, Praha, 2009.
- [3] Materiálový list firmy Uddeholm,: *Vanadis 6 – SuperClean High performance powder metallurgical cold work tool steel* [online]. 2009 [cit. 2010-3-8]. Dostupný z WWW: <http://www.bucorp.com/files/van_6_ds.pdf>.