

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci  
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie

Zaměření: strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

STUDIUM STRUKTUR MATERIÁLU ČSN 19 436 ZAKALENÉHO IMPULSEM  
LASERU

KMM - 028

Autor: Eduard Obst

Vedoucí práce: ing. Jiří Horyna, CSc.

VŠST Liberec

Konzultant: ing. Vladimír Nosek

VŠST Liberec

ing. Zdeněk Duřt

VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: ..... 51

Počet příloh a tabulek:.. -

Počet obrázků: ..... 23

Počet modelů nebo jiných  
příloh: ..... -

KMM/SM

Dne 15. května 1981

Vysoká škola: **strojní a textilní  
v Liberci**

Katedra: **materiálů a strojírenské  
metalurgie**

Fakulta: **strojní**

Školní rok: **1980 - 81**

## DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **s. Eduarda O B S T A**

obor **strojírenská technologie**

Protože jste splnil... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: **Studium struktur materiálu ČSN 19 436 zakaleného  
impulsem laseru.**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou fázových přeměn oceli 19 436.
2. Seznamte se se strukturami kalené oceli 19 436.
3. Seznamte se s dosavadními výsledky studia struktur uvedené oceli po zakalení impulsem laseru.
4. Stanovte vlastní struktury na optickém mikroskopu a sledujte je při větších zvětšeníh.
5. Proveďte měření tvrdosti strukturních fází.
6. Vyhodnoťte struktury z hlediska případných užitných vlastností kaleného nástroje.

Autorské právo se řídí směrnicí  
MŠK pro středoškolské učební  
722/162 čj. ze dne 13. července  
1962 Ministerstva školství, č. 24 ze  
dne 28. 12. 1962 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

SEVT - 49 395 0

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC - OCELOVÁ 5  
PSČ 461 17

Grafia 22 35

773

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

Jech: Tepelné zpracování ocelí, SNTL Praha 1977  
Firemní literatura  
Výzkumné zprávy VŠST  
DP VŠST Liberec

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Horyna, CSc

Konsultanti: Ing. Vladimír Nosek  
Ing. Zdeněk Duřt

Datum zahájení diplomové práce: 1.9.1980

Datum odevzdání diplomové práce: 12.6.1981

L. S.

Doc. Ing. Václav Chaloupecký, VSc  
Vedoucí katedry

Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc  
Děkan

v Liberci

dne

1.9.

19 80

Místopřísežné prohlášení

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracoval samostatně, s použitím uvedené literatury."

*Eduard Obst*

V Liberci dne 15. května 1981

| <u>O B S A H :</u>                                                         | str. |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| Ú v o d .....                                                              | 6    |
| 1.0 R e š e r ž e .....                                                    | 8    |
| 1.1 Historický přehled vývoje .....                                        | 8    |
| 1.2 Výroba a prodej .....                                                  | 9    |
| 1.2.1 Spojené státy americké .....                                         | 9    |
| 1.2.2 Sovětský svaz .....                                                  | 10   |
| 1.2.3 Československo .....                                                 | 10   |
| 1.3 Vývojové tendence .....                                                | 11   |
| 1.3.1 Plynové lasery .....                                                 | 11   |
| 1.3.2 Lasery v pevné fázi .....                                            | 11   |
| 1.3.3 Kapalinové lasery .....                                              | 12   |
| 1.3.4 Polovodičové lasery .....                                            | 12   |
| 1.4 Působení paprsků laseru na materiál .....                              | 12   |
| 1.5 Problematika fázových přeměn oceli při rychlo-<br>ohřevu .....         | 14   |
| 1.6 Struktury vzniklé po ohřevu laserem .....                              | 15   |
| 1.7 Strukturní změny oceli .....                                           | 15   |
| 1.8 Vliv výchozí struktury .....                                           | 15   |
| 2.0 T e o r e t i c k á   č á s t , .....                                  | 17   |
| 2.1 Ocel 19436 .....                                                       | 17   |
| 2.2 Dosavadní výsledky studia struktur zakalených<br>impulsem laseru ..... | 18   |
| 2.3 Struktury kalené oceli 19436 .....                                     | 19   |
| 2.4 Problematika fázových přeměn oceli 19436 .....                         | 20   |

|                                                                                              | str. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.0 P r a k t i c k á   č á s t .....                                                        | 21   |
| 3.1 Parametry použitého laseru .....                                                         | 21   |
| 3.2 Příprava a expozice vzorků .....                                                         | 22   |
| 4.0 V l a s t n í   p r á c e .....                                                          | 24   |
| 4.1 Měření mikrotvrdosti .....                                                               | 24   |
| 4.1.1 Měření mikrotvrdosti vzorku, ovlivněného jedním<br>impulsem laseru .....               | 24   |
| 4.1.2 Měření mikrotvrdosti vzorku, ovlivněného dvěma<br>impulsy laseru .....                 | 30   |
| 4.1.3 Měření mikrotvrdosti skupiny bodů, zasažených<br>jedním impulsem laseru (0,5 mm) ..... | 34   |
| 4.1.4 Měření mikrotvrdosti skupiny bodů, zasažených<br>jedním impulsem laseru (1 mm) .....   | 36   |
| 4.1.5 Měření mikrotvrdosti jednotlivých složek struktury                                     | 39   |
| 4.2 Metalografický rozbor .....                                                              | 40   |
| 5.0 D i s k u s e .....                                                                      | 45   |
| 6.0 Z á v ě r .....                                                                          | 49   |
| S e z n a m   p o u ž i t é   l i t e r a t u r y ....                                       | 50   |

## Ú v o d

Značná část jednání XVI. sjezdu strany vytyčuje úkoly jak pro celé oblasti ekonomiky, tak pro její jednotlivá odvětví a obory. Zvýrazňuje požadavek realizovat stanovené úkoly tak, aby se dosáhlo pronikavého vzestupu efektivnosti hospodářského dění, to znamená, aby se hospodářské procesy odvíjely tak, jak to dovolují konkrétní podmínky a vyžadují potřeby společnosti.

Převedeno do konkrétních podmínek to znamená průběžně zkoumat, zda materiálová a energetická náročnost je srovnatelná s jinými vyspělými výrobci, uplatňování vědeckotechnického pokroku v praxi je dostatečně rychlé a pohotové, využití základních výrobních fondů rentabilní, investiční výstavba nezbytná a účelná a zda směry odbytu hotové produkce jsou v souladu se zájmy společnosti a jejími potřebami.

Neustále je třeba si uvědomovat, že úroveň efektivnosti národohospodářského dění přímo ovlivňuje zabezpečování životní úrovně a sociálních jistot našeho lidu.

Za rozhodující pro rozvoj národního hospodářství a zvyšování jeho efektivnosti je nutno považovat průmyslovou výrobu. Prvořadou pozornost v rozvoji průmyslové výroby věnovat struktuře výroby, jejímu užití, zavádění nových technologií a lepšímu využívání všech druhů surovin.

S rozvojem průmyslu se stále zvyšují požadavky na použitelnost materiálů při extrémních podmínkách, ale také neustále rostou požadavky na kvalitu a vysokou životnost nástrojů z těchto materiálů. Kvalitní nástroje si žádají kvalitní suroviny, ty jsou však stále vzácnější.

Československo, známé jako vyspělý průmyslový stát, má

spolehlivé zázemí ve společnosti socialistických zemí. Nákupem surovin z těchto států pokrývá převážnou většinu spotřeby svého průmyslu. Malou, ne však zanedbatelnou, část nakupuje i na kapitalistickém trhu.

Jelikož cenové relace surovin neustále stoupají, je jasné, že tento nákup je pro naše hospodářství ekonomicky nevýhodný. Proto je nutné zabývat se otázkami zkvalitnění používaných materiálů, nebo funkčních částí nástrojů.

Jednou ze zajímavých myšlenek je zpracování povrchu součástí paprskem laseru. Jedná se o tepelné zpracování materiálu rychloohřevem. Je to nová, progresivní metoda tepelného zpracování. Je zaměřena především na úsporu energie a zefektivnění výroby. To jsou zároveň jedny z hlavních ukazatelů, vytyčených pro rozvoj našeho národního hospodářství v 7. pětiletce.



## 1.0 R e š e r ž e

### 1.1 Historický přehled

Laserová technika měla výhodu v tom, že její význam i možnosti byly téměř od samého jejího vzniku plně oceněny.

Co odlišuje laser od jiných známých zdrojů světelné energie?

Je to především mimořádně malá spektrální šířka generovaného záření a vysoký stupeň koherence. Spektrální šířka záření většiny laserů je řádově  $0,1 \text{ \AA}$  nebo ještě menší a vysoký stupeň koherence vyvolává interferenční jevy. V aktivním prostředí dochází k stimulované emisi, která dosahuje intenzity až 10 000krát větší než sluneční světlo, dopadající na Zemi. Laserové záření lze soustředit do bodu, kde mohou vznikat teploty, při nichž se odpaří jakýkoliv známý materiál.

Předehrou objevu laseru byl v roce 1954 návrh a realizace maseru. V dosavadní krátké historii laseru můžeme považovat za hlavní tyto mezníky:

- rok 1958 - Schawlow a Townes publikují teorii stimulovaného záření v plynech, aplikovanou na lasery,
- rok 1959 - Basov publikuje teorii simulované emise v polovodičích,
- rok 1960 - Maiman realizuje rubínový laser buzený xenonovou výbojkou,
- rok 1961 - Javan a Bennett dosahují infračervené emise z He-Ne laseru,
- rok 1961 - Hellwart a Mac Clung dosahují obřích pulsů u rubínových laserů,
- rok 1962 - Hall a Engeler realizují polovodičový laser.

Od té doby se literatura o problematice laseru značně rozrostla. Teoretické otázky jsou v podstatě vyřešeny a nejdůležitější typy laserů se již běžně vyrábějí. /1/

## 1.2 Výroba a prodej

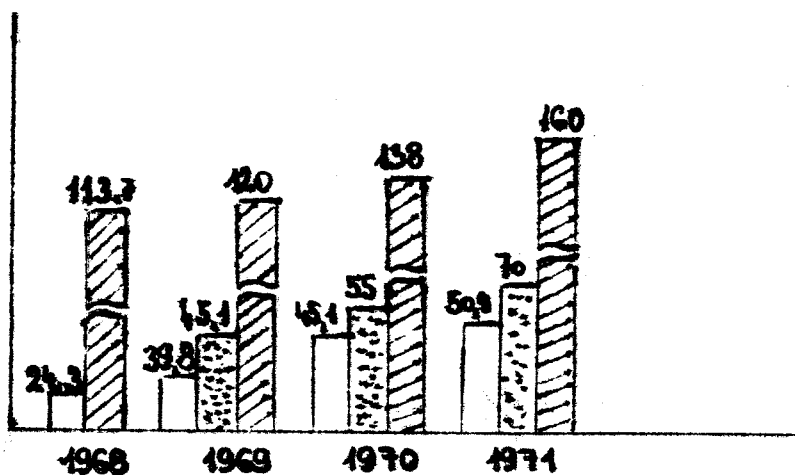
Aktivita jednotlivých kapitalistických zemí a firem je nejlépe vidět z počtu udělených patentů v oblasti plynových laserů, které představují nejvýznamnější skupinu. Vedoucí postavení zaujímají USA, následují Francie, Velká Británie, NSR a Holandsko.

### 1.2.1 Spojené státy americké

V USA vyrábí plynové lasery 25 firem, zejména Bell Telephone Laboratories, Spectra Physics, Quantum Physics, Optics Technology, Hewlett-Packard, Sylvania a další.

Odbyt nejvýznamnějšího výrobce He-Ne laseru firmy Spectra Physics se odhaduje na 5 miliónů dolarů.

Nabízené Ar lasery pro pulsní provoz se cenově pohybují mezi 3 950 až 4 900 dolary, CO<sub>2</sub> lasery pro kontinuální provoz mezi 8 200 až 28 550 dolary. První průmyslový model Xe laseru 110 se prodává za 9 000 dolarů včetně mikroskopu a sond.



Obr.1. Prodej laserů v USA v miliónech dolarů

V prvním sloupci je znázorněn prodej laseru, ve druhém součástky a příslušenství laserů, ve třetím laserové systémy (lasery a nezbytná přídatná zařízení).

Diagram neobsahuje údaje o vojenských zakázkách. /1/

Tyto údaje jsou z let 1968 - 1971.

### 1.2.2 Sovětský svaz

V posledních deseti letech došlo k obrovskému rozvoji laserové techniky.

V Sovětském svazu se vyrábí dvacet pět typů laserových přístrojů. Přibližně polovina laserových technologických zařízení na světě byla vyrobena v SSSR.

Sovětský průmysl sériově vyrábí svařovací zařízení KVANT-10, KVANT-12 a KVANT-17, zařízení pro impulsní tepelné zpracování KVANT-16 a KVANT-18 a další. K nejmodernějším patří nové výrobky KVANT-9, KVANT-9M a KVANT-30.

Posledně jmenovaný laser je zajímavý tím, že obsahuje měřič stabilizátor energie, umožňující stabilizovat energii impulsů záření s přesností větší než 2 %.

Sovětské vědci jako první na světě propracovali technologii laserového kalení kovů a laserového žíhání polovodičů. Používají k tomu zařízení KVANT-16 a KVANT-18. Takovéto zpracování nářadí, zápusťek a lisovacích forem zvyšuje jejich životnost dvakrát až čtyřikrát. /2/

### 1.2.3 Československo

V ČSSR se zabývají výrobou laserů dva podniky, a sice METRA BLANSKO a MEOPTA PŘEROV.

V Meoptě Přerov byla vyvinuta řada He-Ne laserů s označením

800 K, 1260 K a 2000 K a s výstupními výkony přibližně 5, 10 a 30 mW.

Lasery jsou určeny pro různá laboratorní měření, holografii, Raumanovu spektroskopii, interferometrii apod. /1/

### 1.3 Vývojové tendence

#### 1.3.1 Plynové lasery

V mnoha případech se dnes stále ještě používá plynových laserů, které zaručují kontinuální provoz za pokojové teploty na viditelných vlnových délkách. Jejich výhodou je i jednoduché a spolehlivé buzení a malá rozbíhavost svazku.

V pulsním provozu se počítá do budoucna se stále větším uplatněním molekulárních laserů, a to zvláště tam, kde je třeba značného výkonu, například při obrábění nejtvrděších materiálů.

Průmyslově vyráběné typy molekulárních plynových laserů s výkonem 250 mW až 250 W dosahují životnosti 1000 hodin. Jsou ovšem známy výrobky firmy Honezwell, které prokázaly i větší životnost - až 7000 hodin.

#### 1.3.2 Lasery v pevné fázi

Lasery v pevné fázi s nekovovými krystaly mají ve srovnání s plynovými lasery vyšší okamžitý výkon - v pulsním provozu až 1000 MW, v kontinuálním provozu řádově mW až W. Ze základních materiálů se místo klasického rubínu stále více uplatňují YAG granáty, které zaručují zvýšenou účinnost.

Lasery s aktivovaným sklem jsou vhodné pro pulsní provoz, vyznačují se poměrně snadnou přípravou a nižší cenou. Jako aktivní příměsi se nejčastěji používá neodym, ytterbium nebo erbium. Použitý materiál má malé difrakční ztráty a lasery tohoto

typu jsou schopny provozu při pokojové teplotě.

### 1.3.3 Kapalinové lasery

Kapalinové lasery s organickými barvivy jsou považovány vzhledem ke své přeladitelnosti za velmi perspektivní.

Eventuální zavedení těchto laserů do sériové výroby je podmíněno snížením jejich výrobní ceny a uplatněním širší palety barev. /1/

### 1.3.4 Polovodičové lasery

Podstatou polovodičového laseru je elektroluminiscenční dioda, protékaná proudem v propustném směru. Aktivní oblast má v tomto případě miniaturní objem, což omezuje maximální výkon a obvykle je třeba užívat intenzivního chlazení. Také prostorové soustředění výstupní energie je mnohem horší, než u ostatních typů laserů, což ztěžuje použití polovodičových laserů pro tepelné zpracování. /3/

## 1.4 Působení paprsků na materiál

Laserový paprsek ozařuje povrch materiálu a jeho záření je pohlcováno ve velmi tenké vrstvě. Teplo je vedeno do materiálu. Povrchové nerovnosti nezpůsobují podstatné rozdíly v množství pohlceného tepla. Absorbce dokonce neklesá ani při úhlech mezi svazkem paprsků a povrchem do  $45^{\circ}$ . Tato fakta spolu s možností usměrnit soustavou zrcadel laserový paprsek na různá místa zvyšuje škálu typů součástí, které mohou být laserem tepelně zpracovány. /4/

Laser s řízeným činitelem jakosti - Hloubka zakalené zóny při použití tohoto laseru závisí na mohutnosti tepelného zdroje, poloměru zasažené oblasti, délce impulsu a na tepelně-fyzi-

kálních vlastnostech materiálu. /5/

Při působení impulsu laseru vzniká možnost tlakové vlny. U gigantických impulsů může tlak na čele rázové vlny převýšit  $10^{10}$  Pa /12/.

Zóna přeměněné struktury sahá do hloubky materiálu, která je o mnoho větší, než je efektivní hloubka tepelné difuze do materiálu za dobu působení impulsu. Změna struktury není způsobena pouze tepelným působením impulsu. Při překročení hranice  $10^{10}$  Pa na čele rázové vlny bylo pozorováno objevení se nové fáze (pro Fe). Tlaková vlna může způsobit pronikání strukturálních změn do hloubky materiálu, nikoliv však v míře rozhodující.

Dále dochází k přenosu tepla sáláním a elektronovým vedením, avšak ani tyto mechanismy nemohou zajistit pozorované proniknutí tepelně ovlivněné zóny do hloubky materiálu. /3/

Dá se předpokládat, že zakalení materiálu do hloubky  $10^{-6}$  m nastává po skončení impulsu v důsledku rozšíření zóny tepelného nasycení při ochlazování materiálu. Průběh je pak analogický ohřevu při působení laseru v režimu volné generace.

Rychlost ohřevu dosahuje v tomto případě hodnot  $10^8 \text{ K s}^{-1}$ , rychlost ochlazování je zhruba o řád nižší.

Velké rychlosti ochlazování mohou způsobit "zamrzání" struktury, která vznikne po rázovém stlačení a následujícím superrychlém ohřevu, jelikož role difusních procesů je v důsledku trvání impulsu velmi malá. /3/

### 1.5 Problematika fázových přeměn oceli při rychloohřevu

Proces rozpadu austenitu při ochlazování byl po řadu let velmi pečlivě zkoumán, ale plnému rozvinutí rychloohřevu v praxi brání nedostatečná důkladná znalost teoretických závislostí fázových přeměn  $\alpha - \gamma$  při vysokých rychlostech ohřevu (již při rychlostech  $10^4 - 10^6 \text{ Ks}^{-1}$ ). Rychlost při použití impulsu laseru je však řádově ještě vyšší.

Relativně jednodušší je tepelné zpracování ušlechtilých konstrukčních ocelí se středním obsahem uhlíku. Použití rychlých ohřevů u ocelí středně nebo více legovaných je poměrně málo realizováno právě proto, že stále není dostatek znalostí, týkajících se kinetiky a mechanismu fázových přeměn  $\alpha - \gamma$  a doprovázejících difusních procesů. /3/

Základním faktorem, zvyšujícím pevnost a hlavně houževnatost zakalení oceli, je jemné zrna austenitu a v důsledku toho i jemná krystalická stavba vzniklého martenzitu.

Požadavku tvorby jemného zrna v průběhu austenitizace je nutno podřídit jak vývin materiálu, tak i režim ohřevu a kalení.

Předpoklady pro zjemnění zrna dává rychlý ohřev a krátká výdrž v oblasti nadkritických teplot. Způsobuje udržení submikroskopické nehomogenity austenitu, tím způsobuje jeho sníženou stálost při ochlazování a rovněž martenzit vzniklý z takového austenitu má zvýšený sklon k rozpadu.

Proto pro zachování požadované tvrdosti je nutno zabezpečit zvýšenou rychlost ochlazování v intervalu austeniticko-martenzitické přeměny. To se uskutečňuje pomocí vodní sprchy s velkou ochlazovací rychlostí. /6/

### 1.6 Struktury vzniklé po ohřevu laseru

Při výzkumu se zjistilo, že při povrchovém tepelném zpracování masivních vzorků se dosahuje rychlostí až  $10^7 \text{Ks}^{-1}$  rozvodem tepla do materiálu. Při tak vysokých ochlazovacích rychlostech vznikají zcela nové struktury. Proto se hovoří o bílé vrstvě, případně o bezstrukturním martenzitu. /5/

Bílou vrstvou se rozumí vrstva, která se hůře leptá než základní materiál a má vysokou otěruvzdornost. Také svou stavbou a vlastnostmi se liší od základního materiálu. /3/

### 1.7 Strukturní změny oceli

Analýza stavu povrchu ukázala, že stopa působení paprsku je tvořena dvěma zónami - centrální a periferní.

Při zvýšení rychlosti pohybu paprsku po povrchu se šířka stopy i celková hloubka působení laseru zmenšují, roste však tvrdost povrchu. S rychlostí posuvu paprsku se snižuje i teplota.

V důsledku různých podmínek ohřevu a ochlazování v závislosti na vzdálenosti od povrchu jsou struktury, vzniklé v zóně působení laseru, nehomogenní.

Tato zóna má kulovitou formu a je tvořena čtyřmi vrstvami, jež se liší mikrostrukturou i tvrdostí. /3/

Tato zóna je popsána podrobně v práci /3/.

### 1.8 Vliv výchozí struktury

Hloubka vytvrzené zóny je do jisté míry ovlivněna velikostí zrna a disperzitou výchozí struktury. Tím se zabývá práce /7/. V podmínkách lokálního impulsního ohřevu je hloubka zakalené zóny závislá na rozměru oblasti, kde teplota pře-



kročila kritickou hodnotu pro ocel, a je tedy ovlivněna posuvem kritického bodu  $Ac_1$  do oblasti vyšších teplot v procesu ohřevu. Poloha bodu  $Ac_1$  závisí na disperznosti výchozí struktury.

Pro hrubozrnnou strukturu se bod  $Ac_1$  posune vzhůru a hloubka zóny je nejmenší. U vzorků zakalených a popuštěných na vyšší teplotu a s jemnější strukturou se hloubka zóny zvyšuje. /3/

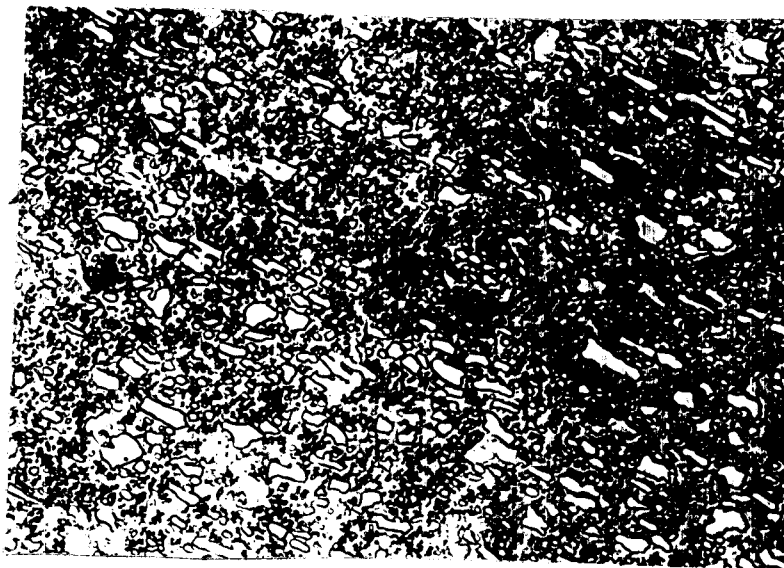
## 2.0 T e o r e t i c k á   č á s t

### 2.1 Ocel 19436

Pro práci bylo použito oceli 19436. Byla vyžehána na měkko. Je to nástrojová ocel se zvýšeným obsahem chrómu. Přesné chemické složení:

| C       | Mn      | Si      | P       | S       | Cr      |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1,980 % | 0,420 % | 0,330 % | 0,300 % | 0,031 % | 11,79 % |

Základní struktura je tvořena eutektoidním perlitem a cementitem a dále karbidy chrómu, které jsou deformovány ve směru tváření.

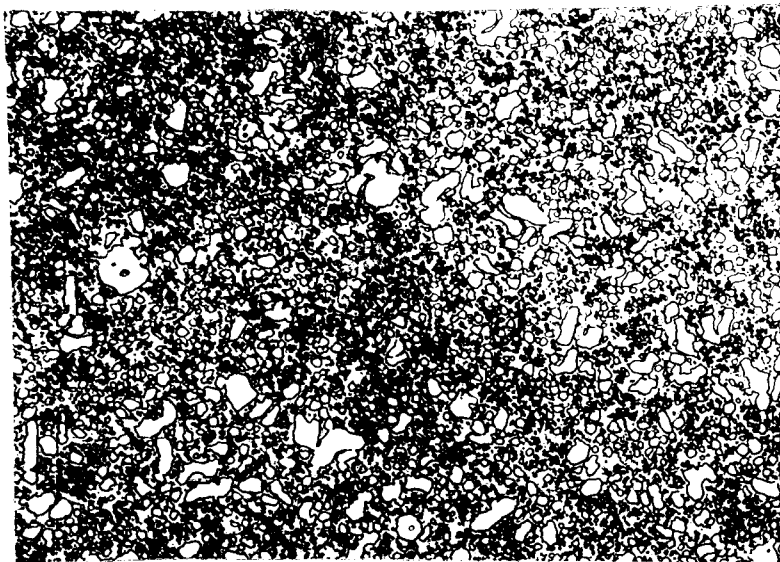


500 x

19436

3 % Nital

Obr. 2. Základní struktura - podélný výbrus



500 x

19436

3 % Nital

Obr. 3. Základní struktura - příčný výbrus

Tato ocel (19436) byla použita proto, že i předcházející práce na katedře materiálů a strojírenské metalurgie VŠST Liberec byly prováděny na ocelích třídy 19.

## 2.2 Dosavadní výsledky studia oceli 19436 - zakalené impulsem laseru

Ocel 19436 byla zkoumána v práci [11]. Jednak byla měřena mikrotvrdomost a za druhé byl proveden metalografický rozbor.

Mikrotvrdomost byla zkoumána v závislosti na změně vzdálenosti vzorku od ohniska. Největší mikrotvrdomost byla naměřena při nejmenší vzdálenosti vzorku, a to 1179 HM.

Metalografický rozbor - Struktura ovlivněné oblasti je význačná hlavně svou tvrdostí, je pravděpodobně martenzitická. V přechodové oblasti je zřejmý rozpad karbidů a v další fázi jejich postupné rozpouštění.

Nejprve se rozpouštějí karbidy drobné, velké karbidy se rozpouštějí postupně a rozpadají se na menší části. V přechodové oblasti, mezi základním materiálem a ovlivněnou oblastí, se rozpadají karbidy  $\text{CrC}$  a  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Po rozpadu karbidu následuje jejich rozpouštění a díky rozpouštění velkých karbidů je struktura silně nerovnoměrná. /11/

### 2.3 Struktury kalené oceli 19436

Ve stavu kaleném z ohřevu v lázni, za podmínek uvedených v práci /13/ sestává struktura z chromových karbidů, uložených v základní martenzitické hmotě. Množství cementitu je mnohem menší, než ve výchozím stavu. Karbid železa se zřejmě částečně rozložil a uhlík se rozpustil v železe gama. Jehlicovitý martenzit základní hmoty je místy jemný, místy s jehlicemi střední velikosti.

Norma doporučuje tepelné zpracování ve dvou alternativách. Zvolena zde byla úmyslně alternativa s vyšší tepl. ohřevu, u které byla větší pravděpodobnost, že fáze ve struktuře přítomné se snáze rozloží a v austenitu rozpustí.

Struktury vzorků kalených po indukčním ohřevu leží mezi popsanými dvěma strukturami, jakožto mezními stavy. Se zvětšováním doby austenitizace se cementit v základní hmotě zjemňuje a tvoří se přechodové stavy podkalené matrice. Ty po delším austenitizačním čase přecházejí v jemný martenzit, vždy bez výrazných jehlic.

Karbidy chromu se při obzvlášť měkkém způsobu mikroskopické a fotografické techniky jeví k okrajům odstíněné. To nejpravděpodobněji souvisí se změnou chemického složení hmoty karbidů.

Tvrdosti vzorků jsou velmi odvislé od rychlosti ohřevu. Maximum tvrdosti s rostoucí rychlostí výrazně roste. Zdá se, že přísun energie při rychlosti 1257 °C/s je nedostatečný a že sotva stačí kryt ztráty vzorkem. /13/

#### 2.4 Problematika fázových přeměn oceli 19436

Při působení impulsu laseru na materiál dochází k austenitizaci původní struktury. Po skončení působení paprsku laseru dochází k ochlazení a ke vzniku jemné pravděpodobně martenzitické struktury.

Teplota počátku a konce přeměny je popsána v práci /13/. klesá-li křivka teploty počátku přeměny, klesá i křivka teploty konce přeměny a naopak.

Teplota klesá z oblasti rychlosti ohřevu 1000 °C/s (zde je rozmezí křivek počátku a konce přeměny asi 830 - 870 °C).

Až do rychlosti ohřevu 3000 °C/s se pohybují křivky v nižší oblasti teplot (800 - 850 °C - teplota počátku a konce přeměny). Minimum je v oblasti rychlosti 2000 °C/s.

Mezi rychlostí ohřevu 3000 °C/s a 4000 °C/s teplota počátku a konce přeměny prudce stoupá (850 - 880 °C).

Čím vyšší je rychlost ohřevu, tím nižší je čas trvání přeměny, čas počátku a konce přeměny.

### 3.0 P r a k t i c k á   č á s t

#### 3.1 Parametry použitého laseru

Pro danou práci byl použit laser o těchto hodnotách:

Energie: 4 J

Impuls: 4 ms

Výkon: 1 KW

Tento laser byl vyroben ve Výzkumném ústavu v Turnově. Náklady na sestavení laseru činily přibližně 200 000,- Kčs. Provoz tohoto laseru je dán prakticky životností výbojky, která vydrží 100 000 záblesků. Cena jednoho impulsu je zhruba 0,01 Kčs. Tyto údaje nám byly poskytnuty ve Výzkumném ústavu v Turnově.

V našem případě se jednalo o rubínový laser.

Rubínový laser vyrábí impulsy různé délky a s různým rozdělením energie v pulsu. Nejrozšířenější je režim relaxace /8/ /volné generace /9, 5, 10//, při kterém zařízení pracuje, dokud intenzita budícího zařízení nepoklesne pod prahovou hodnotu. Impuls laseru pracujícího v režimu relaxace má složitý časový průběh a je tvořen velkým počtem samostatných pulsů, délky -  $10^{-6}$ s.

Energie impulsů současných laserů může dosahovat hodnot  $10^4$  J a při délce impulsu  $10^{-3}$  je pak výkon  $10^7$ W. /3/

### 3.2 Příprava a expozice vzorků

Vzorky byly získány z tyče dané oceli o průměru 14 mm. Povrchová úprava byla získána broušením na bruskách Metasinx. Vzorky byly broušeny pouze na brusném papíru typu - 200 a 400, aby nebylo dosaženo velké odrazivosti povrchu.

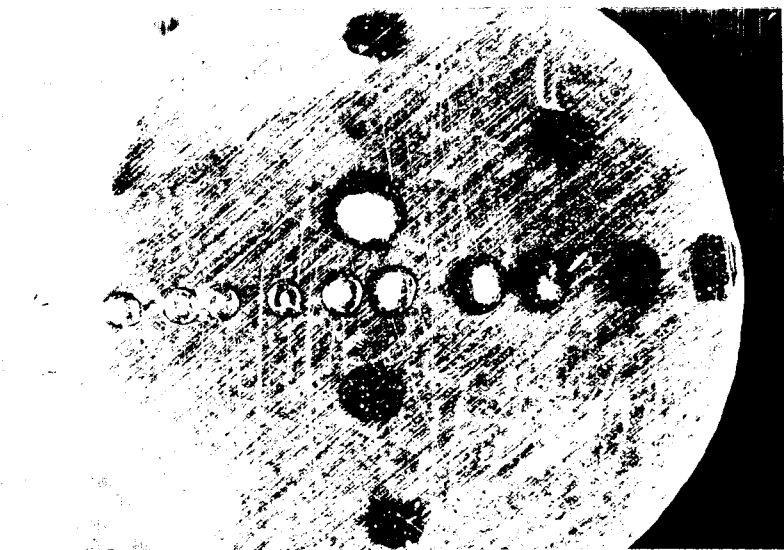
Jak se později ukázalo, i takové zpracování bylo nedostatečné, neboť, jak uvádí práce /3/, odrazivost železa při vlnových délkách, používaných v laserech, je asi 0,5, takže polovina použité energie bude odražena na povrchu vzorku /3/.

To znamená, že maximální dosažitelná teplota je dvojnásobná oproti teplotě ve skutečnosti dosažené.

Odrazivost povrchu se proto snižuje tmavými povlaky nebo se na povrchu vytváří náběhová barva. O tom pojednává práce /4/.

Příprava vzdálenosti vzorku byla prováděna tím způsobem, že vzorek byl ozářen a prohlédnut. Byl-li nataven, byla zvětšena vzdálenost vzorku od ohniska.

Teprve ta vzdálenost, kde nebylo pozorováno natavení, byla použita pro ozáření všech vzorků. Princip přípravy vzdálenosti byl v tom, abychom dostali takovou hustotu energie, aby nedošlo k natavení.



6,5 x

19436

Obr. 4. Zkušební vzorek

Při zpracování vzorků bylo použito několika způsobů expozice. Několik vzorků bylo ozařováno jedním impulsem laseru. Jeden bod byl umístěn uprostřed a čtyři body po okraji vzorku.

V dalším případě bylo použito dvou impulsů laseru do jednoho místa. Tyto body byly na vzorek umístěny tři.

Další vzorky byly exponovány čtveřicí impulsů v uspořádání do čtverce, přitom se mezi body měnila vzdálenost po 0,5 mm - od 0,5 do 2 mm.



#### 4.0 V l a s t n í   p r á c e

##### 4.1 Měření mikrotvrdomosti

##### 4.1.1 Měření mikrotvrdomosti vzorku, ovlivněného jedním impulsem laseru

Mikrotvrdomost byla měřena na mikrotvrdoměru PMT-3. Povrch vzorku byl před měřením vybroušen na brusném papíře typu 400, aby byla odstraněna vrstvička kysličníků.

Při měření bylo použito zatížení 200 g a doby zatížení 15 s. Tyto parametry byly dodržovány při všech měřeních. Vpichy byly umístěny tak, aby nedošlo ke vzájemnému ovlivnění. Měřený vzorek nebyl leptán.

Maximální získaná mikrotvrdomost je 881 HM. Podle očekávaných výsledků je tato mikrotvrdomost nízká.

Při práci /11/ bylo použito energie 8 J. Při nynějším měření bylo použito energie 4 J. Při uvažování stejné doby impulsu 4 ms docházíme k výsledku, že byl použit poloviční výkon. Tento fakt by ale neměl mít za následek snížení mikrotvrdomosti, neboť se změnila vzdálenost vzorku od ohniska a hustota energie zůstala přibližně stejná. Přibližně proto, neboť nastavování vzorků bylo prováděno pouze orientačně -  
- viz kap. 3. 2 .

Hlavní příčinou snížené mikrotvrdomosti se jeví ta skutečnost, že při práci /11/ došlo ne k ovlivnění struktury vzorku, ale k jejímu natavení.

Při prvním měření byla naměřena maximální mikrotvrdomost 881 HM. Při tomto měření, jak bylo zjištěno při malém zvětšení, byly vpichy vedeny přímo přes zasaženou oblast.

Při druhém měření byly vpichy vedeny mezi zasaženými oblastmi. V tomto případě byla maximální hodnota mikrotvrdosti 462 HM.

V práci /11/ není zmínka o dvou oblastech vzniklých reflexí. Ani při pozorování starých vzorků tyto oblasti nebyly zjištěny.

Bylo pracováno na stejném zařízení a také nebyla provedena žádná povrchová úprava.

Při zpracování starých vzorků bylo použito energie 8 J. Porovnáním a měřením starých a nových vzorků bylo zjištěno, že zasažená oblast u starých vzorků je dvakrát větší.

Zasažená oblast u starých vzorků má průměr přibližně 2 mm, u nových vzorků je asi 1 mm.

To by znamenalo, že velikost energie, resp. při stejném impulsu laseru, má vliv na velikost zasažené oblasti.

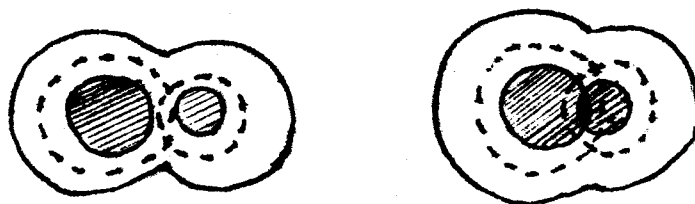
Tento poznatek by mohl vysvětlit, proč u starých vzorků nedošlo ke vzniku dvou ovlivněných míst, ale pouze jednoho, přičemž v grafu se objevovala dvě maxima.

Připusťme, že došlo k reflexi a zpětnému dopadu paprsku na vzorek.

Zasažená oblast, vytvořená při prvním dopadu paprsku, byla ale tak velká, že odražený paprsek padl ještě do první ovlivněné oblasti a nevytvořil tak dvě skvrny.

Vzdálenost dvou center zasažení byla v rozmezí 0,45 mm - 0,5 mm. Vezmeme-li zvětšení oblastí na starých vzorcích, mohlo by dojít k tomu, že mezera mezi centry zasažení by se zmenšila na minimum, nebo by zmizela úplně. Tomu by odpoví-

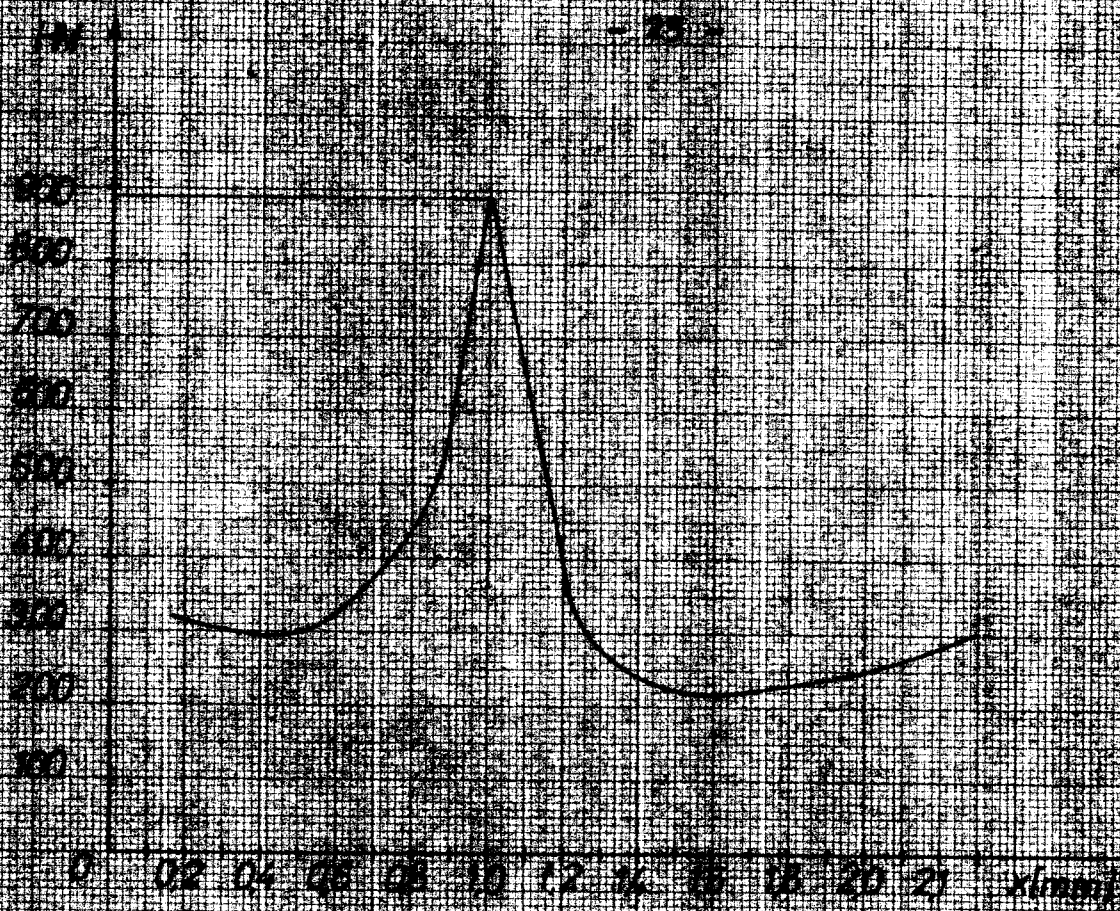
dal i průběh grafů tvrdosti v práci /11/.



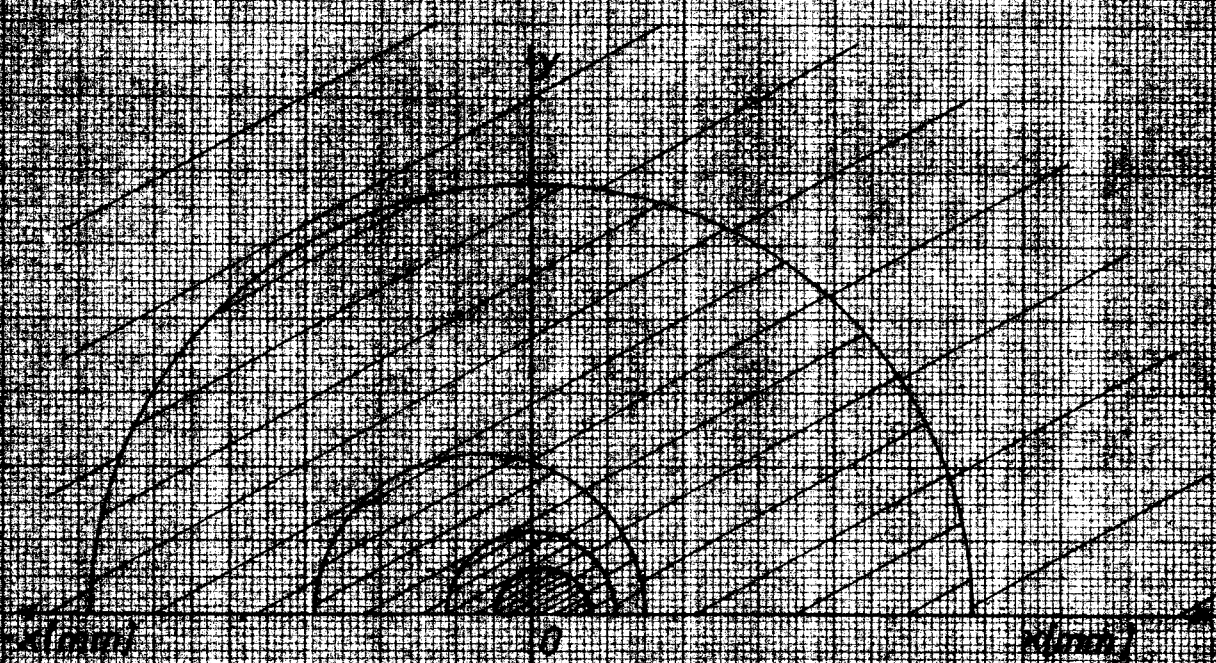
Obr. 5. Dvě centra zasažené oblasti

Při druhém měření byly vpichy vedeny mezi oběma centry zasažených oblastí. Dostal jsem sice mikrotvrdotost pouze 462 HM, ale daný graf měl několik maxim. Největší naměřená hodnota se nachází uprostřed a postupně se hodnoty maxim ke krajům snižují.

Jak bylo již uvedeno, byla oblast zasažení podle hodnot mikrotvrdotosti rozdělena do několika pásem. A právě vzniklá maxima mohou vznikat překrytím těchto jednotlivých pásem.

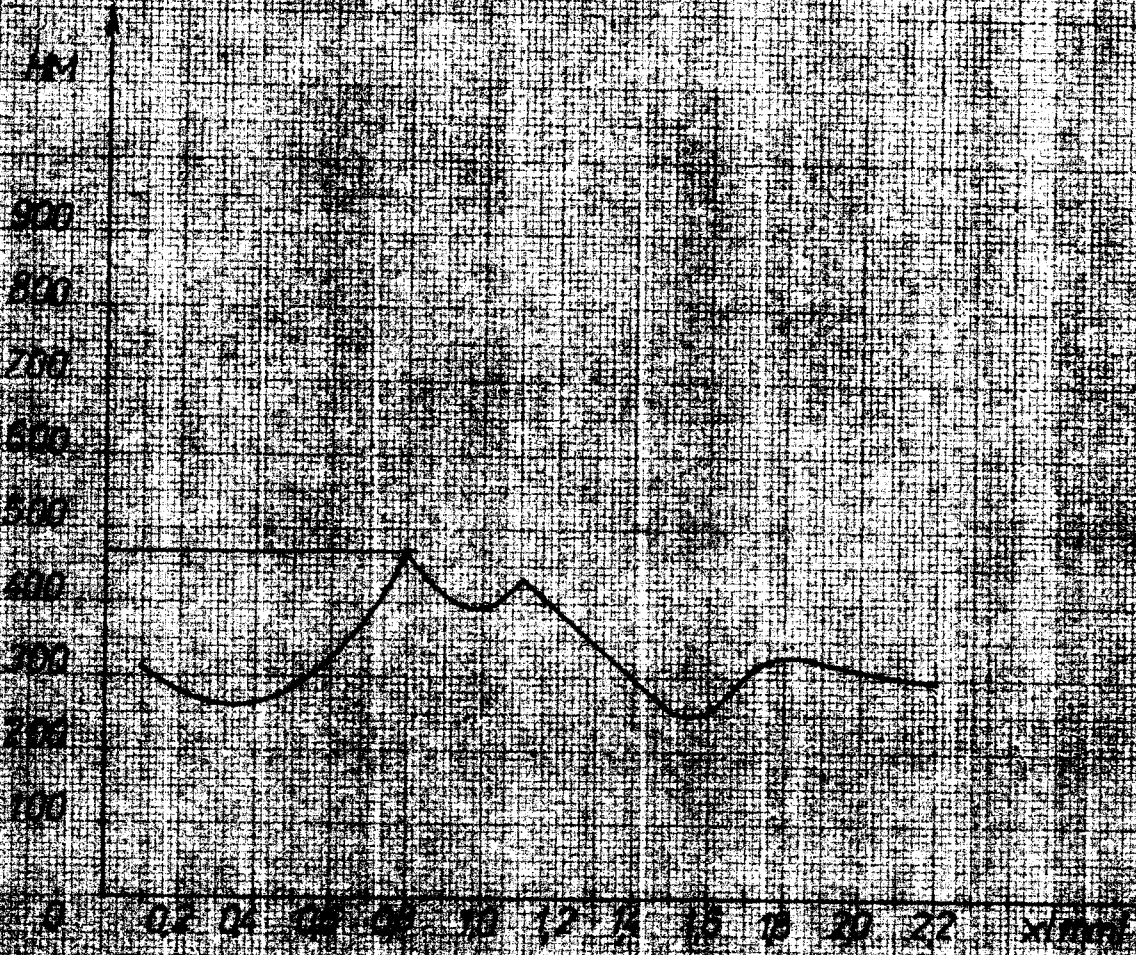


Obt. 6 Graf. f(x) - în coordonate cartez. 2



Obt. 7 Trusătură dintr-un punct de vedere





Box B Grad NM - 2

Již při malém zvětšení byly pozorovány v ovlivněné oblasti dvě tmavé skvrny. Tyto tmavé skvrny tvoří centrum zasažené oblasti s nejvyšší mikrotvrdostí.

Značnou reflexí povrchu vzorku došlo zřejmě k odražení určitého množství paprsků zpět na krystal a odtud opět zpátky na vzorek. Vlivem odchýlení paprsků vznikly dvě vedle sebe ovlivněné oblasti.

Tímto rozdělením energie by bylo možné vysvětlit snížení mikrotvrdosti ovlivněné oblasti.

Snížení reflexivnosti povrchu se nejeví jako zanedbatelné.

Vzhledem k dosaženým výsledkům bylo provedeno další měření mikrotvrdosti na stejném vzorku.

Při druhém měření byly dosaženy hodnoty zhruba jedenkrát větší než tvrdost základního materiálu.

Maximální mikrotvrdost byla 462 HM.

Při zkoumání tohoto vzorku pod malým zvětšením (40 x) bylo získáno možné vysvětlení.

Jak bylo již dříve uvedeno, má zasažená oblast dvě centra. Celkový tvar zasažené oblasti má tvar osmičky.

Větší skvrna - první dopad paprsku; odtud došlo k odražení. Druhá, menší, skvrna, způsobená odraženým paprskem.



100 x

19436

3 % Nitel

Obr. 9. Zasažená oblast

#### 4.1.2 Měření mikrotvrdosti vzorku, ovlivněného dvěma impulsy laseru

Předpoklad měření - dosažení vyšší mikrotvrdosti než na vzorku zasaženém jedním impulsem laseru.

Experiment potvrdil předpoklad. Bylo dosaženo maximální mikrotvrdosti 1275 HM, přičemž nedošlo k rozšíření oblasti zasažené impulsy laseru.

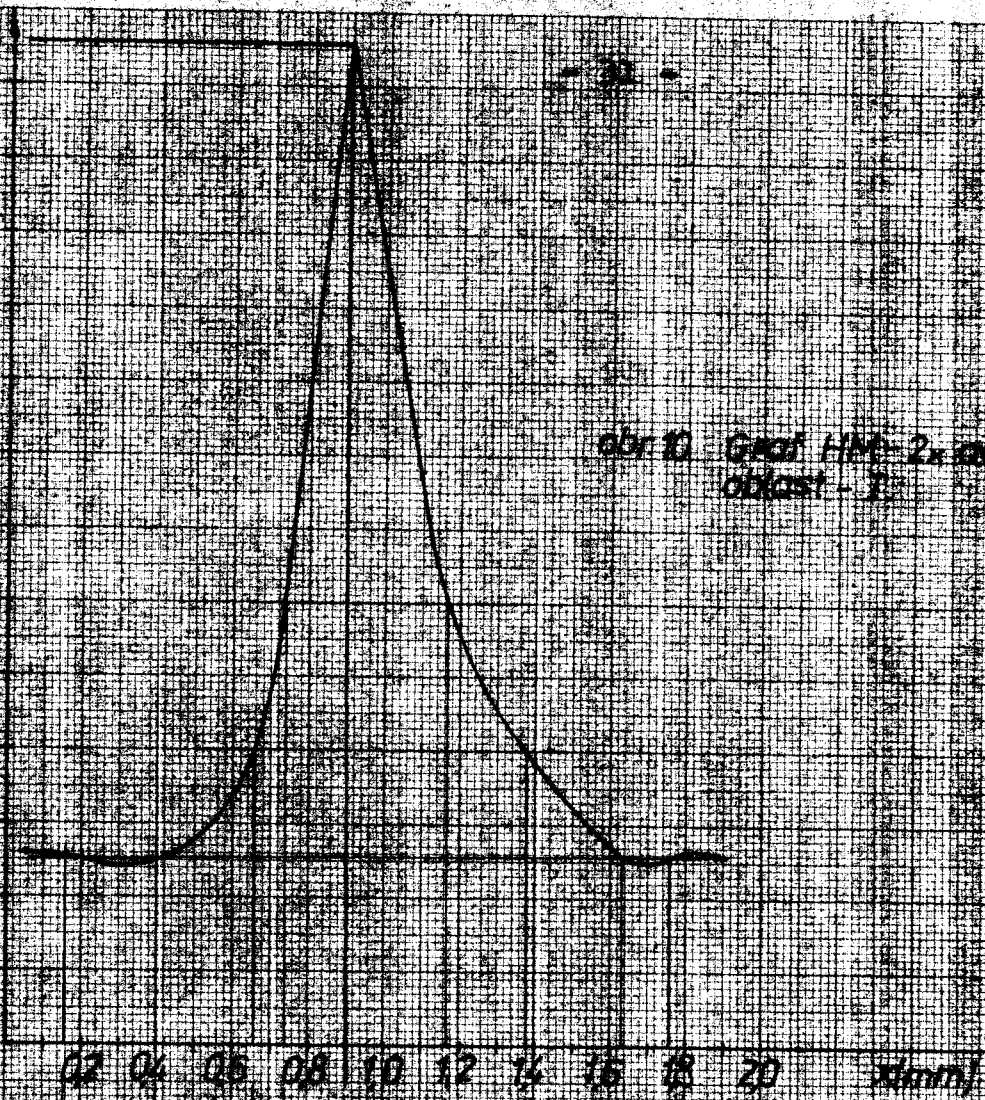
Při porovnání grafů přímo zasažených oblastí je vidět, že se svým tvarem shodují. Značně ostré maximum a rychlý pokles mikrotvrdosti těsně pod hodnotu mikrotvrdosti základního materiálu, potom je nepatrné zvýšení mikrotvrdosti na hodnoty okolo 300 HM a pokles až na konečných 240 HM, což je mikrotvrdost základního materiálu.

Rozdíl je podle předpokladu v naměřených hodnotách.

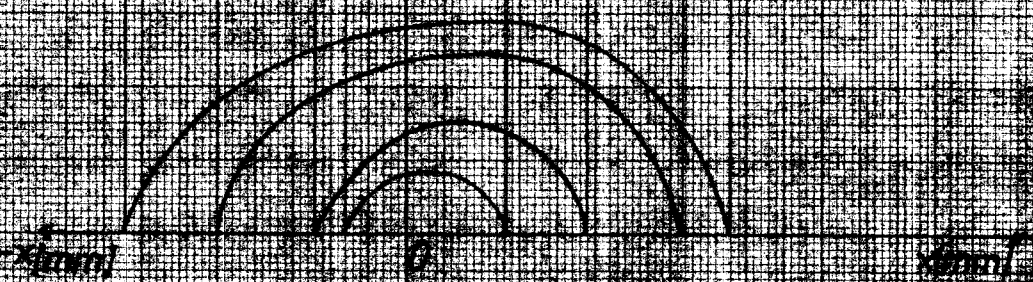
Zasažená oblast byla opět podle mikrotvrdosti rozdělena



1300  
 1200  
 1100  
 1000  
 900  
 800  
 700  
 600  
 500  
 400  
 300  
 200  
 100

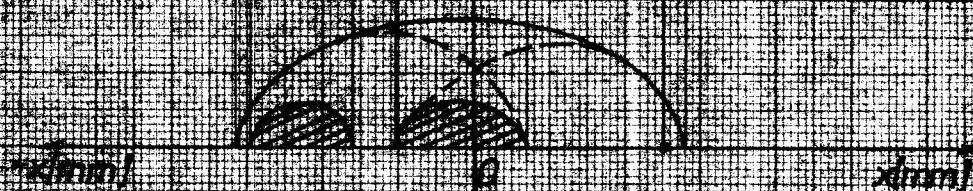
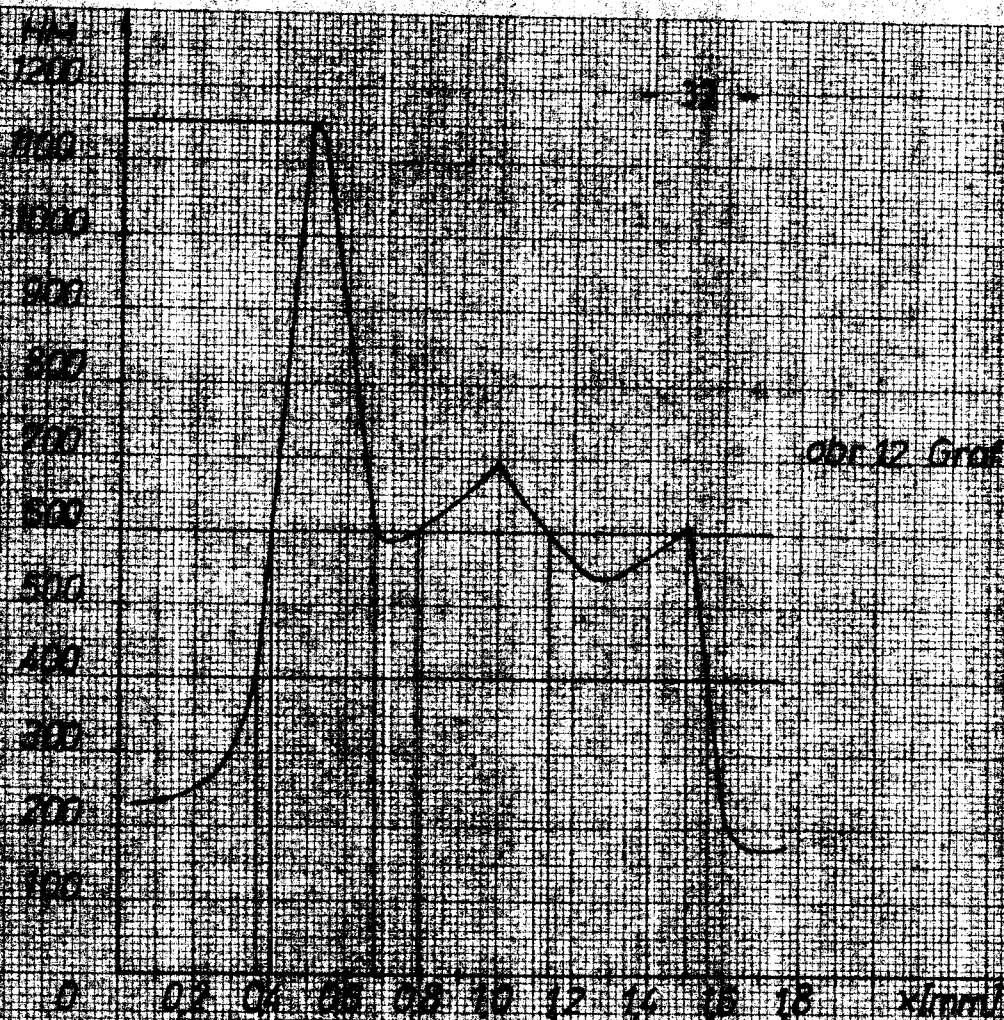


obr. 10. Geof. HMO-2x odměrná oblast - IV



obr. 11. Zasažené oblasti rozložení dle HM





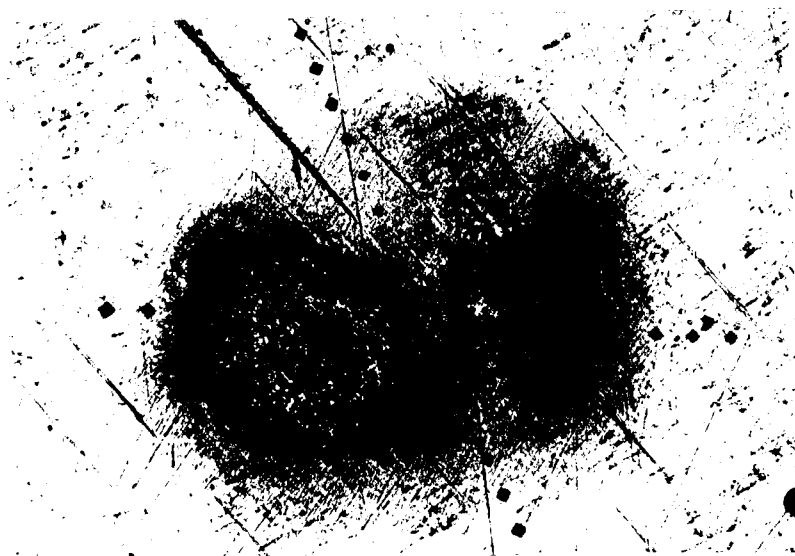
obc 13 Vznikání maxima překrytím zón

do několika pásem. Byla-li proložena grafem osa, bylo zjištěno, že mikrotvrdost neklesá podle ní symetricky. Směrem ke druhé oblasti zasažené odraženým paprskem klesá pomaleji.

Také v tomto případě nebylo pozorováno více maxim.

Pro kontrolu přesnosti bylo provedeno na dané oblasti další měření. Tato mikrotvrdost byla měřena přes obě dvě zasažené oblasti. V tomto grafu se objevilo hned několik maxim. Vyloučíme-li chybu v měření, potvrzovalo by to domněnku, že ke vzniku maxima může dojít i tím, že se překryjí dvě zasažené oblasti. Zasažená oblast v první fázi má mikrotvrdost nejvyšší, v pásmu překrytí vzniklo další maximum s mikrotvrdostí 682 HM. Zasažená oblast druhá má maximum nejmenší, zde bylo naměřeno 615 HM.

Při měření vzorku zasaženého dvěma impulsy bylo zjištěno, že pokles mikrotvrdosti je značně prudší a že klesá pod mikrotvrdost základního materiálu.



50 x

19436

Obr. 14. Zasažené místo s měřenou mikrotvrdostí

#### 4.1.3 Měření mikrotvrdosti skupiny bodů, zasažených jedním impulsem laseru (0,5 mm)

Toto měření bylo provedeno kvůli zjištění, do jaké vzdálenosti je možné umístit impulsy laseru, aby byl materiál v daném čtverci tepelně ovlivněn, jak se zvýšily mechanické vlastnosti a zda by se mohlo použít impulsního laseru k plošnému zpracování součástí.

Místa ovlivněná impulsem laseru tvořila čtverec o vzdálenosti strany 0,5 mm. Před měřením mikrotvrdosti nebyl vzorek leptán. První měření bylo vedeno středem ovlivněné oblasti, tedy mezi zasaženými místy, která leží ve vrcholech čtverce.

Druhé měření bylo vedeno přes dva body, tvořící hranu ovlivněné oblasti.

Měření první, procházející středem ovlivněné oblasti, dosahuje menších hodnot než měření druhé - pouze 631 HM. Maximální naměřené hodnoty však nedosahují hodnot naměřených na jedenkrát ovlivněném bodu, ležícím osamoceně.

Mikrotvrdost tohoto vzorku se očekávala vyšší, protože při vzdálenosti 0,5 mm center zasažení se jejich okrajové zóny částečně překrývají.

Zasažená oblast je čtverec s velice nepravidelnými hranami. Uprostřed zasažené oblasti jsou zbytky odlišné struktury. V těchto místech je patrný pokles mikrotvrdosti.

Bylo dosaženo zvýšení mikrotvrdosti v celé ploše, i když výsledky byly očekávány vyšší. Nevznikla však výrazná maxima a minima jako v předcházejících měřeních, došlo k rovnoměrnějšímu zvýšení mikrotvrdosti v celé ploše.



600  
500  
400  
300  
200  
100  
0



0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 time

Oct 15. Graf. 1000-1000 (15mg) I.

600  
500  
400  
300  
200  
100  
0



0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 time

Oct 16. Graf. 1000-1000 (15mg) II.

#### 4.1.4 Měření mikrotvrdosti skupiny bodů, zasažených jedním impulsem laseru (1 mm)

Body byly opět uspořádány do čtverce o délce strany 1 mm. Byla provedena dvě měření kolmo na sebe. Vzorek před měřením nebyl leptán.

Zasažená místa byla umístěna od sebe ve vzdálenosti 1 mm. Teoreticky by se měla tedy zasažená místa pouze dotýkat. Vezmeme-li v úvahu nepravidelnost okraje zasažené oblasti a její protáhlý tvar, mohlo dojít i k překrytí.

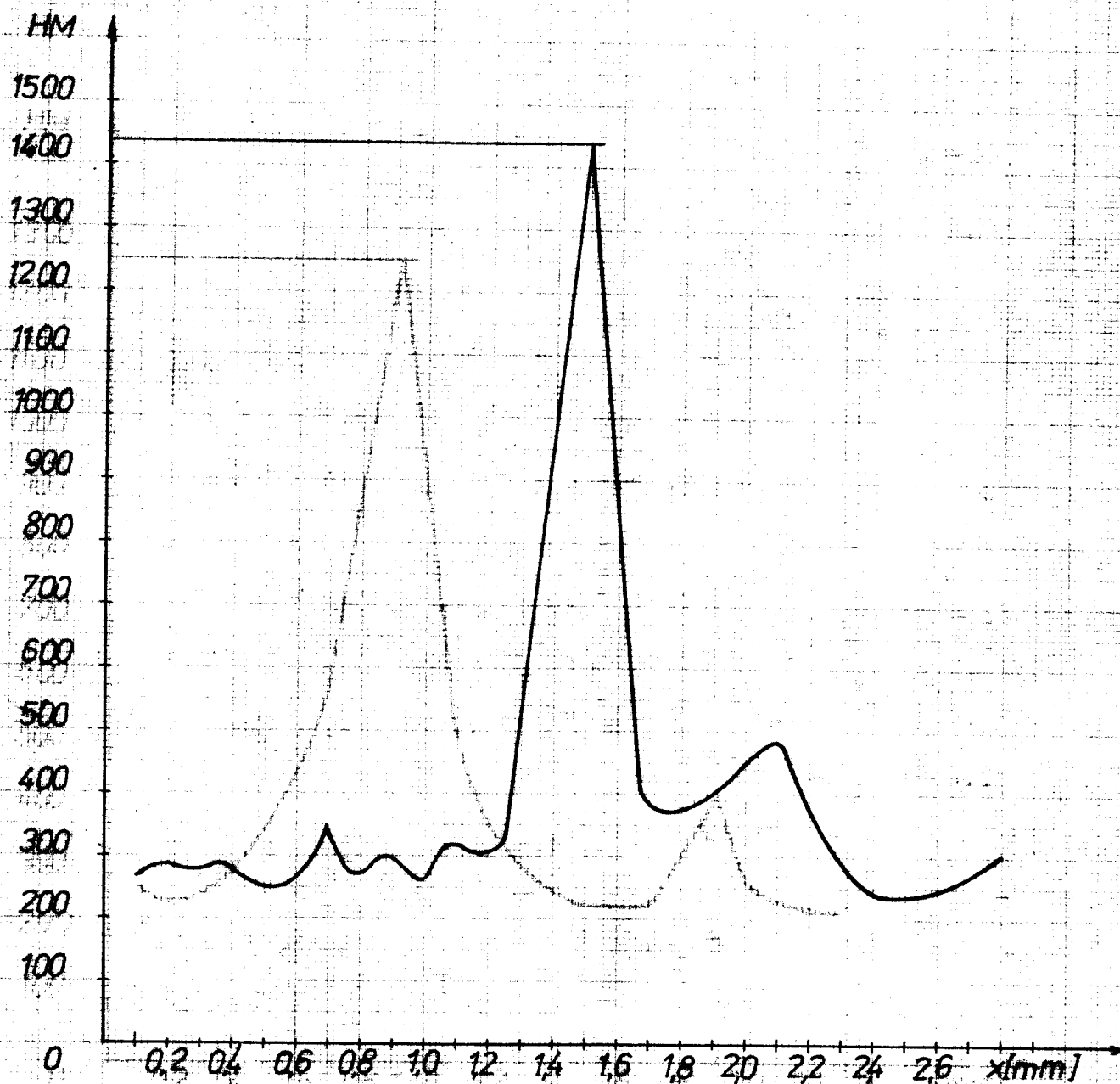
Výsledky při měření mikrotvrdosti však byly velice překvapivé. Maximální hodnoty dosahovaly daleko vyšších hodnot, než místa zasažená jedním impulsem laseru; přesněji 1415 HM.

Svou tvrdostí se podobají zasaženým místům, které pozorovala v práci [11] s. Vodehnalová.

Při pozorování tohoto vzorku na mikroskopu Neophot při padesátinásobném zvětšení bylo zjištěno, že část zasažené oblasti je natavena. Body mikrotvrdosti přecházející přes toto místo byly ty, které měly značně zvýšenou mikrotvrdost.

Natavené místo leželo uprostřed zasažené oblasti. Vzniklo pravděpodobně opět odrazem paprsků, při čtyřech impulzech, do toho samého místa, nebo optickou vadou čočky.

Není možné, aby takto natavené místo vzniklo překrytím čtyř krajů zasažených oblastí tam, kde v předcházejícím měření byla odlišná struktura, se sníženou mikrotvrdostí. Přitom vzdálenost zasažených oblastí byla v předcházejícím měření menší.



obr. 17. Graf HM - skupina bodů (1mm) I.

REF ID: A66565

#### 4.1.5 Měření mikrotvrdosti jednotlivých složek struktury

Jednotlivé složky byly měřeny se stejným zatížením jako v předcházejících případech. Před měřením byl vzorek vybroušen a naleptán 3 % Nitalem.

Byly měřeny jak složky základní struktury, tak i složky v ovlivněné oblasti.

Ovlivněná oblast se skládá ze dvou struktur. První struktura je bílá vrstva, tzv. bezstrukturní martenzit. Druhá struktura, ležící nejčastěji uprostřed bílé vrstvy, je struktura, která se nestačila přeměnit při rychlém ohřevu. Může zde existovat také zbytkový austenzit, nebo martenzit s jiným strukturním složením než bílá vrstva.

Při měření mikrotvrdosti bílé vrstvy byly dosaženy hodnoty: 584 HM, 484 HM, 434 HM, 348 HM.

Tyto hodnoty byly měřeny v různých místech bílé vrstvy. Znamená to, že mikrotvrdost v bílé vrstvě není konstantní.

Měření mikrotvrdosti strukturní částice, která leží uvnitř bílé vrstvy. Zde byly zjištěny hodnoty nižší než v samotné bílé vrstvě.

Naměřené hodnoty: 473 HM, 390 HM, 295 HM. Také v této strukturní složce hodnoty mikrotvrdosti značně kolísají. Čím je tato částice dále od středu zasažené oblasti, tím nižší mikrotvrdost má. Tyto částice jsou velmi malé a jejich měření je tudíž nepřesné.

Bílá vrstva těsně u rozhraní s původním materiálem má hodnoty: 328 HM a 341 HM.

Měření mikrotvrdosti složek základní struktury. Hodnoty nepřesahují 300 HM a nemění se ani v blízkosti zasažené oblasti.

Naměřené hodnoty jsou značně nižší, než je měření mikro-  
tvrdosti bez naleptání (viz 4.1.1).

Zde došlo zřejmě k odbroušení horní vrstvičky, která má  
nejvyšší mikrotvrdost.

Toto měření bylo prováděno na vzorku jedenkrát ovlivně-  
ném impulsem laseru. Vlivem malého výkonu laseru byla ovlivně-  
ná vrstva slabá, a ještě při metalografické úpravě částečně od-  
broušená. Tím si je možno vysvětlit nízké hodnoty mikrotvrdos-  
ti.



160 x

19436

3 % Nital

Ohr. 19. Měření HM fázových složek struktury

#### 4.2 Metalografický rozbor

Před pozorováním vzorků musela být provedena jejich úpra-  
va. Nejprve byly broušeny na bruskách Metasínex a leštěny na  
přístroji stejné značky.

Po leštění byly vzorky omyty, osušeny a byla prohlédnuta  
jakost povrchu.



Měl-li povrch vzorku postačující jakost, přistoupili jsme k následující operaci:

Vzorek byl leptán v 3 % Nitalu. Protože šlo o naleptání ovlivněného místa, o němž víme, že je těžko leptatelné, byl použit čas leptání 5 s. Po leptání jsme vzorek znovu opláchli lihem a osušili. Takto připravený vzorek byl pozorován pod mikroskopem. Byl použit mikroskop německé výroby Neophot-2. Pro stanovení struktury zasažené oblasti bylo voleno zvětšení 500 x a dle zadání i zvětšení 1000 x. Pro tato zvětšení byly pořízeny také fotografie.

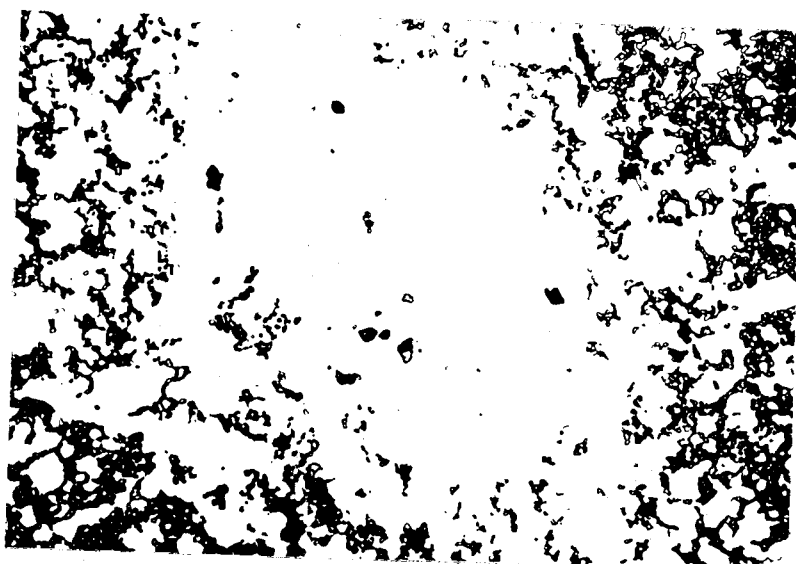
Po působení paprsku laseru nastávají v mikrostruktuře oceli 19436 prudké změny.

V prvním stadiu dochází k rychlému ohřevu původní struktury a k její austenitizaci. Po skončení ohřevu dochází k rychlému odvodu tepla a k prudkému ochlazení zasaženého místa. V místě dopadu paprsku laseru se vytváří bílá vrstva, označovaná jako bezstrukturní martenzit. Takto vytvořená oblast má protáhlý, elipsovitý tvar. Hranice oblastí nejsou pravidelné. Místa zasažují hluboko do původního materiálu. Jedná se patrně o místa, kde ležely částice, k jejichž přeměně je třeba menší energie. Zda jde o zvláštní typ, tzv. bezstrukturní martenzit, by se mělo rozhodnout jinou metodou, neboť rozlišovací schopnost optického mikroskopu na tuto strukturu nestačí.

Často však došlo k tomu, že bílá vrstva nebyla úplně čistá. Roztroušeny v ní se objevovaly částice jiné struktury. Mohlo se jednat o částice původní struktury, které se nestačily přeměnit. Také by mohlo jít o zbytkový austenit, nepřeměněný při vysoké rychlosti ochlazování, nebo by to mohla být i směs obou těchto fází. Konečně mohlo jít i o martenzit s hrubší strukturou,

než má bílá vrstva.

Bylo provedeno několik kolmých výbrusů na hrubší ovlivněnou oblast za účelem zjištění hloubky zasažené oblasti. Ani v jednom případě se nám na oceli 19436 nepodařilo tuto zónu objevit.

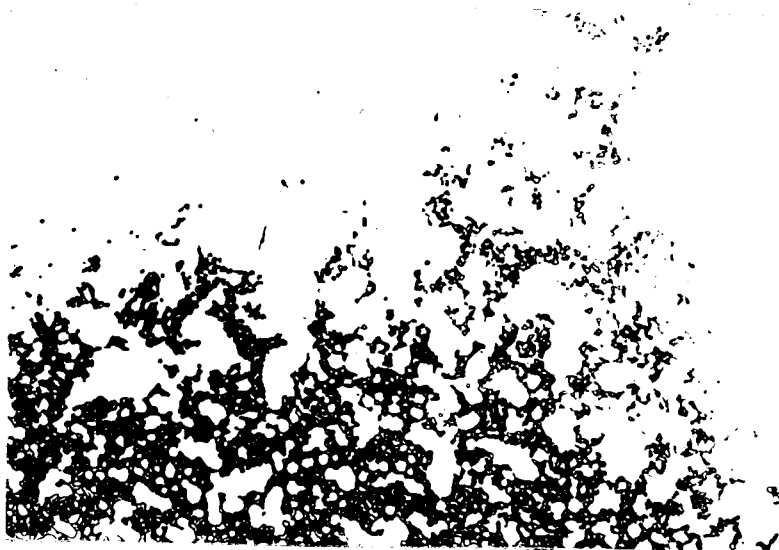


500 x

19436

3 % Nital

Obr. 20. Bílá vrstva přechod v základní strukturu

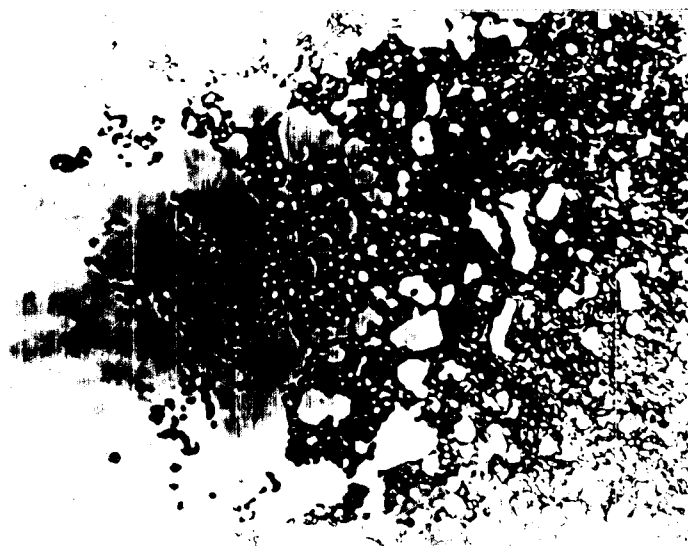


500 x

19436

3 % Nital

Obr. 21. Odlišná struktura v bílé vrstvě

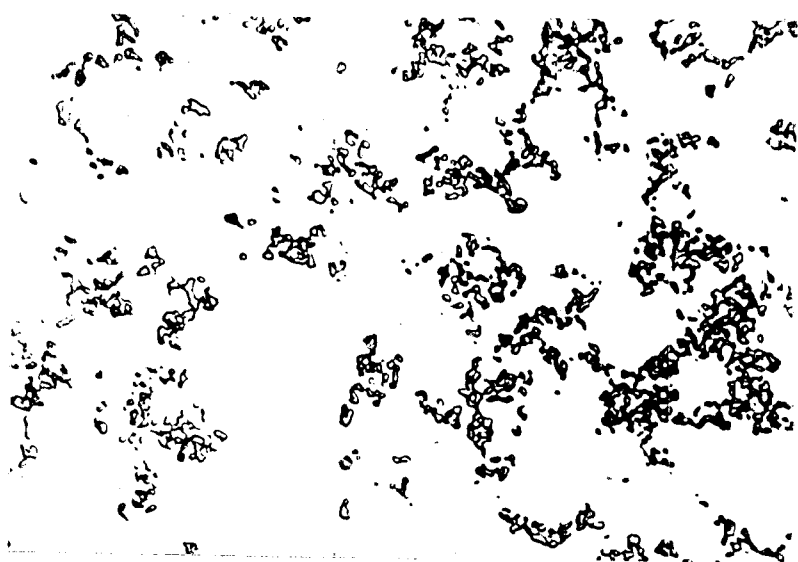


1000 x

19436

3 % Nital

Obr. 22. Bílá vrstva a přechod v zákl. strukturu



1000 x

19436

3 % Nital

Obr. 23. Odlišná struktura v bílé vrstvě

## 5.0 D i s k u s e

Výsledky, dosažené při měření mikrotvrdosti, byly porovnány s některými výsledky z práce /11/. Většina vzorků práce /11/ však byla natavena a ne ovlivněna. V tom je patrný rozdíl mezi zpracováním obou skupin vzorků.

Porovnávané výsledky se od sebe podstatně liší.

Výsledky nemohly být ovlivněny mikrotvrdoměrem, neboť ten byl téměř před každým měřením cejchován.

Chyba mohla nastat neupraveností povrchu. Měření byla prováděna na ovlivněném vzorku, u kterého byly odbroušeny pouze kysličníky, které vznikly na povrchu vzorku.

Na vzorku ovlivněném jedním impulsem byly naměřeny hodnoty celkově nižší než v práci /11/.

Hodnoty 700 - 800 HM lze brát jako reálné, nebyl-li vzorek nataven, ale pouze tepelně ovlivněn.

Hodnoty byly měřeny přes celou zasaženou oblast, takže po nanesení do grafu je možné sledovat jejich průběh a rozsah. Hodnota, která je v daném měření uváděna jako největší, však nemusí být zdaleka maximální hodnotou v měřené oblasti. Není totiž přesně zabezpečeno, že dané měření je vedeno přesně středem zasažené oblasti. Jak bylo již dříve uvedeno, mikrotvrdost v bílé skvrně klesá se vzdáleností ze středu.

Při ozáření vzorku nám vznikla dvě ovlivněná místa. Menší ovlivněné místo mohlo vzniknout optickou vadou nebo technickou nedokonalostí použitého laseru. Další možností je to, že je tvořeno nestejným rozložením množství energie v celé zasažené oblasti.

Kolísání výkonu laseru a nestejnoměrné rozložení hustoty

energie impulsu je možno zamezit některými přístroji, které jsme neměli k dispozici a které jsou již nyní součástí vybavení moderních laserů.

Například sériově vyráběný sovětský laser KVANT-30 již obsahuje měřič stabilizátor energie, který umožňuje stabilizovat energii impulsů záření a přesností větší než 2 %. /2/

Při měření bodů zasažených dvěma impulsy laseru bylo dosaženo hodnot, které jsou přibližně shodné s výsledky mikrotvrdosti u natavených vzorků.

Nelze ovšem přesně říci, zda po dvou zásazích paprskem laseru nebyl vzorek v některých místech nataven. Povrch byl pokryt pravděpodobně kysličníky, které vznikly při opalu. Výkon laseru a nastavení vzorku neodpovídalo tomu, aby natavená oblast vznikla v celé ploše, avšak pod tmavou vrstvou mohlo vzniknout natavené místo, které by zvýšilo hodnotu mikrotvrdosti.

Při měření mikrotvrdosti u skupiny bodů došlo k zajímavému případu. U bodů, které byly vzdáleny 0,5 mm a teoreticky by se měly překrývat, byla dosažena menší mikrotvrdost než u vzorku se vzdáleností bodů 1 mm. Otázkou je, zda nedošlo ke vzájemnému tepelnému ovlivnění mezi body. Tento výsledek je opačný, než jakého bylo dosaženo u vzorků jednou a dvakrát ozářených.

Nepředpokládá se, že by to mohlo být chybou v měření, protože tento výsledek byl několikrát kontrolován. Hlavní chybou pravděpodobně bylo, že měření neprocházelo přesně středem zasažených oblastí a pokles mikrotvrdosti vzhledem ke středu je velmi rychlý, což je vidět na přiložených grafech.

Úchylka několik desetin mm od středu zasažené oblasti se v hodnotách HM může projevit odchylkou ve stovkách jednotek.

Toto prostorové uspořádání bodů bylo prováděno vzhledem k možnosti plošného zpracování (již se používá v sériové výrobě v zahraničí), ale hlavně do jaké vzdálenosti je možné umisťovat ovlivněné body. Zda těsně k sobě, nebo aby se částečně i překrývaly. V našem případě vyšlo neoptimálnější řešení tehdy, dotýkají-li se ovlivněné oblasti. Rozměrově nelze tento údaj vyjádřit, neboť velikost ovlivněné oblasti roste a klesá s výkonem laseru a s nastavením vzdálenosti vzorku.

Metalografický rozbor bílé skvrny: Bílou vrstvu se podařilo vytvořit na většině vzorků, ovšem rozsah její čistoty byl různý. V některých případech byla bílá vrstva čistá, bez drobných strukturálních částic. U jiných vzorků se v menší či větší míře objevují jemné částice, a to buď částice původní struktury, které se vlivem velké rychlosti ohřevu nestačily přeměnit, a nebo jde o martenzitickou strukturu. Větší možnosti se jeví skutečnost, že se jedná o zbytky původní struktury.

Na bílou skvrnu, která je popsána v metalografické části práce, je několik různých názorů.

Na otázku, zda jde o tzv. bezstrukturální martenzit, nebo jinou strukturu, by měla odpovědět hlavně elektronová mikroskopie.

Další předpoklad je spíše technického rázu.

Jednou z vlastností ovlivněné oblasti je nesnadná leptatelnost. Podle fotografie lze bílou skvrnu přirovnat k obrázku neleptaného materiálu, vyleštěného, pouze s vměstky.

Je také odolná proti otěru, tudíž by neměly být vidět ani rýhy, vzniklé broušením. Proto je možné, že nedošlo k naleptání a ke zviditelnění struktury.

Pro zjištění hloubky zasažené oblasti na materiálu 19436 byl proveden boční výbrus vzorku přes ovlivněnou oblast. Na vzorku nebylo zjištěno ovlivnění struktury do hloubky. Vezme-li se v úvahu malý výkon laseru a malé množství energie, které dopadne na materiál, potom je pravděpodobné, že došlo k velmi rychlému odvodu tepla.

Odvod tepla musel být tak velký, že nedošlo k ovlivnění materiálu do hloubky v takové míře, aby mohlo být pozorováno.



## 6.0 Z á v ě r

Úkolem této práce bylo provést zjištění mikrotvrdosti vzorků oceli 19436, ozářených impulsem laseru, a sledovat strukturu, která při tomto ději vzniká.

Bylo provedeno několik měření mikrotvrdosti u různě exponovaných vzorků. Struktura byla sledována na optickém mikroskopu Neophot-2 pod zvětšením 500 x a 1000 x.

Výsledky měření potvrzují předpoklad o zvýšení mikrotvrdosti materiálu. Studium bílé vrstvy optickým mikroskopem je vzhledem k jeho rozlišovací schopnosti nedostatečné.

Doporučení pro další výzkum: Vyzkoušet při expozici vzorků různé druhy úpravy povrchu. Vyzkoušet další způsoby expozice, využitelné pro praktické použití.

*Eduard Olšat*

S e z n a m   p o u ž i t é   l i t e r a t u r y

- /1/ BARTOŇOVÁ, E., ing. KUTÍK, M., Dr. ONDRA, J.:  
Lasery. 1. VÚ A. S. Popova, Praha, 1972
- /2/ PARFENOV, B. A., TIMOFEJEV, A. I.:  
Sovětský export, 24, 1981, str. 34
- /3/ Doc. ing. CHALOUPECKÝ, V. a kol.:  
Možnosti aplikace rychloohřevů v praxi, Liberec, VŠST  
Liberec, rok 1978
- /4/ Surface Hardening and Alloying with a Laser Beam System,  
Industrial Heating, 1974, No 7, 19
- /5/ BRECHOVSKICH, ŽUKOV, KOKORA, UGLOV, Fizičeskaja i chimi-  
českaja obrab. met., 1968, 4, str. 35
- /6/ SLUCHOTSKIJ, A. E.: Vysokočastotnaja termičeskaja obrab.  
metalov v promyšlenoje primeněnije tokov vysokoj často-  
ty, Mašinostrojenie, 1966, Moskva
- /7/ ČERČENKO, a kol.: O vlijanii ischodnoj struktury stali  
pri nagreve fotonnym lučom, Metalovedeniye i termičes-  
kaja obrab. metallov, No 7, 1971, 63
- /8/ BLABLA, a kol.: Kvantové generátory, SNTL, Praha, 1968
- /9/ SPEICH, G. R., SZIRMAE A.: Rapid Heating by Laser  
Techniques v "Bunshah R. F. Techniques of metals research,  
1968, vol. I, part. 1
- /10/ MARKIN, L. I.: Fyzičeskije osnovy obrabotky materialov  
lučami lasera, Moskva 1975
- /11/ VODEHNALOVÁ, J.: Tepelné zpracování ocelových součástí  
paprsky laseru, /diplomová práce/, Liberec, 1980,  
VŠST Liberec. Fakulta strojní

/12/ KOKORA, UGLOV: O někoterych effektach sprovoždajuščich  
vezdejstvie impulsa lasera na stali

/13/ Doc. ing. CHALOUPECKÝ, V. a kol.: Výzkum kinetiky auste-  
nitizace vybraných nástrojových ocelí určených pro indukč-  
ní povrchové kalení, Liberec, VŠST Liberec, 1974

## P o d ě k o v á n í

Tímto si dovoluji poděkovat vedoucímu práce  
ing. Horynovi, CSc. a konzultantovi ing. Noskovi za  
pomoc a ochotu při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji všem pracovníkům katedry, zvláště  
pracovníkům z laboratoří KMM.