

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. C E J N A R A Jiříhoobor 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: Vliv některých technologických podmínek při ručním svařování nerezavějících ocelí na množství delta feritu ve svarovém kovu

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte doporučenou literaturu a seznáňte se s výsledky měření v diplomové práci s. Flégra DP-ST-1072/74.
2. Proveďte zkušební svary vzorků oceli typu 18 Gr-9 Ni (označení DIN 17440) elektrodami UTP 68 LC různých průměrů (2,5; 3,25; 4) při různých parametrech svařování a různé interpass teploty (upřesnění po dohodě s konzultantem).
3. Stanovte vliv interpass teploty a svařovacích parametrů na obsah delta feritu ve svarovém kovu.
4. Proveďte rozbor naměřených výsledků a porovnání s výsledky v DP s. Flégra.

Autorské práce se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962 a směrnicemi MŠK XW, část 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 a ústředního zákona č. 115/53 Š.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC, BUDENSKÁ 5

Rozsah grafických laboratorních prací: tabulky, grafy, fotografie

Rozsah průvodní zprávy: 45,- 55 stran textů

Seznam odborné literatury:

1. Němec J.: Svařování ocelí natikorozních a žáruvzdorných, SNTL Praha 1962
2. Sífirián D.: Nauka o kovech ve svařování ocelí, SNTL Praha 1962
3. Podhora S.: Měření obsahu feritu ve spojích svařovaných v ochranné atmosféře argonu. Zváranie 1968 str. 87-92
4. Hanalda : Tepelná kinetika pri zvaraní elektryckým oblúkom, SNTL Praha 1960
5. Flégr : Diplomová práce DP / ST - 1072/74

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Václav Chaloupecký CSc

Konsultanti: Ing. Heinz Neumann

Datum zahájení diplomové práce: 15. X. 1974

Datum odevzdání diplomové práce: 30. V. 1975



V. Chaloupecký
Doc. Ing. Václav Chaloupecký CSc
Vedoucí katedry

Oldřich Krejčíř
Doc. Ing. Oldřich Krejčíř CSc
Děkan

v Liberci 1 dne 10. X. 1974

VŠST Liberec

DP - ST 11 29/75

Fakulta strojní

KTM

1

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1975

Jiří Cejnar

V ý t a h z d i p l o m o v é p r á c e

1. Rámcové zadání

Vliv některých technologických podmínek při ručním svařování nerezivějících ocelí na množství delta feritu ve svarovém kovu.

2. Jméno diplomanta: Jiří Cejnar

3. Vedoucí DP: Doc. Ing. VÁCLAV CHALOUPECKÝ CSc

4. Stručný výtah z DP:

Tato práce zkoumá vliv některých svařovacích parametrů na vznik delta feritu ve svarovém kovu nerezivějících ocelí AISI 316 L.

Svařovací zkoušky byly provedeny na materiálu západoněmecké firmy DEW 17 440 DIN elektrodami UTP 68 LC. Delta ferit byl na zkušebních vzorcích vyhodnocován přístrojem FERRITSCOPE západoněmecké firmy HELMUT FISCHER GMBH CO.

V diplomové práci bylo zjištěno, že množství delta feritu je ovlivněno především chemickým složením elektrody a do jisté míry také na množství tepla vneseného do svaru.

5. Místo vypracování a obhajoby DP: KTM VŠST Liberec

O B S A H

	Výtah z diplomové práce	2
	Obsah	4
1.	Úvod	6
2.	Teoretická část	7
2.1.	Nerezivějící ocele	7
2.1.1.	Rozdělení nerezivějících ocelí	7
2.1.2.	Třídění austenitických ocelí	8
2.1.3.	Vliv přísadových prvků na vlastnosti nerezivějících ocelí	9
2.2.	Svařitelnost austenitických chromniklových ocelí	14
2.3.	Citlivost k praskavosti svarů	15
2.3.1.	Schaefflerův diagram	15
2.4.	Precipitace karbidů	18
2.4.1.	Mezikrystalická koroze	18
2.4.2.	Zvyšování odolnosti proti mezikrystalické korozi	20
2.5.	Obsah feritu ve svarech	22
2.5.1.	Způsoby měření obsahu delta feritu	24
2.5.2.	Porovnání jednotlivých metod	29
2.6.	Rozbor vzniku delta feritu	30
2.6.1.	Pozitivní a negativní vliv delta feritu	31
3.	Experimentální část	32
3.1.	Použitý materiál a elektrody	32
3.2.	Zkušební vzorky	33
3.3.	Volba technologických podmínek	33
3.4.	Svařovací zařízení	34
3.5.	Svařování zkušebních vzorků	37
3.5.1.	Praktické zkušenosti se svařováním vzorků	40
3.6.	Postup při vyhodnocování experimentů	44
3.6.1.	Příprava vzorků pro měření obsahu delta feritu	44

3.6.2.	Vyhodnocení delta feritu v Schaefflerově diagramu	45
3.6.3.	Měření obsahu delta feritu přístrojem FERRITESCOPE	47
3.6.4.	Metalografický rozbor	51
3.7.	Porovnání výsledků	52
3.8.	Vliv interpass teploty a svařovacích parametrů na obsah delta feritu ve svarovém kovu	53
4.	Závěr	70
	Literatura	72

1. Ú V O D

Růst úrovně národního hospodářství může zajistit jen důsledné uplatňování komplexní socialistické racionalizace, která je trvalou metodou řízení a organizace práce ve všech oblastech národního hospodářství.

Ve strojírenském průmyslu se toto projeví zaváděním nových pokrokových metod a technologických postupů, které zvyšují produktivitu práce a snižují materiálové náklady, zmetkovitost a pracnost výroby. Prudký rozvoj zaznamenává chemický průmysl, ve kterém stále rostou požadavky na materiál výrobního zařízení. Velkou úlohu v tomto průmyslu hraje zavádění vysoce legovaných nerezivějících ocelí. V rámci šetření se mohou nerezivějící ocele uplatnit většinou jenom ve stavu svařeném v konstrukční celky. Základním problémem, který je rozhodující pro svařitelnost nerezivějících ocelí, je nesporně sklon k tvoření trhlin ve svarových spojích. Tvorba trhlin je podmíněna mnoha vlivy, které byly předmětem řady výzkumných prací. Do popředí zájmu se dostává otázka zjišťování feritické fáze ve svarovém spoji a tím i otázka volby technologického postupu, kterým bude zajištěn určitý obsah delta feritu ve svarovém kovu. Zmíněná problematika je náplní celé diplomové práce.

2. T E O R E T I C K Á Č Á S T

2.1. Nerezivějící ocele [1]

Nerezivějící ocele odolávají korozi v prostředí roztoků různých solí, kyselin, par a plynů. Základním slitinovým prvkem každé nerezivějící ocele je chrom a to v množství nejméně 12 %. Velká odolnost proti korozi se u ocelí obsahujících chrom projevuje v prostředí okysličujícím, jakým je například kyselina dusičná. Protože kyselina solná a kyselina sírová nemají účinek okysličující, působí naopak redukčně, nemá ocel s 12 % chromu vůči nim zvláštní odolnost. Výrazného zlepšení odolnosti oceli proti uvedeným dvěma kyselinám se dosahuje přidáním niklu, který má za následek i zlepšení mechanických vlastností ocele. Dále nerezivějící ocele obsahují molybden, který má podobné vlastnosti jako chrom.

V nerezivějících ocelích je vždy obsaženo malé množství uhlíku, který je nežádoucí a je důsledkem hutnické výroby ocele. U některých nerezivějících ocelí je však uhlík žádoucí pro zušlechťení na potřebnou pevnost či zakalení na vysokou tvrdost.

2.1.1. Rozdělení nerezivějících ocelí [6]

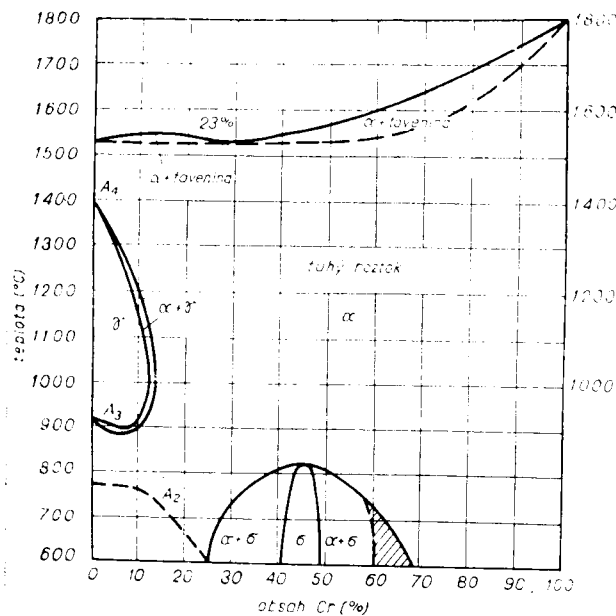
Na rovnovážném diagramu železo - chrom, který je na obrázku 1 jsou dvě oddělené fáze γ a δ . Tento diagram je základem pro rozdělení chromových ocelí na tři velké skupiny:

a/ martenzitické - kalitelné

b/ feritické - nekalitelné

c/ austenitické - nekalitelné

Třetí skupina ocelí je v praxi nejvíce rozšířena. Měření v praktické části diplomové práce bylo prováděno na vzorcích s austenitické ocele, a proto bude dále věnována této skupině oceli větší pozornost. Ve prospěch ocelí martenzitických a feritických hovoří jejich nižší cena v porovnání s austenitickými oceli, které obsahují nikl - deficitní kov v celosvětovém měřítku.



Obr. 1. Rovnovážný diagram železo - chrom

2.1.2. Třídění austenitických ocelí [2]

Chromniklové austenitické nerezivějící ocele používané pro svařování mohou být rozděleny do různých skupin:

1/ Austenitické ocele typu 18 - 8 / 18 % Cr, 8 % Ni/

s přísadou nebo bez přísady jiných speciálních prvků, jako jsou molybden, titan, niob, atd.

2/ Austenitické ocele typu 20 - 10 / 20 % Cr, 10 % Ni / s přísadou nebo bez přísady jiných prvků.

3/ Austenitické ocele typu 16 - 13 / 16 % Cr, 13 % Ni / s přísadovými prvky nebo bez nich.

4/ Žáruvzdorné austenitické ocele, odolné proti vysokým teplotám. Pro tuto oblast se nejvíce používá ocelí 24 % Cr - 12 % Ni a 25 % Cr - 20 % Ni s přísadou nebo bez přísady manganu, molybdenu, niobu atd.

2.1.3. Vliv přísadových prvků na vlastnosti nerezivějících ocelí

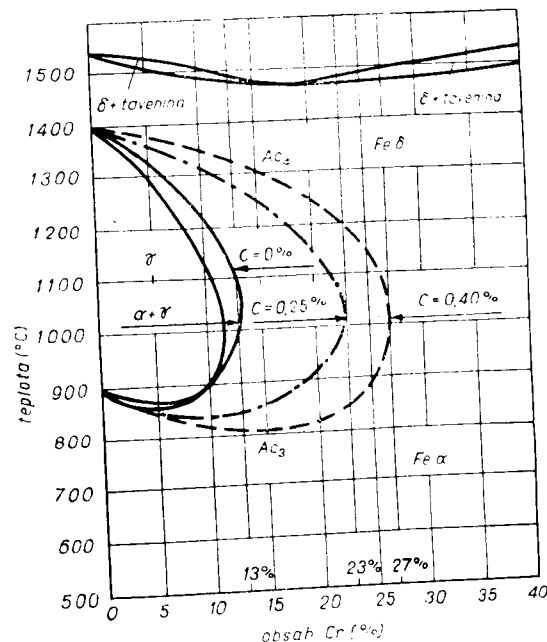
[2]

Chrom je základním prvkem charakterizující antikorozi žáruvzdorné ocele. Zlepšuje odolnost proti korozi. Rovnovážný diagram železo - chrom je znázorněn na obr. 1. Chrom je feritotvorný prvek, to znamená stabilizuje fázi δ , zmenšuje oblast γ , která se rozkládá mezi 910°C a 1400°C. Při stoupajícím obsahu chromu teplota A_3 nejprve klesá z 910 na 850°C a dále při 12 % chromu stoupá na teplotu 1000°C, kde se spojuje s křivkou A_4 a tím uzavírají oblast γ . Celá oblast ležící nad 13 % Cr se skládá z jediné fáze feritu bez přeměny. Při vyšším obsahu chromu se objevuje právě u 45 % Cr křehká fáze ϵ a v intervalech 25 % - 40 % a 48 % - 65 % Cr jsou oblasti, kde se nachází v rovnováze fáze δ a ϵ .

Uhlík je prvek austenitotvorný, rozšiřuje oblast γ

slitin železa s chromem a dále tvoří se slitinami železo-chrom několik komplexních karbidů.

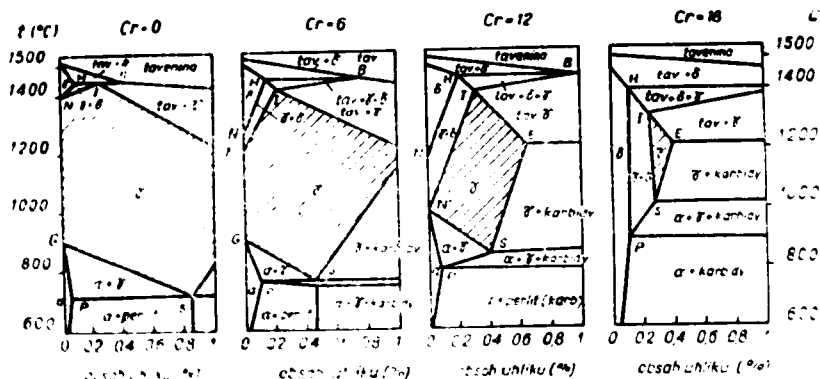
Diagram na obr.2 ukazuje vliv uhlíku na rozšiřování oblasti gama u slitin železo-chrom.



Obr. 2. Vliv uhlíku na rozšíření oblasti γ

V diagramu na obr.3 je možno sledovat změny čar přeměny rovnovážné soustavy železo-uhlík v závislosti na obsahu chromu. Body G a N se k sobě přibližují, uzavírají oblast γ a rozšiřují oblasti α a $\gamma + \delta$. Při obsahu uhlíku nižším než 0,30 % mizí u 18 % Cr oblast γ a při obsahu pod 0,15 % uhlíku existuje pouze jediná fáze δ , kdežto v rozmezí 0,15 - 0,30 % uhlíku jsou 2 fáze $\gamma + \delta$. Eutektoidní bod S se přesunul k 1030°C a příslušný obsah uhlíku je pouze 0,30 %. Oblast tří fází $\alpha + \gamma +$ karbi-

dy se zřetelně rozšířila.

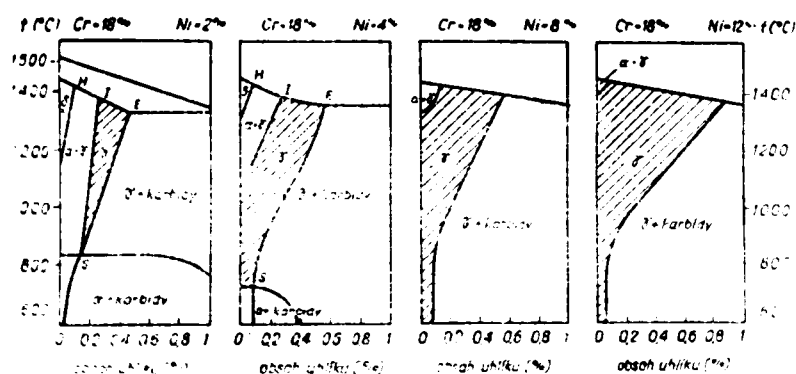


Obr. 3. Vliv chromu na polohu čar diagramu železo-uhlík

Nikl je jako uhlík prvkem austenitotvorným, t.j. stabilizátorem austenitické fáze a zvyšuje prokalitelnost ocelí - to znamená, že snižuje kritickou rychlost kalení. U slitin železo-chrom s 18 % Cr přísada niklu rozšiřuje oblast gama, postupně zmenšuje oblast alfa, oblast alfa a karbidy a snižuje polohu eutektoidního bodu S. Klasické oceli s 18% Cr a 8% Ni s velmi nízkým obsahem uhlíku jsou výlučně tvořeny stálou austenitickou fází. Je-li přítomen uhlík, má snahu precipitovat ve formě komplexních karbidů. Se vzrůstem obsahu uhlíku lze pozorovat rozšiřování austenitické oblasti.

Diagram ternární soustavy železo-nikl-chrom udává rozdělení různých složek získaných rychlým ochlazením oceli s 0,10 % uhlíku. Teplotní cykly svaru klasických ocelí 18 Cr - 8 Ni způsobí vznik metastabilního austenitu těsně u oblasti A_m + martenzitu. Stačí přísada feritotvorného prvku / chrom, titan, křemík, niob /, aby se tento bod po-

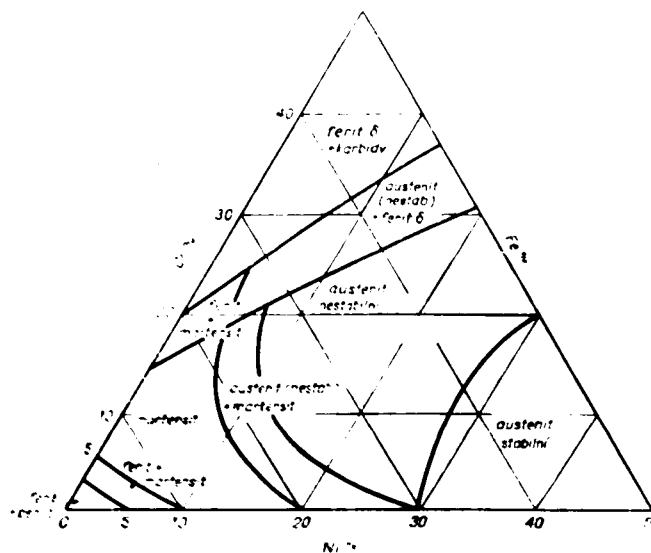
sunul k dvoufázové oblasti austenitu a feritu.



Obr. 4. Vliv niklu na ocel s 18 % Cr

O této problematice bude pojednáno v kapitole 2.3.1.

Nikl tedy stabilizuje austenitickou fázi, v čemž je podstata klasické nerezivějící ocele typu 18 Cr - 8 Ni.



Obr. 5. Ternární diagram slitin železo-chrom-nikl

/ C = 0,10 % / po rychlém ochlazení z tekutého stavu

U austenitických ocelí neprobíhají žádné přeměny, a proto

mohou být náchylné na hrubnutí zrna přehřátím. Zjemňující účinek niklu snižuje výrazně tento sklon k zhrubnutí zrna, ke kterému by mohlo dojít při svařování.

Mangan jako austenitotvorný prvek zvyšuje stabilitu austenitu v austenitických chromniklových ocelích. Manganem lze nahradit část niklu nebo nikl úplně. Existují austenitické ocele chrommanganové nebo chromniklmanganové. Tyto ocele jsou dokonale svařitelné ze stejného důvodu jako ocele chromniklové.

Křemík je feritotvorný prvek, zvyšuje odolnost austenitických chromniklových ocelí proti okysličování oxidačními plyny za tepla. Stejně jako chrom podporuje vznik feritické fáze. Přebytek křemíku zvyšuje náchylnost austenitických ocelí k praskavosti za tepla. Proto má být obsah tohoto prvku omezován, aby se zabránilo při svařování praskavosti.

Hliník je feritotvorný prvek. Chová se jako křemík, chrání kov před okysličováním za tepla a opět zvyšuje citlivost k tvorbě trhlin.

Molybden je rovněž prvkem feritotvorným a tedy stabilizuje ferit. Působí nejen na strukturu, ale také svou chemickou odolností proti určitým korozním napadením, zvláště v redukčních kyselinách a za přítomnosti iontů chloru, kdy je pasivita oceli vlivem chromu málo stálá. Přísadou molybdenu se u austenitu zvyšuje tažnost za vysokých teplot, a tím se snižuje citlivost k tvoření trhlin za tepla.

Wolftram je feritotvorný prvek a neovlivňuje většinou odolnost proti korozi. Zlepšuje některé mechanické vlastnosti

za tepla i za studena.

Titan se přidává do austenitických ocelí k vázání přítomného uhlíku. Tento prvek s větší afinitou k uhlíku než chrom tvoří karbid titanu, který zamezuje vzniku a precipitaci karbidu chromu v oblasti 700°C , a zabraňuje tak ochuzování oblastí precipitace o chrom. Tato precipitace by měla jít příčinu mezikrystalické koroze. Titan je silně feritotvorný, zjemňuje zrna a ve slitině ho má být asi čtyřnásobek obsahu uhlíku.

Niob potlačuje vznik karbidu chromu svojí větší afinitou k uhlíku, podobně jako titan. V oceli má být obsah titanu desetinásobně větší než je obsah uhlíku, přičemž nemá překročit 1 %.

Dusík působí stejně jako uhlík a nikl. Je silně austenitotvorný jako tyto prvky. Může částečně až úplně nahradit nikl. Přibližně 1 % dusíku nahradí 10 % niklu,

Měď je slabě austenitotvorná a strukturu prakticky neovlivňuje. Přidává se do antikoročních ocelí k zlepšení jejich chemické odolnosti proti některým kyselinám.

2.2. Svařitelnost austenitických chromniklových ocelí [2]

Svařitelnost austenitických ocelí chromniklových ovlivňují tři hlavní jevy:

- 1/ Citlivost k tvoření trhlin ve svarovém nebo základním kovu, což souvisí se strukturou.
- 2/ Precipitace karbidu chromu, jejímž důsledkem je mezikrystalická koroze.
- 3/ Vznik intermediální fáze δ při určitém chemickém složení a v určité oblasti teplot, což je příčinou křeh-

nutí oceli.

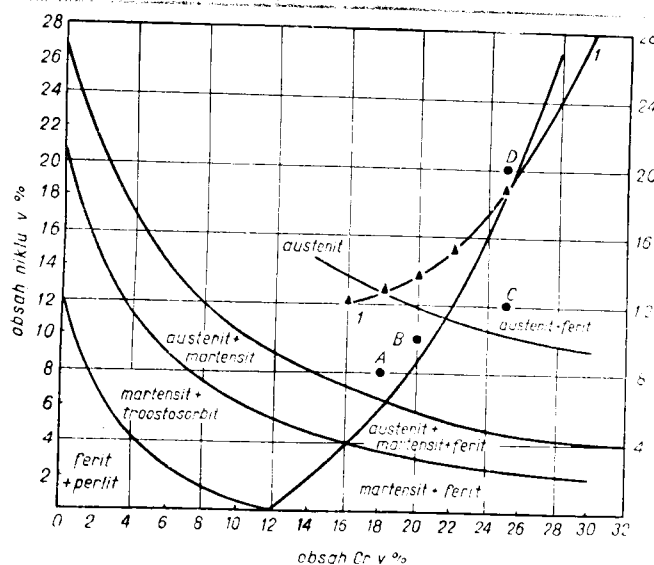
2.3. Citlivost k praskavosti svarů [2]

Citlivost kovu svařovaného elektrickým obloukem k praskavosti byla předmětem mnoha studií. / Zapffé, Schaeffler atd./ . Pokud jde o praskavost svarového nebo základního kovu, bylo vysloveno několik domněnek. Zapffé připisuje náchylnost čistě austenitických ocelí k praskavosti za tepla vzniku blanky křemičitanů kolem zrn austenitu. Vzniku křemičitanů se zabrání, podpoří-li se vznik fáze delta, jež může precipitovat na hranicích zrn gama. Přebytek feritu není však zvlášť výhodný, protože snižuje vysokou houževnatost austenitu. Důvodem pro tuto domněnku je skutečnost, že přebytek křemíku ve svarovém kovu zvyšuje náchylnost austenitu k praskavosti. Je rovněž známo, že nerezivějící elektroda s rutilovým obalem způsobuje v návařu kovu snáze trhlinky než elektroda se zásaditým obalem, a to proto, že se zvyšuje obsah křemíku ve svarovém kovu.

2.3.1. Schaefflerův diagram. [2]

Tento diagram je důležitý při svařování chromniklových ocelí pro vymezení podmínek provádění homogenních i heterogenních spojů austenitickými elektrodami.

Schaefflerův diagram vyplývá z diagramu Maurerova /obr.6/, který znázorňuje oblasti rozmanitých chromniklových ocelí v závislosti na skutečných obsazích chromu a niklu.



Obr. 6. Diagram podle Maurera

Velkou zásluhou Schaefflera je, že sestavil svůj diagram se zřetelem na feritotvorné a austenitotvorné vlastnosti různých prvků, které se vyskytují v oceli. Souřadnicemi diagramu jsou:

ekvivalent chromu

$$/Cr/ = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \% Nb \text{ na ose } x$$

ekvivalent niklu

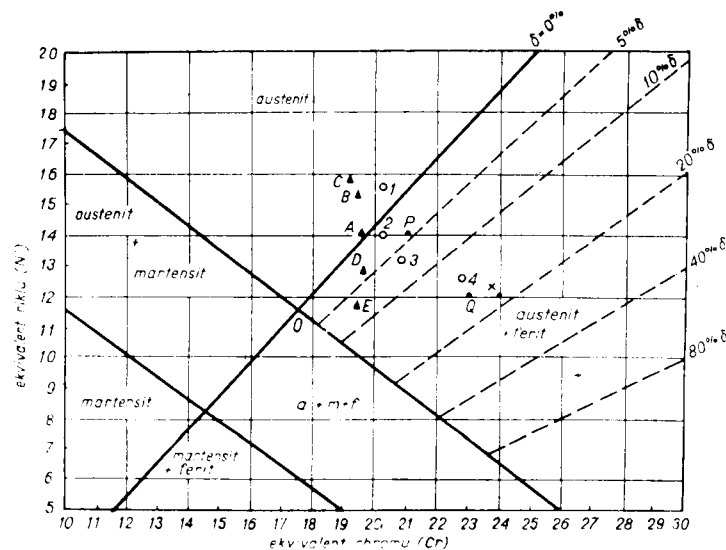
$$/Ni/ = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn \text{ na ose } y.$$

Původní znázornění Schaefflerova diagramu je na obr.7, kde jsou oblasti různých fází vymezeny přímkami.

Tento diagram byl později upraven De Longem [4], který upravil ekvivalent chromu a niklu na:

$$/Cr/ = \% Cr + \% Mo + 1,5 \times \% Si + 0,5 \times \% Nb + 3,5 \times \% Ti + \% V + \% W$$

$$/Ni/ = \% Ni + 30 \times \% C + 0,5 \times \% Mn + 0,5 \times \% Co + 30 \times \% N_2$$



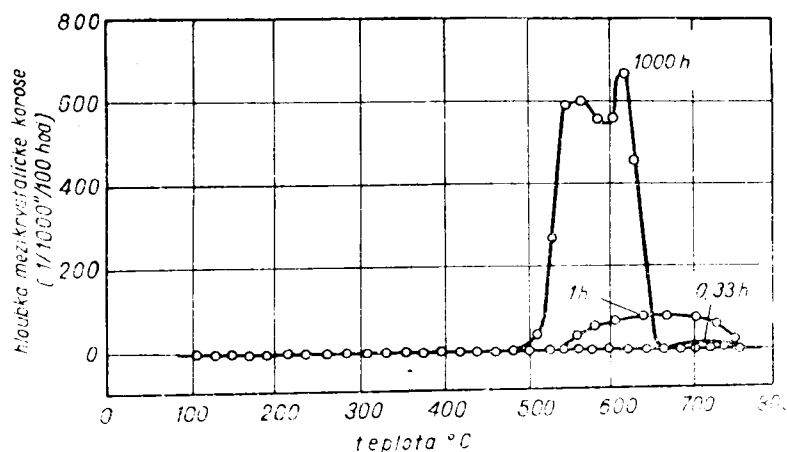
Obr. 7. Schaefflerův diagram

Použití diagramu pro studium heterogenních svarových spojů kalitelných feritických ocelí s oceli austenitickými bylo již předmětem mnoha pojednání. Tyto studie, zvláště práce Schaefflerovy, ukázaly, že citlivost svaru austenitické ocele k praskavosti klesá, přechází-li se z čisté austenitické fáze do oblasti austenitickoferitické. Zkouškami se ukázalo, že oceli s obsahem 4 - 7 % feritu nejsou prakticky citlivé k praskavosti, kdežto není-li ferit přítomen, stoupá citlivost k praskavosti od A do C. Zřetelně austenitické ocele jsou na Schaefflerově diagramu znázorněny bodem B a C, jsou na tvoření trhlin velmi citlivé. Ocele D a E se 4 - 7 % feritu neukázaly vůbec trhlinky.

2.4. Precipitace karbidů

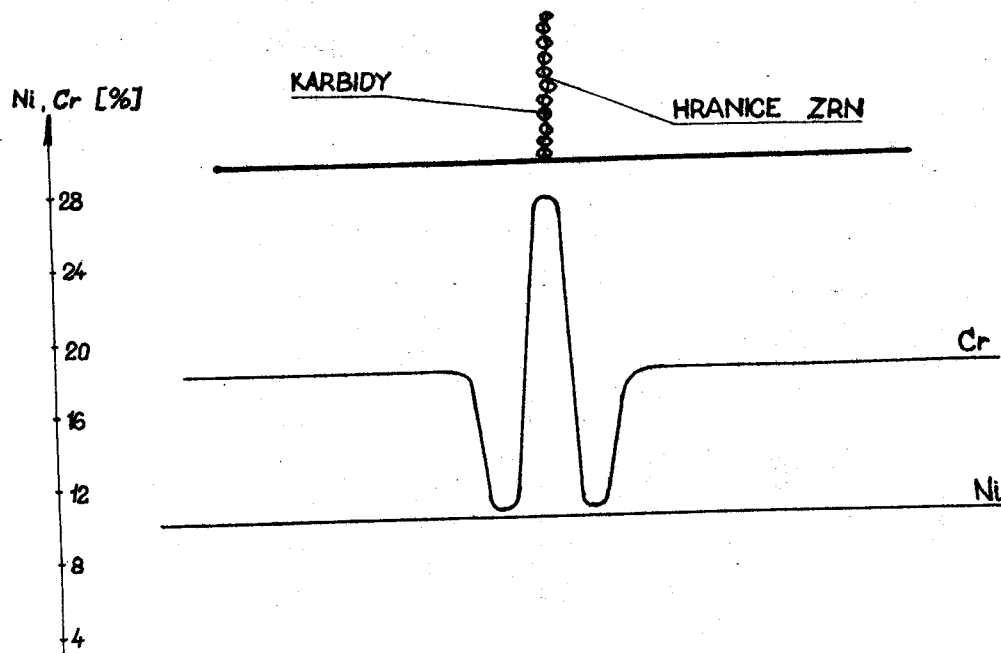
2.4.1. Mezikrystalická korozí [2]

Tento druh korozí, vlastní právě austenitickým ocelím, je jednou z příčin nejisté svařitelnosti ocelí pro stavbu zařízení, která mají mít velkou odolnost proti korozí. Výsledkem několika prací v tomto směru je vymezení oblasti kritické teploty zcitlivění oceli, jež leží mezi 480 a 750°C. Ta závisí na četných činitelích, zvláště na chemickém složení oceli a na době setrvání na teplotě zcitlivění. Vliv doby setrvání na teplotě zcitlivění s ohledem na hloubku mezikrystalické korozí udává obr.8.



Obr. 8. Vliv doby ohřevu na polohu kritického teplotního pásma / C = 0,08 %, Cr = 18,1 %, Ni = 8,9 % /

K vysvětlení mezikrystalické korozí bylo vypracováno mnoho teorií. Nejspokojivější teorie předpokládá, že precipitací karbidu chromu na hranicích zrn austenitu dojde k ochuzení okolí hranic o chrom. / Obr.9 /



Obr. 9. Mezikrystalické vylučování karbidů chromu

Rozbory těchto karbidů ukázaly, že obsahují asi 90 % Cr a 5 % C. Toto složení odpovídá v podstatě složení karbidu Cr_{23}C_6 . Vliv mezikrystalické koroze u austenitických ocelí chromniklových je zřejmý z obr.10.



Obr. 10. Základní ocel typu 18 - 8 v pásmu zcitlivění, zvětšeno 1200 x

2.4.2. Zvyšování odolnosti proti mezikrystalické korozi.

Precipitace karbidu chromu, která je příčinou mezikrystalické koroze, závisí zhruba na těchto činitelích:

- a/ chemické složení oceli
- b/ doba setrvání na kritické teplotě
- c/ stabilizační prvky
- d/ struktura
- e/ tepelné a mechanické zpracování.

Vliv chemického složení - působení uhlíku je jádrem celého problému. Řešením by bylo snížit obsah uhlíku pod hranici rozpustnosti v austenitu, tedy pod 0,02 % C. U svarů s velmi rychlými teplotními cykly, lze tuto hranici zvýšit z 0,02 na 0,05 % C. Má-li chrom příznivý účinek, nikl naopak zvětšuje náchylnost ocelí k mezikrystalické korozi. Zvyšuje-li se tedy obsah niklu, je třeba snižovat obsah uhlíku, aby se zabránilo mezikrystalické korozi. Vliv molybdenu, prvku obdobně feritotvorného jako chrom, je příznivý. Přísada tohoto prvku zpomaluje vylučování karbidu a dovoluje vyšší obsah uhlíku v oceli.

Vliv doby setrvání v oblasti zcitlivění - doba žhání úměrně posunuje kritické pásmo zcitlivění k nižším teplotám.

Vliv stabilizačních prvků - obtížnost snižování uhlíku pod 0,02 % vedla k tomu, že se do ocelí přidávají prvky s vyšší afinitou k uhlíku než má chrom, jako jsou titan a niob.

Precipitace karbidu TiC a NbC brání vzniku karbidu chromu.

Vliv struktury - přítomnost delta feritu snižuje teplotu zcitlivění austenitické ocele.

Vliv delta feritu na zpomalení mezikrystalické koroze se dá vysvětlit takto:

- 1/ za přítomnosti feritu se uhlík snaží shromažďovat ve všech fázích a také na hranici ostrůvků delta feritu, které odklopují zrna austenitu,
- 2/ obsah chromu ve feritu je poněkud vyšší než u austenitu, který je s tímto feritem v rovnováze. Ferit, bohatý na chrom, odolává lépe mezikrystalické korozi,
- 3/ protože krystalová mřížka feritu je atomy řídčeji obsazena než mřížka austenitu, difunduje v ní chrom rychleji. Proto může nastat regenerace před začátkem koroze,
- 4/ protože délka hranic omezující jednotlivé fáze je přítomností feritu větší, je hustota vyprecipitovaných karbidů menší,
- 5/ nezaujímá-li ferit celý obvod zrna austenitu, vyprecipitovaný karbid netvoří souvislé síťové a mezikrystalická koroze se takto omezí.

Vliv tepelného a mechanického zpracování -

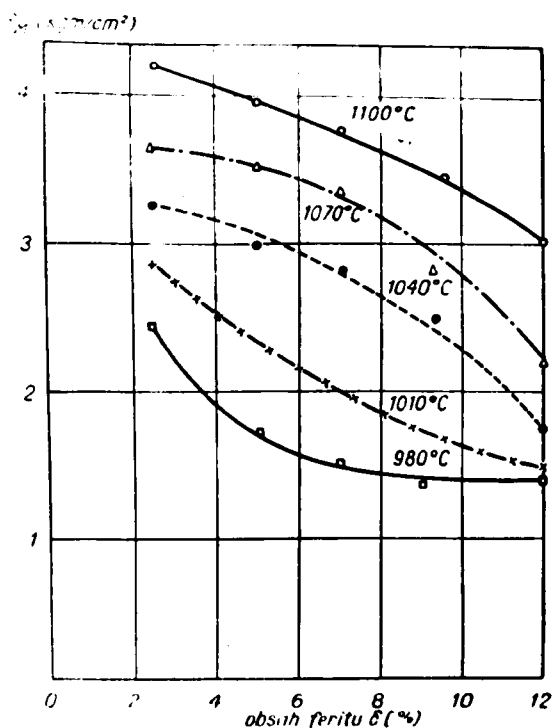
a/ tepelné zpracování svarů - austenitická ocel ohřátá nad 750°C může pomalu rozpouštět vyprecipitovaný karbid chromu a rychlým ochlazením z této teploty lze ocel udržet v austenitickém stavu. Je-li to možné, austenitizace nad $950 - 1000^{\circ}\text{C}$ urychlí rozpouštění karbidu a rychlé ochlazení na vzduchu, zabrání precipitaci. Svarový spoj se stane necitlivým k mezikrystalické korozi.

b/ mechanické zpracování - ukázalo se, že zůstane-li aus-

tenitická ocel po dobu delší než 1000 hodin na teplotě 650 - 700°C, struktura má sklon k regeneraci vlivem difuze chromu a uhlíku. Tato regenerace se urychlí předchozím tvářením kovu za studena. Tvářením oceli se zužuje pásmo citlivosti. k precipitaci.

2.5. Obsah feritu ve svarech.

Praktické zkušenosti a různé výzkumné práce ukázaly, že pro zmenšení praskavosti svaru austenitických nerezivějících chromniklových ocelí je velmi prospěšné, když je v něm přítomno vhodné množství feritu.



Obr. 11. Vliv obsahu delta feritu v austenitické oceli po žihání na určitých teplotách na vrubovou houževnatost

Nejde tedy již o strukturu austenitickou, ale o strukturu austeniticko feritickou, přičemž vhodné množství feritu delta je asi 5 %. Nesmí být feritu více, protože má nežádoucí účinky, např. zmenšuje houževnatost svaru za nižší teploty. / Obr.11 /

Obsah feritu ve svarovém kovu austenitických chromniklových ocelí závisí na chemickém složení svarového kovu. [1]

Vznik feritu ve struktuře podporují prvky chrom, křemík, molybden, niob a vanad a vznik austenitu podporují prvky uhlík, nikl, mangan a dusík. U ocelí, které pracují za vysokých teplot a vysokých tlaků, jako je tomu při syntéze močoviny, je požadován jako základní materiál čistě austenitická ocel [4], přičemž svary mohou mít maximální obsah deltaferitu 3 %, aby nedocházelo ke vzniku trhlin za tepla při svařování, je minimální obsah delta feritu 1 %.

Obsah delta feritu ve svarovém kovu je omezen [4] :

- 1/ prostředím, ve kterém bude ocel pracovat. Výrazný vliv se projevuje zejména u ocelí typu 18 Cr - 8 Ni s molybdenem. Ukazuje se, že ferit v silně oxidačním prostředí je méně odolný, naproti tomu austenit je méně odolný v redukčním prostředí. Podle druhu prostředí je proto nutno vymezit obsah delta feritu,
- 2/ teplotou media. Při pracovních teplotách nad 500°C a obsahu feritu nad 5 % vzniká křehká fáze sigma, která se převážně transformuje z feritu.

Z těchto všech požadavků vyplývá, že nutný obsah delta feritu pro zajištění odolnosti proti tvoření trhlin za tepla je v rozmezí 1 - 2%. Aby nedocházelo k snížení korozní

odolnosti a ke vzniku fáze sigma může ve svarovém kovu být delta feritu maximálně 3 - 5%. Proto je třeba udržovat obsah delta feritu ve velmi úzkém rozmezí. To přináší s sebou řadu technologických problémů a to jak po stránce výrobní, tak i z hlediska kontroly svarových spojů.

2.5.1. Způsoby měření obsahu delta feritu [4]

Metody na určování obsahu feritu je možno rozdělit podle několika hledisek:

Podle stupně přesnosti a použití:

- A/ metody laboratorní
- B/ metody provozní /průmyslové/

Podle druhu měřeného předmětu:

- 1/ měření základního kovu
- 2/ měření svarového kovu
- 3/ měření svarového spoje

Podle principu metody:

- a/ výpočet a zjištění podle Schaefflerova diagramu
- b/ metalografická metoda
- c/ měření magnetických vlastností
- d/ rentgenografická metoda
- e/ zjišťování obsahu feritu měřením hustoty strukturních fází
- f/ zjišťování obsahu feritu ze změny elektrického odporu.

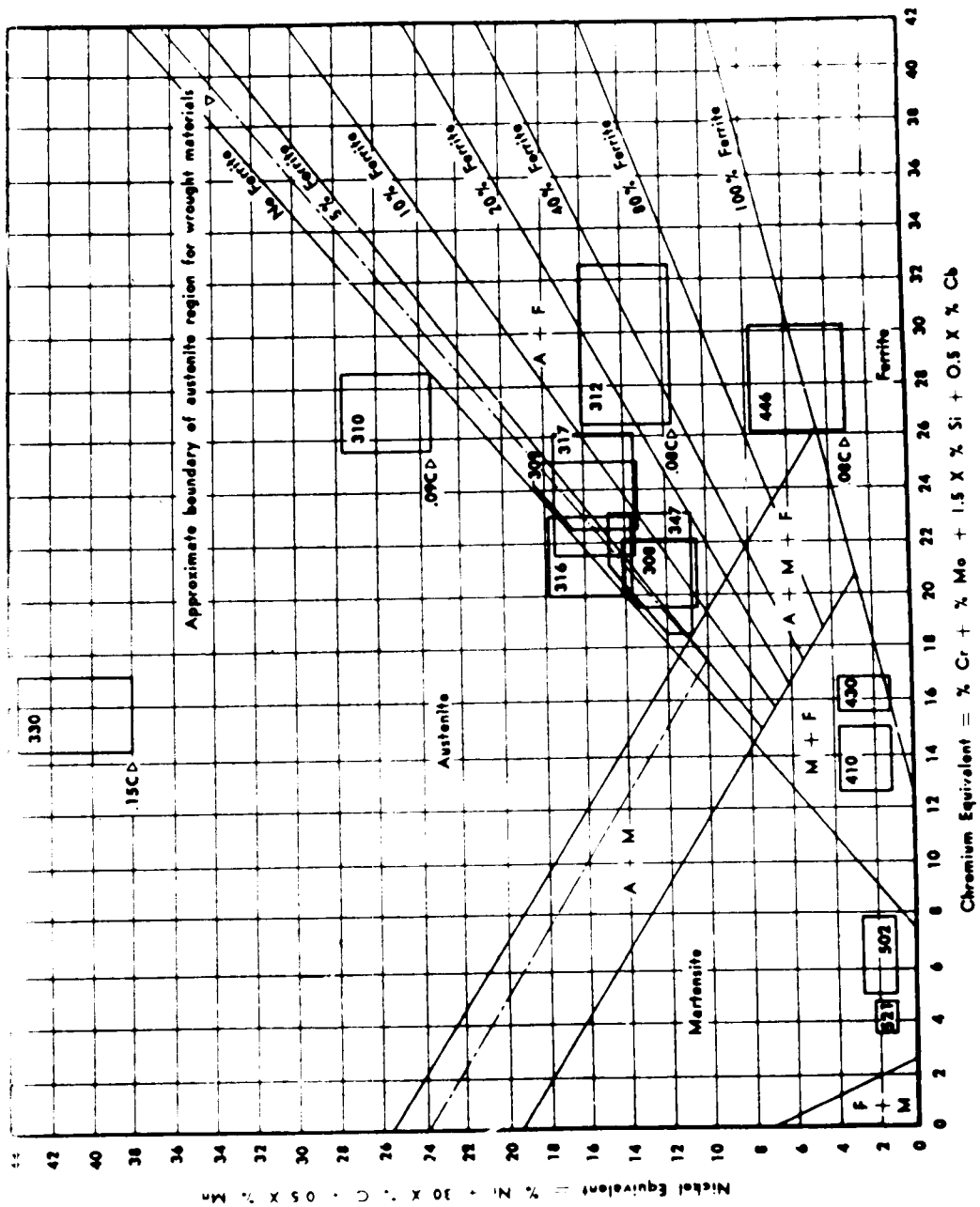
Z uvedených metod jsou pro provozní měření nejprístupnější první tři metody, zatímco metody d/, e/ a f/ jsou metody používané v laboratorních podmínkách a nebudou proto dále rozváděny.

Zjišťování obsahu delta feritu pomocí Schaefflerova diagramu je probrána v kapitole 2.3.1. Tato metoda má jen informativní charakter, protože chyba může činit až 10 %. Z obr. 12 [8] je zřejmé, že pro různé elektrody může být obsah delta feritu ve svarovém kovu svařovaném za průměrných svařovacích podmínek, ve velmi širokém rozmezí.

Kvantitativní statistická metalografická metoda je jednou ze základních způsobů určování obsahu delta feritu, neboť nevyžaduje žádných etalónů. Mezi nejčastěji používané metody kvantitativní metalografické analýzy patří metoda bodová, přímková a mřížková. Všechny tyto metody umožňují na základě statistických zákonitostí podle předem zvolené úchytky, rychle určit obsah delta feritu za předpokladu, že podíl strukturní složky v rovině a objemu tělesa je stejný. Tento předpoklad značně snižuje přesnost metody. U svarových kovů je určování obsahu feritu zvlášť obtížné a nepřesné pro značnou jemnozrnost a dendritickou segregaci, kdy leptací účinek komplikuje vyhodnocení.

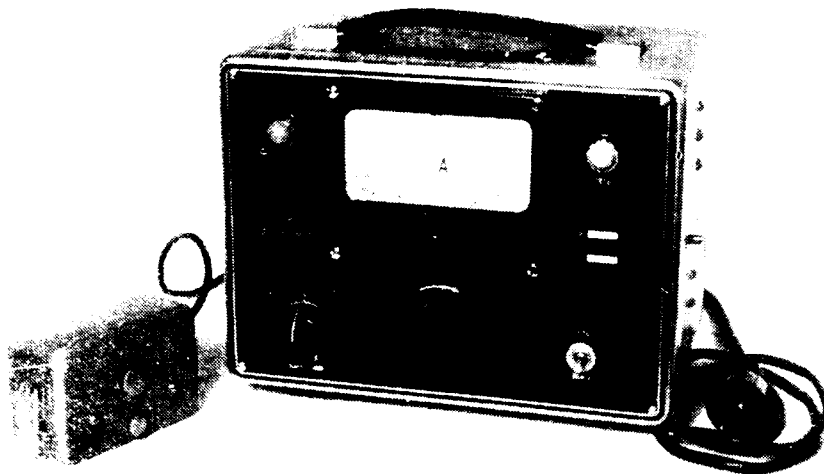
Zjišťování obsahu feritu měřením magnetických vlastností

Základem tohoto měření je známá skutečnost, že ferit je složka feromagnetická a austenit, sigmafáze a většina komplexních karbidů jsou paramagnetické. V podstatě se potom měření dá nazvat měřením magnetické nečistoty v paramagnetické látce. Využívá se toho, že se feromagnetikum při určité intenzitě pole dostává do stavu nasycení a jeho magnetizace se už dalším zvyšováním intenzity magnetického pole nemění. Prvním druhem těchto přístrojů jsou magnetické váhy. Vzorek, zavěšený na rameni vah je vtahován



Obr. 12. Schaefflerův diagram

mezi elektromagnetické póly. Při nulové intenzitě magnetického pole je vyvážen feromagnetickým válečkem. Silové působení magnetického pole, které paramagnetickou látku vtahuje do intenzivnější oblasti a diamagnetickou z ní vypuzuje, je kompenzováno silovým působením cívky na feromagnetický váleček. Změna proudu v cívce, potřebná k obnovení rovnováhy po zapojení určitého proudu do elektromagnetu, je mírou obsahu feromagnetické složky. Na podobném principu pracuje sovětský přístroj KZE /obr.13/.



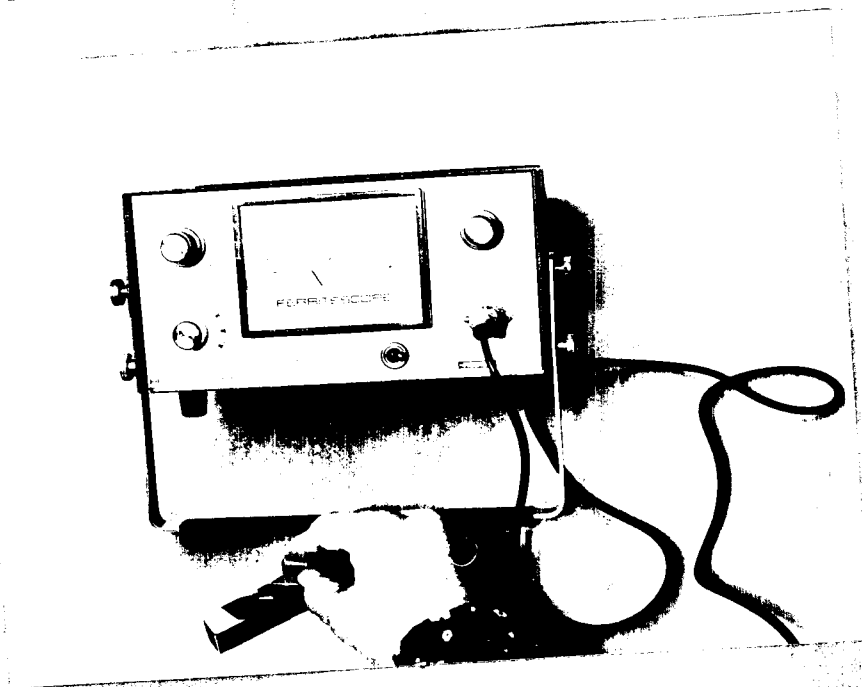
Obr. 13. Přístroj KZE

Zde je vahadélko s cívkou umístěno v ruční sondě s přístrojem spojené kabelem.

Balistická metoda - základem je vhodný balistický galvanometr či fuxmetr a elektromagnet vytvářející magnetické pole intenzity potřebné k magnetickému nasycení měřeného

vzorku. Přesnost stanovení obsahu feritu do obsahu asi 20 % bývá udávána $\pm 0,5$ %. Na podobném principu je konstruován i přístroj FERRITSCOPE /obr.14/ vyráběný západoněmeckou firmou FISCHER, na kterém bylo v praktické části prováděno měření obsahu delta feritu. Magnetický okruh je zde tvořen vlastním vzorkem, k němuž jsou přiloženy dva doteky sondy a vinutím. Indukovaný proud je měřen miliampérmetrem, který je pro daný účel oceňován přímo v procentech feritické fáze. Stejný přístroj vyrábí firma pro jiné účely - měření tlouštěk nemagnetických materiálů. [5] Přístroj je konstruován jako přenosný napájený suchými články. Cejchování přístroje, který má dva doteky, do 5 % a do 30 % feritu, se děje vkládáním destiček z umělé hmoty o různé tloušťce mezi sondu a cejchovní vzorek z měkkého železa. Citlivost přístroje udává výrobce $\pm 0,05\%$ pro rozsah do 5 %. To znamená, že chyba je 1 %. Výrobce uvádí v návodu použití korekční křivky pro tloušťku měřených vzorků a pro zakřivení povrchu. Nevýhodou dvoubodového doteku je značný směrový účinek magnetického pole, který se projevuje u materiálů s vláknitým / válcovaným / charakterem značnou nerovnoměrností v naměřených hodnotách ve směrech na sebe kolmých. Podobně se liší výsledky například při proměřování hrubozrnných dentritických svařů. Tuto nepřesnost měření, která se někdy projevuje rozptylem v naměřených hodnotách až o 100 %, je nutno odstranit několikanásobným měřením v jednom místě tak, že sondu klademe ve dvou směrech na sebe kolmých. Tato metoda

v podstatě nevyžaduje přípravu metalografického vzorku, i když jakost měřené plochy do určité míry může ovlivnit hodnotu měření, čímž se měření stává provozně pohodovější a univerzálnější, neboť ji lze eventuálně použít i v provozech k měření na hotových výrobcích.



Obr. 14. Přístroj FERRITOSCOPE

Určitou výhodou přístroje je, proti jednobodovému sovětskému přístroji, že měří určitou průměrnou hodnotu mezi dvěma doteky sondy, které jsou od sebe vzdáleny 5 mm, protože delta ferit není ve svaru rozmístěn homogenně. [5]

2.5.2. Porovnání jednotlivých metod měření

Zjišťování obsahu feritické fáze podle Schaefflerova diagramu je velmi jednoduché, avšak příliš nepřesné, viz kapitola 2.5.1. Proto se tato metoda používá spíše pro předběžné či kontrolní určení obsahu feritické fáze.

Metalografická metoda je v současné době velmi přesná, neboť se na trhu objevilo několik přístrojů, které rozbor touto metodou provádějí automaticky. [5] Nevýhodou však je, že tato metoda vyžaduje velmi perfektně zhotovený metalografický výbrus a tudíž je náročná a méně pohotová. Přihlíželi se k ovladatelnosti a pohotovosti přístroje, jeví se nejlepší přístroj Feritescope, neboť je přenosný a přímo cejchován v procentech delta feritu.

2.6. Rozbor vzniku delta feritu [7]

Rozbor proveden podle Parksovy teorie. Na příkladu svarového kovu 18 Cr - 8 Ni, který obsahuje 0,1 % C vysvětluje, že při tuhnutí roztaveného kovu se vytváří jako první fáze delta ferit a absorbuje prvky, které jsou schopny ho vytvářet. Při chladnutí na peritektickou teplotu se zbytková tavenina přeměňuje na austenit a ferit nebo reaguje s feritem a vytváří austenit / procesy závisejí na obsahu uhlíku /. Při dalším chladnutí je ferit postupně absorbován pokračujícím růstem austenitu a jelikož prvky vytvářející ferit se velmi nesnadno vměstňávají do austenitické mřížky, mají snahu se shromažďovat na okamžitém fázovém rozhraní austenit-ferit. Když akumulace překročí kritické množství, nastane oddělování zrnových hranic a vyvinou-li se v tomto okamžiku dostatečná pnutí, nastává praskání za tepla. Množství delta feritu, potřebné k zamezení vzniku trhlin za tepla, je dáno obsahem křemíku a nečistot ve svarovém kovu a maximálním množstvím feritu, který se tvoří při peritektické teplotě.

2.6.1. Positivní a negativní vlivy delta feritu

Positivní vliv delta feritu ve svarovém kovu spočívá v tom, že zmenšuje praskavost svarového kovu za tepla, snižuje teplotu zcitlivění austenitických ocelí, zpomaluje mezi-krytalickou korozi a dále s obsahem delta feritu roste mez průtažnosti a pevnosti.

Mezi negativní vlivy patří snížení vrubové houževnatosti a možnost přeměny delta feritu na sigma fázi, při které dochází ke značnému poklesu mechanických vlastností. Při větším obsahu delta feritu dochází v některých prostředích ke snížení korozní odolnosti austenitických ocelí.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Použitý materiál a elektrody

Úkolem diplomové práce je zjistit vliv některých svařovacích parametrů na množství delta feritu ve svarovém kovu ocelí typu 18 Cr - 9 Ni, označení DIN 17 440. K tomuto účelu dodal n.p. ZVÚ Hradec Králové vzorky z ocele, vyráběné západoněmeckou firmou DEW AISI 316 L. Vzorky byly dodány ze dvou taveb, jejichž složení udává tabulka I.

Tavba	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni
25226	0,017	0,380	1,770	0,016	0,006	18,180	10,910
25237	0,023	0,290	1,890	0,016	0,013	18,210	11,210

Tabulka I

Zkušební svary vzorků byly provedeny elektrodami UTP 68 LC švýcarské firmy UTP SCHWEISSMATERIAL AG. Chemické složení jádra elektrod udává tabulka II.

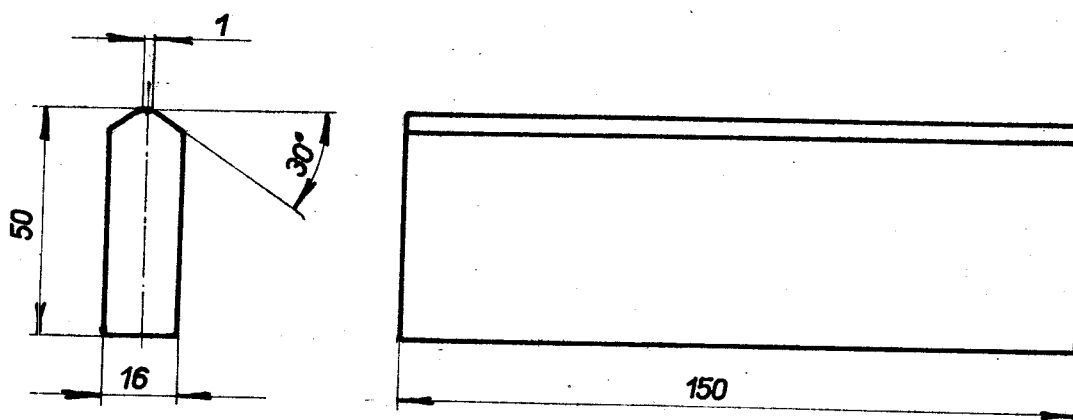
Ø	Tavba	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Mo	% P	% S
2,5	18508	0,029	0,89	0,98	19,6	10,0	0,01		
	21827								
3,25	18508	0,028	0,87	1,04	19,7	10,1	0,01		
	21829								
4	2020	0,03	0,88	0,96	18,14	11,41	0,06	0,016	0,007
	16444								

Tabulka II

3.2. Zkušební vzorky

Volba velikosti vzorku byla provedena na základě požadavku n.p. ZVÚ Hradec Králové, neboť diplomová práce je součástí dílčího státního úkolu, jehož odběratelem je právě ZVÚ.

Rozměry vzorku a úprava svarových hran je patrná z obr.15.



Obr. 15. Tvar a velikost zkušebních vzorků

Z obrázku vyplývá, že svar bude tvaru X.

3.3. Volba technologických podmínek

Výrobce doporučuje pro svařování vždy pro každý průměr elektrody rozmezí použitelné proudové zátěže. Tato rozmezí jsou pro námi používané elektrody v tabulce III.

\varnothing	I_{\min}	I_{\max}
2,5	40	70
3,25	50	90
4	90	130

Tabulka III

Intenzity svařovacího proudu, kterými byly vzorky svařovány jsou I_1 , I_2 , I_3 , I_4 a jsou odvozeny od intenzity svařovacího proudu I_{\min} a I_{\max} . Jsou uvedeny v tabulce IV.

\emptyset	I_1	I_2	I_3	I_4
2,5	55	70	85	100
3,25	70	90	110	130
4	110	130	150	170

Tabulka IV

Pro sledování vlivu interpass teploty byla měněna počáteční teplota housenek. První vzorky byly svařovány při teplotě 20°C , t.zn., že se nanasla jedna housenka a pak se čekalo do úplného vychladnutí vzorku, aby se mohla nanést další housenka. Další vzorky byly předehřívány na 150°C a na 275°C . Poslední vzorky byly svařovány tak, že housenky byly kladeny jedna za druhou bez sledování teploty vzorku. Těmito kombinacemi vzniklo 42 různých vzorků, které ukazuje tabulka V.

3.4. Svařovací zařízení

K ručnímu svařování vzorků pro vyhodnocování obsahu delta feritu byl použit svařovací stejnosměrný křemíkový usměrňovač KS 200/01. Tento agregát byl opatřen dálkovým ovládním, aby bylo snadné nastavení určité hodnoty svařovacího proudu podle zapisovacího přístroje. Použitý zdroj proudu umožňoval plynulou regulaci svařovacího proudu v rozmezí od 45 A až do 200 A.

Číslo vzorku	Ø el. [mm]	Teplota [°C]	Proud [A]	Počet housenek	Mezera [mm]
1	2,5	20	55	7	2,2
2	2,5	20	70	7	2,2
3	2,5	20	100	7	2,2
4	2,5	150	55	7	2,2
5	2,5	150	70	7	2,2
6	2,5	150	100	7	2,2
7	2,5	275	55	7	2,2
8	2,5	275	70	7	2,2
9	2,5	275	100	7	2,2
10	2,5	x	55	7	2,2
11	2,5	x	70	7	2,2
12	2,5	x	100	7	2,2
13	3,25	20	70	6	2,7
14	3,25	20	90	6	2,7
15	3,25	20	130	6	2,7
16	3,25	150	70	6	2,7
17	3,25	150	90	6	2,7
18	3,25	150	130	6	2,7
19	3,25	275	70	6	2,7
20	3,25	275	90	6	2,7
21	3,25	275	130	6	2,7

^x housenky vařeny za sebou bez sledování teploty

Tabulka V - a

Číslo vzorku	Ø el. [mm]	Teplota [°C]	Proud [A]	Počet housenek	Mezera [mm]
22	3,25	x	70	6	2,7
23	3,25	x	90	6	2,7
24	3,25	x	130	6	2,7
25	4	20	110	5	2,7
26	4	20	130	5	2,7
27	4	20	170	5	2,7
28	4	150	110	5	2,7
29	4	150	130	5	2,7
30	4	150	170	5	2,7
31	4	275	110	5	2,7
32	4	275	130	5	2,7
33	4	275	170	5	2,7
34	4	x	110	5	2,7
35	4	x	130	5	2,7
36	4	x	170	5	2,7
37	4	20	150	5	2,7
38	4	150	150	5	2,7
39	4	275	150	5	2,7
40	4	x	150	5	2,7
41	3,25	20	110	6	2,7
42	2,5	20	85	7	2,2

x housenky vařeny za sebou bez sledování teploty

Tabulka V - b

Při svařování se používala obrácená polarita.

Měřicí zařízení

Registrace proudu byla prováděna na lineárním zapisovači EKBT 1 s bočnickem pro měření proudu.

Registrace napětí byla provedena na lineárním zapisovači ZEPAREX ze závodu ZPA Nová Paka, s předřadným odporem.

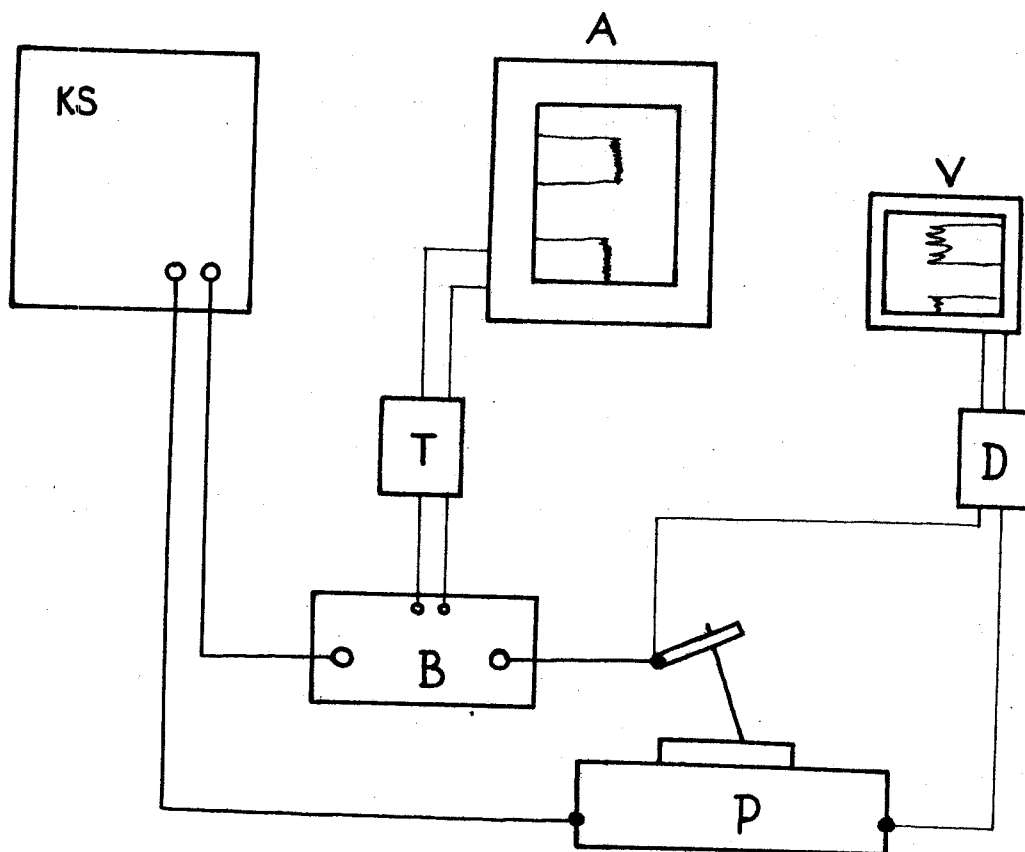
Na zapisovači EKBT 1 byl použit posuv o rychlosti 3600 mm/hod. Posuv papíru na zapisovači ZEPAREX byl o rychlosti 1200 mm/hod.

Schema zapojení měřicí aparatury je na obr.16.

3.5. Svařování zkušebních vzorků

Elektrody byly před svařováním sušeny v peci na teplotě 200°C po dobu minimálně 3 hodiny. Z pece se vyjímaly bezprostředně před svařováním. Vzorky byly předem nastehovány, aby při svařování nedocházelo ke změně mezery mezi svařovanými deskami. Možné záměně vzorků se předešlo očíslováním ještě před svařováním. Číslo bylo vyraženo do pravého horního rohu svařovací desky.

Před svařováním byl dohodnut postup kladení housenek. První housenka byla kladena na straně kde bylo číslo vzorku a to směrem k tomuto číslu. Druhá housenka byla kladena týmž směrem, ale z druhé strany vzorku a tak se postup opakoval. Vzorky svařované při teplotě 20°C a vzorky s housenkami kladenými za sebou bez sledování teploty byly svařovány na stole polohovačla, které je ve vybavení školních dílen. Svařovací parametry proud a napětí byly zapi-



KS- Křemíkový usměrňovač KS 200/01

A - Lineární zapisovač EKBT 1

V - Lineární zapisovač ZEPAREX

T - Adaptér / tlumení - odstranění střídavé složky/

D - Dělič napětí

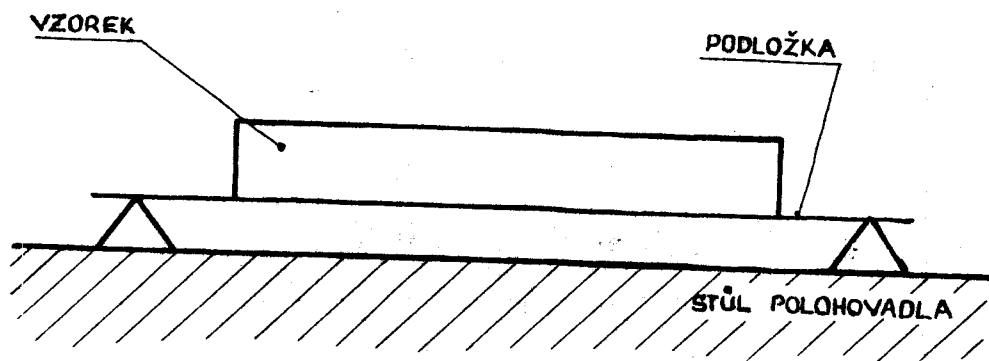
B - Bočník

P - Stůl polohovadla

Obr. 16. Schema zapojení měřicí aparatury

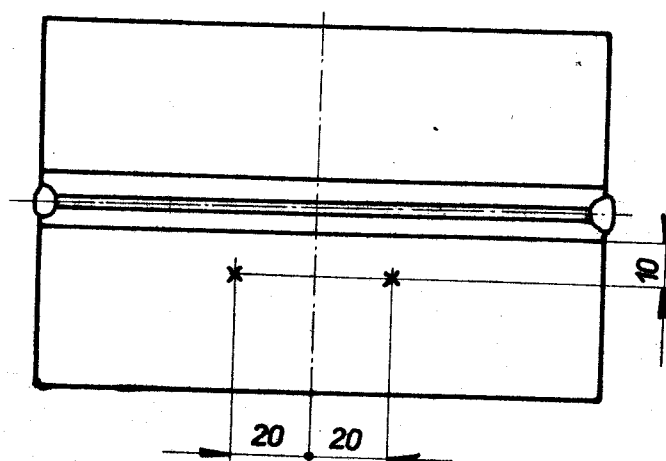
sovány na již výše uvedených přístrojích. Svařovací rychlost nebyla volena pro všechny průměry elektrod stejná, ale vycházelo se z praktických zkušeností svařeče. To znamená, že svařovací rychlost byla v určitých mezích různá a to tak, aby se pro různé technologické podmínky při svařování docílilo optimálních podmínek. Svařovací rychlost byla sledována a vyhodnocována ze záznamů registračních přístrojů. /viz tab.VI - zde jsou zaneseny průměrné hodnoty. Konkrétní hodnoty jsou zaznamenány v pracovním deníku./

Vzorky, které byly svařovány při teplotě 150 a 275°C byly ohřívány v peci na 180 resp. 330°C. Po vyjmutí z pece byly kladeny na tenkou plechovou podložku, která se polohovadla nedotýkala a tím jsme zamezili nerovnoměrnému odvodu tepla ze vzorku /viz obr.17/.



Obr. 17. Klázení vzorku na polohovadlo

Na tyto vzorky byl bezprostředně po vyjmutí z pece navařen termočlánek kondenzátorovou svářečkou a měřena teplota. Termočlánek byl typu Fe - constantan. Navařen byl podle obr.18. Tím byla měřena průměrná teplota mezi místy, kde byly dráty termočláneku přivařeny.



* - místo, kam byl navařen termočlánek

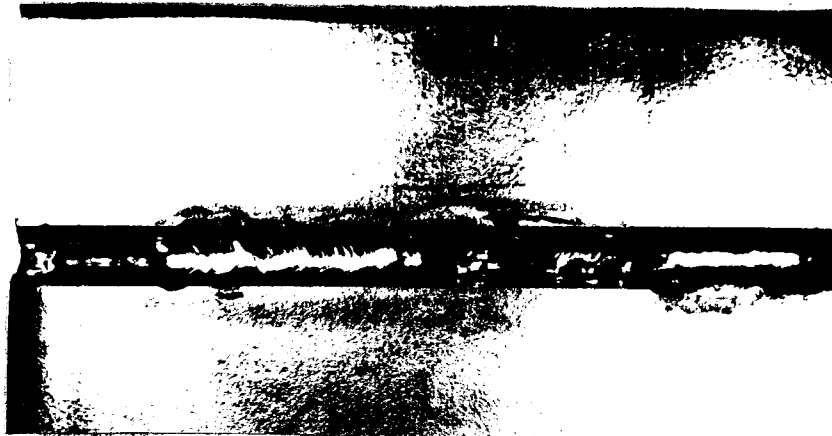
Obr. 18. Způsob přivařování termočlánků

Svařování jsme započali při poklesu teploty vzorku na 150°C resp. 275°C . Po dokončení housenky byl vzorek obrácen a zbaven strusky, navařen termočlánek a dále se čekalo až teplota klesne na určenou teplotu. Teprve potom mohlo dojít k navaření další housenky.

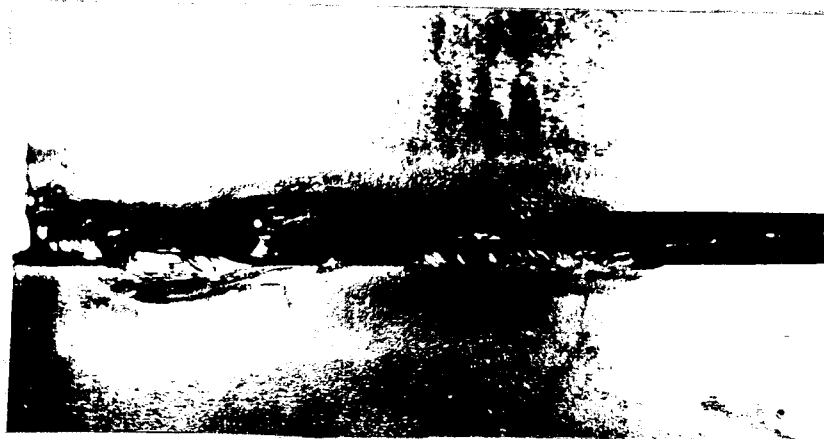
3.5.1. Praktické zkušenosti se svařováním vzorků

Pro průměr elektrody 2,5 mm a 3,25 mm se ukázalo, že intenzita svařovacího proudu I_1 /tab.IV/ je příliš malá. Oblouk hořel nestabilně a "foukal". Tím byl svarový kov navařen pouze na jedné svarové hraně vzorku. Tento problém se vyskytl u vzorků pro průměr elektrody 2,5 mm 1, 4, 7, 10 a pro průměr 3,25 mm vzorky 13, 16, 19, 22. Foukání oblouku se podařilo odstranit pouze zvyšováním svařovacího proudu. Zvýšení však bylo tak velké, že bylo dosaženo hodnoty I_2 /tabulka IV/. Svařování vzorků 1, 4,

7, 10, 13, 16, 19, 22 tedy nebylo možné provést. Vzhled svarové housenky těchto vzorků je možno posoudit z obr.19 a 20.



Obr. 19. Vzorek č.1 svařovaný elektrodou \varnothing 2,5 nízkým proudem, kde docházelo k foukání



Obr. 20. Vzorek č. 22 svařovaný elektrodou \varnothing 3,25 nízkým proudem, kde docházelo k foukání

Při svařování maximálním svařovacím proudem I_4 se ukázalo, že tato proudová zátěž je pro všechny elektrody příliš vysoká. Při svařování docházelo k vyhřátí elektrody do čer-

ného žáru a zároveň k popraskání obalu elektrody. Tento jev měl za následek "pulzování" svařovacího proudu v závěru vaření housenky.

Číslo vzorku	$\varnothing U$ V	$\varnothing I$ A	v cm/min	Q J/cm
2	27,6	70	13,92	8 327,6
3	30,5	99,6	20,35	8 956,7
5	26,7	70,2	13,35	8 424,0
6	31,3	100,6	19,1	9 891,5
8	27,4	71,4	13,8	8 505,9
9	31,1	100,9	19,6	9 606,1
11	26	71,3	13,82	8 048,3
12	30,5	100,1	19,1	9 672,0
14	28,7	90,4	17,6	8 845,0
15	32,8	130,9	21,8	11 817,0
17	29,7	90,7	16,45	9 858,0
18	32,5	130,8	24,6	10 368,0
20	30,1	90,3	15,2	10 729,0
21	33,8	127,7	22,3	11 613,0
23	27,4	90,9	15,6	9 610,0
24	32	130,7	23,4	10 724,0
25	27,4	110,3	14,8	12 252,0
26	27,8	130,3	16,5	13 172,0
27	31,5	168,4	21,45	14 838,0

Tabulka č. VI - a

Číslo vzorku	$\varnothing U$ V	$\varnothing I$ A	v cm/min	Q J/cm
28	28,4	110,6	16,2	11 633
29	28	130,3	17,3	12 653
30	30,4	177	20,15	16 022
31	28,8	110,4	18,65	10 229
32	29,8	130,8	16,75	13 962
33	31,7	158,1	21,52	13 973
34	27,2	110,8	14,1	12 824
35	26	130,2	17,35	11 706
36	28	171	24	11 970
37	29,2	151,8	19,1	13 920
38	30,6	150,8	19	14 560
39	28,8	152	19,2	13 660
40	28,5	151	19,3	13 380
41	28,7	111,8	19,4	9 910
42	27,1	85,8	17,25	8 800
01	26,7	112,75	20,11	8 970
02	28,75	131	20	11 280
03	29,75	150	21,7	12 310
04	30,75	171	20,7	15 220

Tabulka VI - b

Tabulka VI-a a VI-b obsahuje již průměrné hodnoty napětí, proudu a rychlosti. Konkrétní hodnoty jsou zaznamenány v pracovním deníku.

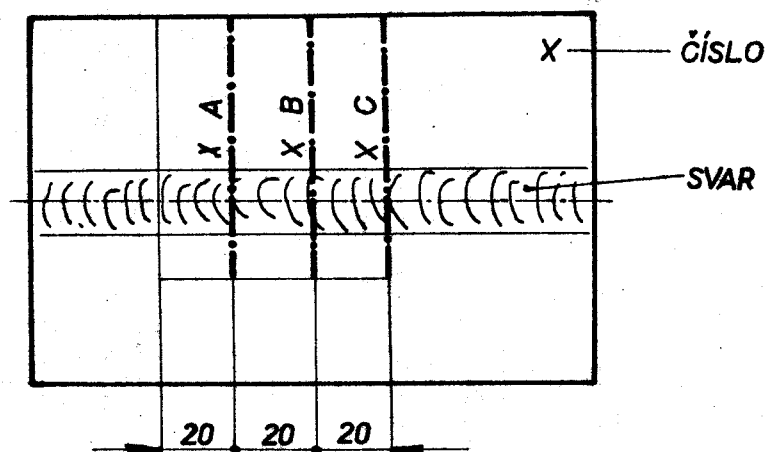
Pod čísla vzorků 01 až 04 v tabulce VI-b jsou névary, které byly prováděny stejně jako vzorky 25, 26, 27 a 37.

Návar 01 odpovídá vzorku 25, 02 vzorku 26, 03 vzorku 37 a 04 vzorku 27.

3.6. Postup při vyhodnocování experimentů

3.6.1. Příprava vzorků pro měření obsahu delta feritu

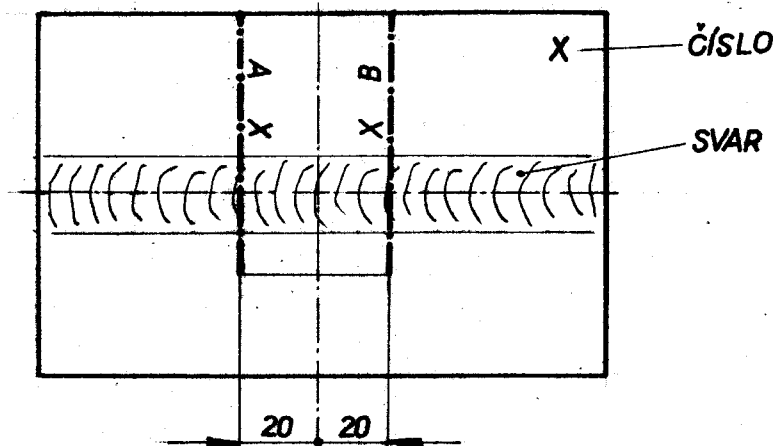
Každý svařený vzorek byl rozřezán tak, že vznikly dva malé vzorečky, ze kterých byly zhotoveny metalografické výbrusy. Pouze vzorky 1 až 12 a vzorek 42 byly rozřezány dle obr.21, protože bylo třeba změřit obsah delta feritu v místě, kde docházelo k přerušení svařování v důsledku dohoření elektrody. Tím byly ze vzorku zhotoveny tři vzorečky, které byly označeny číslem vzorku a písmeny A, B a C. Z místa napojování nové elektrody byl vždy vzorek B.



Obr. 21. Způsob rozřezávání vzorků 1 až 12 a 42

----- místo metalografického výbrusu

Vzorky 13 až 41 a 01 až 04 byly tedy rozřezávány dle obr. 22 a označeny ve směru svařování A a B.



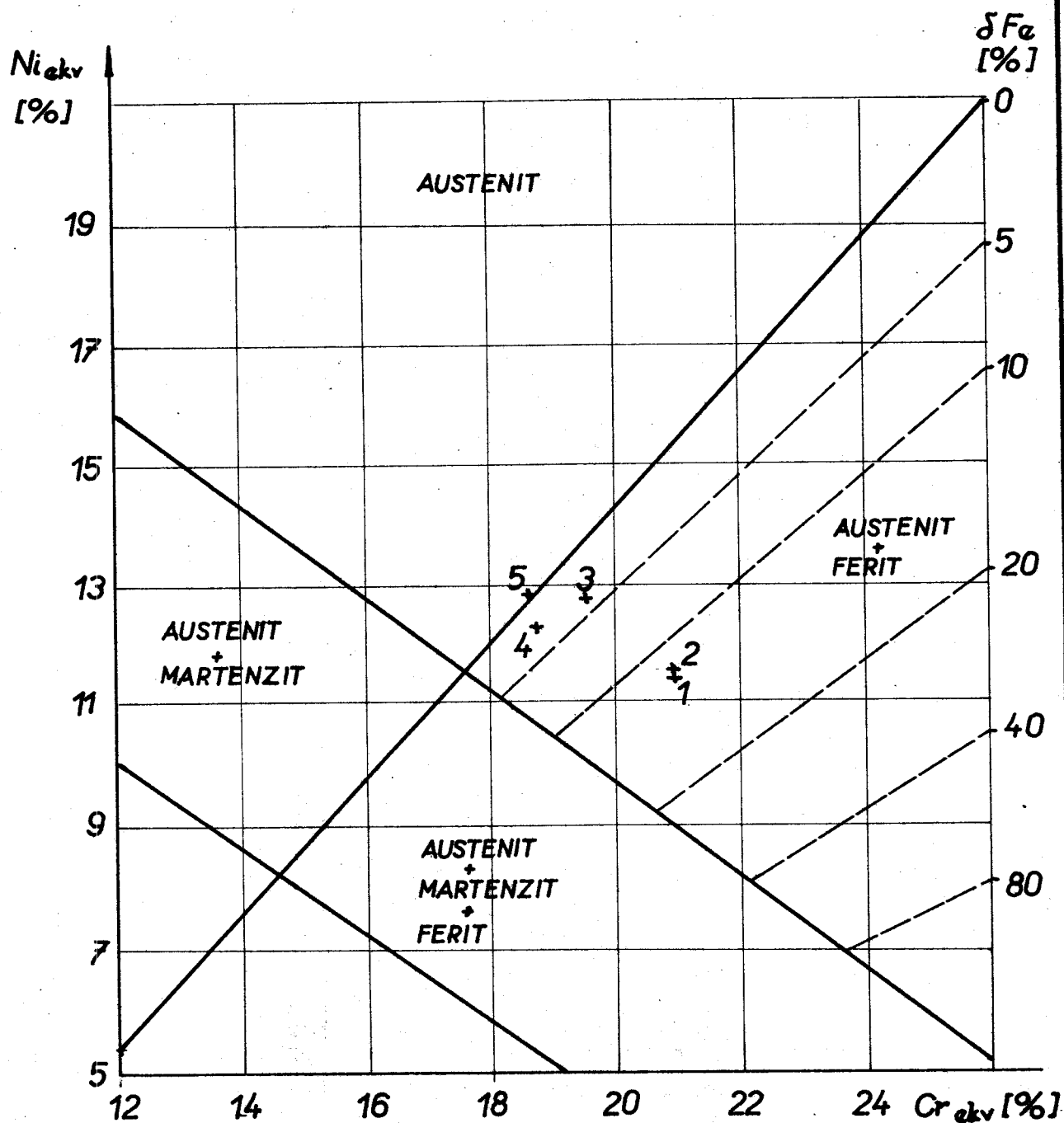
Obr. 22. Způsob rozřezávání vzorků 13 až 42 a 01 až 04

----- místo metalografického výbrusu

Metalografické vzorky byly označeny číslem, aby nedošlo k záměně. Po zhotovení metalografického výbrusu byly slabě naleptány ke zviditelnění svarového kovu. /leptadlo Adler/.

3.6.2. Vyhodnocení delta feritu v Schaefflerově diagramu

Na osy v Schaefflerově diagramu se vynáší ekvivalentní obsah niklu a chromu, které spočítáme dle vzorců v kapitole 2.3.1. Tyto ekvivalentní obsahy pro jednotlivé tavby materiálu a elektrody jsou zaznamenány v tabulce u Schaefflerova diagramu na obr.23. Podle tohoto Schaefflerova diagramu leží ocel typu 18 - 8 dle DIN 17 440 blízko hranic oblasti austenitu a oblasti dvoufázové - austenit +



Obr.23. Schaefflerův diagram

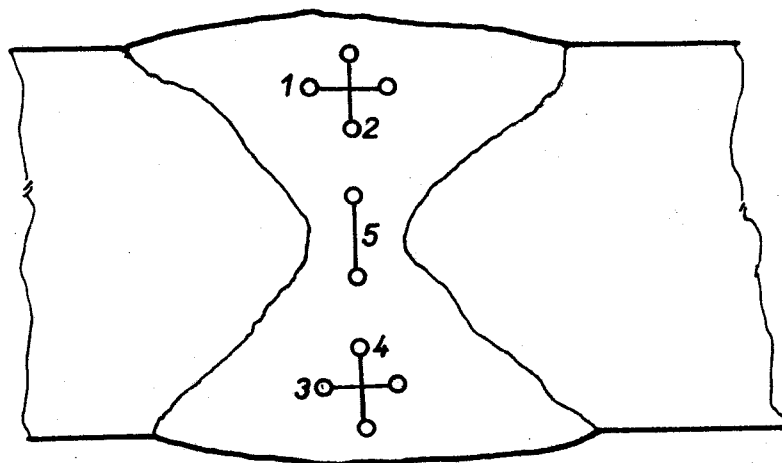
Číslo	1	2	3	4	5
Tavba	2,5	3,25	4	25226	25237
Cr _{ekv}	20,95	20,92	19,52	18,75	18,72
Ni _{ekv}	11,36	11,46	12,79	12,61	12,84

+ ferit. Tavba v tabulce pod číslem 5 by měla 0 % delta feritu, tavba 4 přibližně 2 %. Podle diagramu by měla elektroda $\varnothing 2,5$ a $\varnothing 3,25$ dát svarový kov s obsahem delta feritu přibližně 12 %. Elektroda $\varnothing 4$ by měla dle diagramu dát svarový kov o obsahu 3,5 % delta feritu. Obsah delta feritu ve svaru bude záviset na natavení základního materiálu. Je pravděpodobné, že při vyšších proudech bude nataveno více základního materiálu.

3.6.3. Měření obsahu delta feritu přístrojem FERRITESCOPE

Přístroj je majetkem materiálové laboratoře závodu ZVÚ Hradec Králové a je popsán v kapitole 2.5.1.

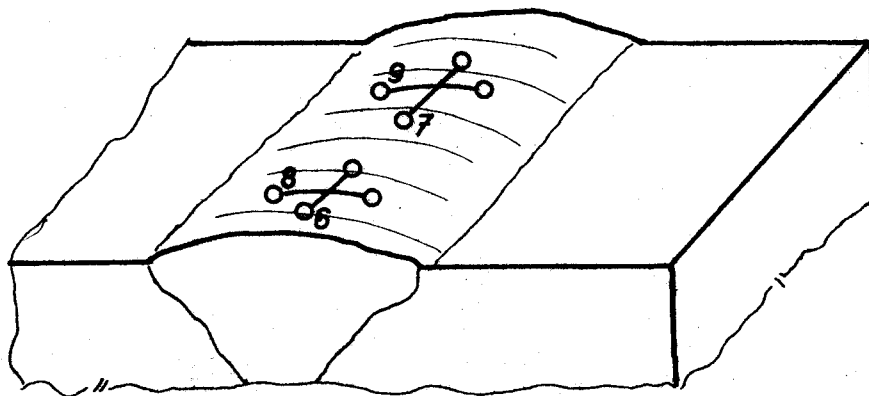
Delta ferit je ve svaru rozptýlen nerovnoměrně, a proto výrobce doporučuje provádět měření ve dvou směrech na sebe kolmých, čímž se měření zpřesní. Na svaru bylo prováděno měření na pěti místech, jak ukazuje obr.24.



Obr. 24. Způsob měření obsahu delta feritu ve svaru

○—○ místo doteku měřicí sondy

Hodnoty obsahu delta feritu na povrchu svaru byly měřeny čtyřmi doteky měřící sondy na každé straně svaru. Postup měření znázorňuje obr.25.



Obr. 25. Způsob měření obsahu delta feritu na povrchu svaru

○—○ místo doteku měřící sondy

Čísla jednotlivých měření jsou totožná s čísly měření v tabulkách naměřených hodnot - viz pracovní deník.

Dále následovalo měření obsahu delta feritu v návarech.

Byl měřen jak v navařeném kovu, tak na povrchu tohoto kovu. Ve svarovém kovu byla nalezena maximální hodnota obsahu delta feritu a povrch návaru byl měřen stejně jako povrch svaru.

V tabulkách VII jsou naměřené hodnoty obsahu delta feritu ve svarech a to již v průměrných hodnotách. V tabulkách VIII jsou průměrné hodnoty naměřeného obsahu delta feritu v návarech. Konkrétní hodnoty měření nejsou zde uváděny a jsou zaznamenány v pracovním deníku.

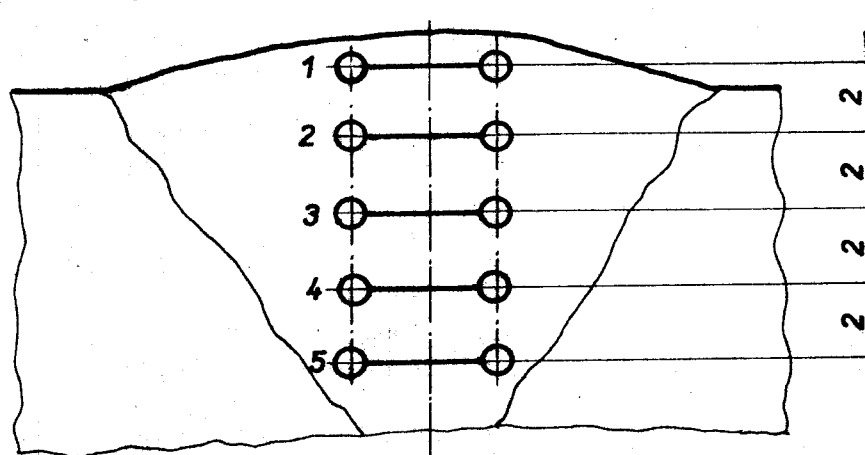
Číslo vzorku	Svar % δ Fe	Povrch % δ Fe	Číslo vzorku	Svar % δ Fe	Povrch % δ Fe
2	4,45	4,62	26	3,73	4,08
3	3,58	4,06	27	4,09	4,26
5	3,51	2,41	28	2,99	3,79
6	3,83	3,64	29	3,88	4,45
8	2,74	2,61	30	3,83	4,44
9	3,4	3,17	31	2,75	2,83
11	3,29	3,1	32	2,94	2,56
12	4,74	5,55	33	3,18	3,16
14	7,32	8,74	34	2,76	3,01
15	7,92	9,26	35	3,26	3,6
17	7,33	8,12	36	3,45	4,19
18	7,79	8,28	37	3,65	4,18
20	6,91	7,01	38	2,41	3,03
21	7,25	6,99	39	3,63	3,75
23	8,04	8,48	40	3,34	3,71
24	7,55	7,72	41	7,39	7,86
25	3,27	2,99	42	4,27	4,43

Tabulka VII

Číslo vzorku	01	02	03	04
Svar % δ Fe max.hodnota	3,1	2,55	2,65	2,8
Povrch % δ Fe	2,99	2,16	2,49	2,44

Tabulka VIII

Další měření bylo provedeno za účelem zjištění závislosti naměřeného obsahu delta feritu na hloubce svaru. Měření bylo provedeno dle obr.26 a naměřené hodnoty jsou zaneseny do tabulky IX. Tímto způsobem jsme proměřili vzorky náhodně vybrané. Byly to vzorky 21, 36, 40.



Obr. 26. Měřící místa na svaru pro zjištění závislosti obsahu delta feritu na hloubce svaru

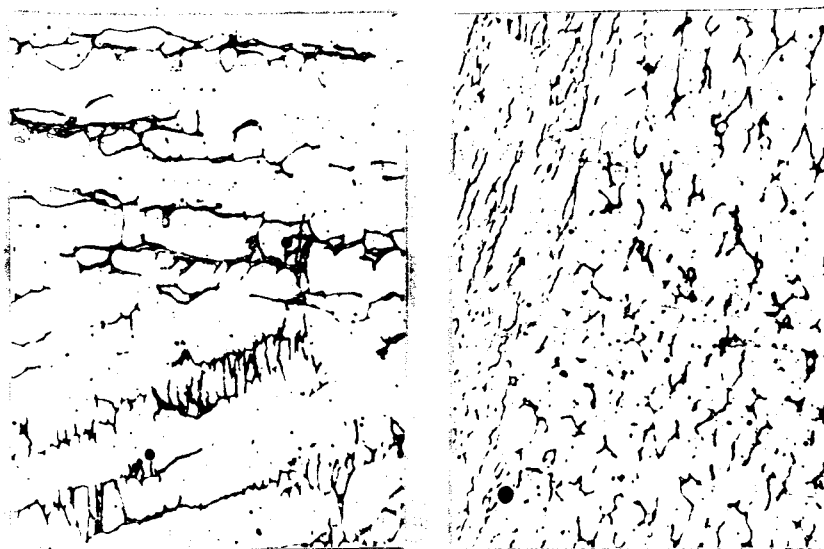
Číslo vzorku	Čísla měření					% δ Fe
	1	2	3	4	5	
21	6	6,6	6,4	5,7	4,6	
36	3,4	3,9	3,1	2,3	2,1	
40	3,4	3,7	3,2	2,1	1,5	

Tabulka IX

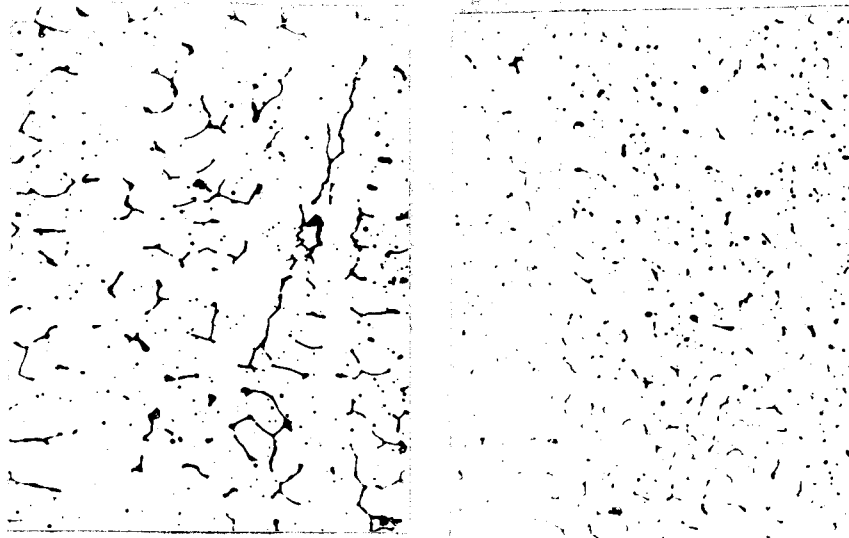
Tímto měřením bylo zjištěno, že největší naměřený obsah delta feritu je přibližně 2 mm pod povrchem svaru. Celkovou závislost nám znázorňují diagramy na obr.43. Nižší naměřený obsah delta feritu u kořene svaru může být způsoben rozptylem magnetického toku mezi doteky sondy do základního materiálu.

3.6.4. Metalografický rozbor

Metalografická metoda stanovení obsahu delta feritu je velmi náročná a pracná. Protože rozsah této práce činí asi 80 % metalografických výbrusů, není tato metoda uplatněna na všech vzorcích, ale podle měření na přístroji Ferritoscope byly vybrány dva vzorky s minimálním a maximálním obsahem delta feritu. Byly to vzorky na obr.27 s 8,04 % delta feritu a vzorek 34 s obsahem 2,76 % delta feritu na obr.28. Vzorky jsou naleptány leptadlem Murakami.



Obr. 27. Mikrostruktura austenitického svarového kovu oceli 18 - 9 vzorku 23 s obsahem delta feritu 8,04 %. Zvětšeno 500 x.



Obr. 28. Mikrostruktura austenitického svarového kovu oceli 18 - 9 vzorku 34 s obsahem delta feritu 2,76 % . Zvětšeno 500 x .

3.7. Porovnání výsledků

V této práci bylo provedeno měření obsahu delta feritu na přístroji Ferritescope v závodě ZVÚ Hradec Králové a druhou metodou bylo stanovení obsahu delta feritu pomocí Schaefflerova diagramu. Porovnání bude provedeno pro jednotlivé elektrody. Pro elektrodu průměru 4 mm bylo dle Schaefflerova diagramu odhadnuto procento delta feritu asi na 3,3, což se měřením na přístroji Ferritescope potvrdilo. Pro elektrodu 3,25 bylo v Schaefflerově diagramu /obr.23/ stanoveno 12 % delta feritu. Na přístroji Ferritescope bylo naměřeno v průměru 7,5 %. Tento rozdíl je možné vysvětlit smícháním svarového kovu s kovem základním, který má obsah delta feritu roven nule, a tím došlo

ke snížení obsahu delta feritu ve svaru. Pro elektrodu průměru 2,5 mm bylo v Schaefflerově diagramu stanoveno 13 % delta feritu a přístrojem Feritescope bylo v průměru naměřeno 4 %. Tento rozdíl můžeme opět z části připsat smíchání základního kovu se svarovým, čímž se může podstatně snížit obsah delta feritu a další příčinou může být velká chyba určení obsahu delta feritu v Schaefflerově diagramu. Možnost velkého rozptylu naměřených hodnot obsahu delta feritu v Schaefflerově diagramu pro řadu různých elektrod ukazuje názorně obr. 12 [8].

Podstatný vliv na tento rozdíl může mít skutečné chemické složení elektrod. Pro praxi není možné obsah delta feritu odhadnout pouze z Schaefflerova diagramu, ale je nutné provést přímo kontrolu svaru, či případné zkoušky.

3.8. Vliv interpass teploty a svařovacích parametrů na obsah delta feritu ve svarovém kovu

Pro zjištění závislosti obsahu delta feritu ve svarovém kovu na svařovacích parametrech jsou sestrojeny diagramy obr.29 až 35. Na obr.29 až 31 jsou závislosti obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu pro jednotlivé elektrody a to vždy při všech interpass teplotách. Na obr.32 až 35 je závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu vždy při jedné teplotě.

Souhrnem všech hlavních svařovacích parametrů je bezpečnou teplo přivezené do svaru elektrickým obloukem, spočítané na 1 cm délky svaru podle vzorce:

$$Q = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v}$$

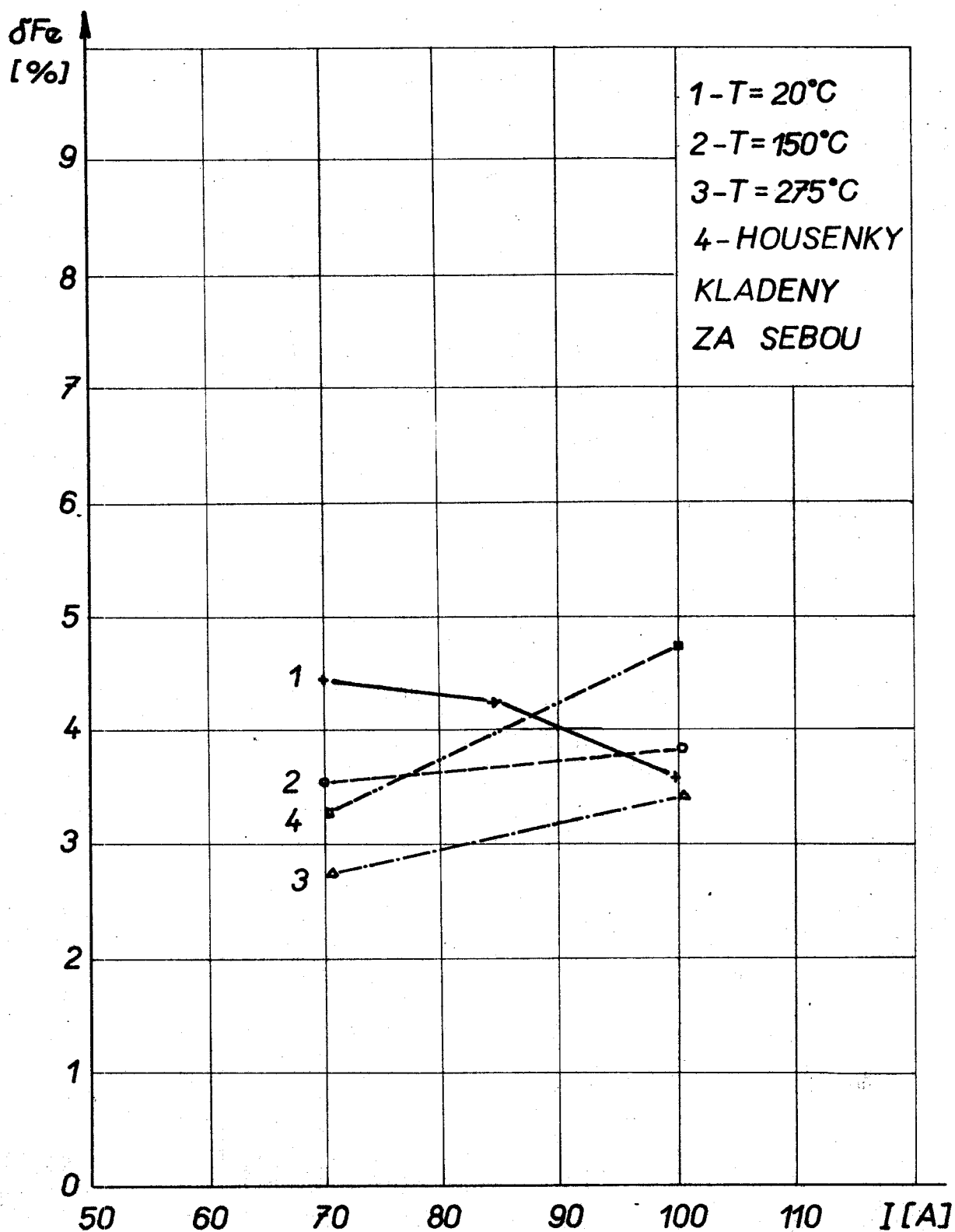
- I - intenzita svařovacího proudu [A]
 U - napětí elektrického oblouku [V]
 v - svařovací rychlost [cm/min]

Obdobně, jako u obr.29 až 35, jsou vyneseny závislosti obsahu delta feritu na přivedeném teple v diagramech na obr.36 až 38. Závislost obsahu delta feritu ve svarovém kovu na teplotě předehřevu je patrná z diagramů na obr. 39 až 41.

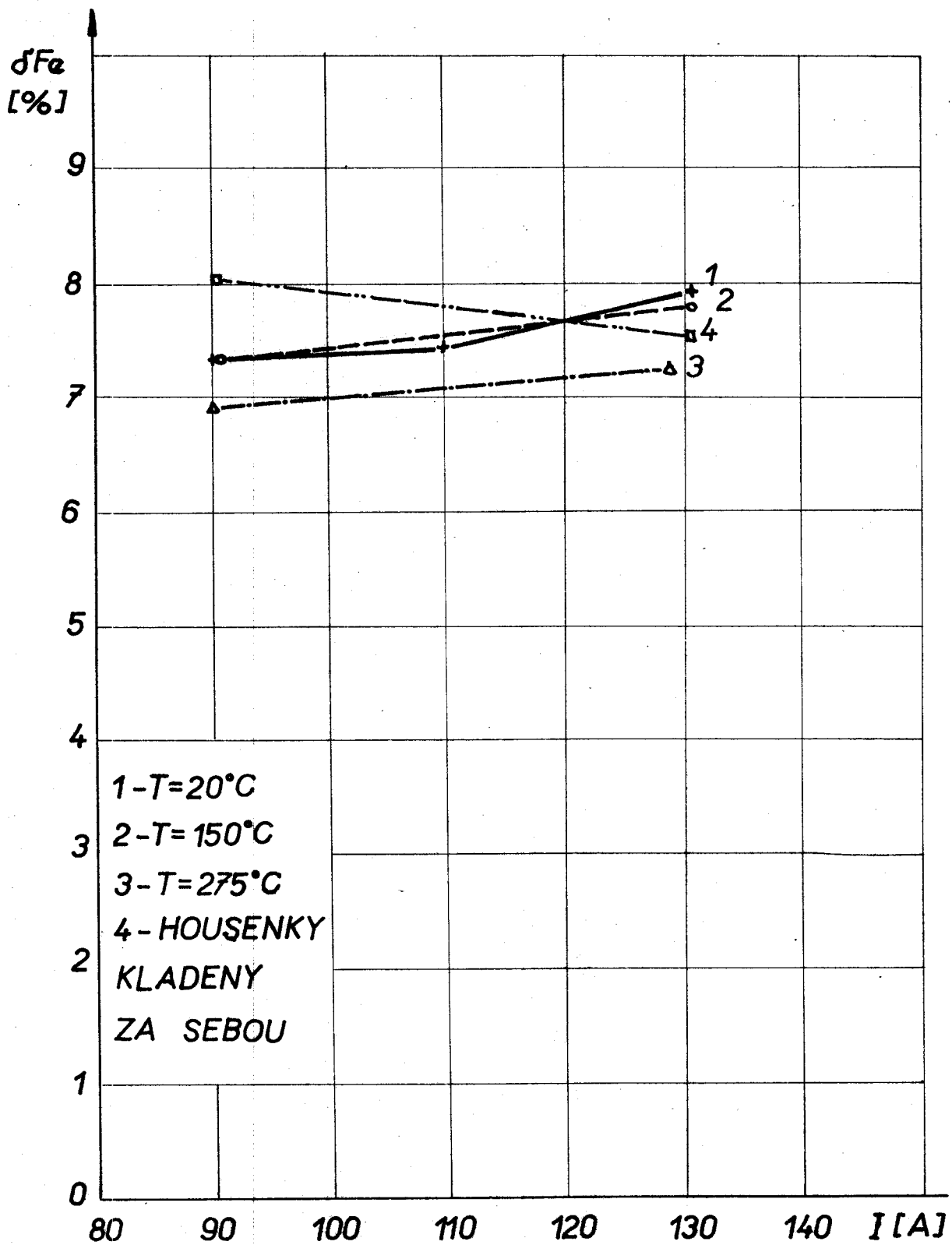
Diagram na obr.42 názorně ukazuje závislost obsahu delta feritu na povrchu svaru na obsahu delta feritu ve svarovém kovu. Z tohoto diagramu pro praxi vyplývá, že obsah delta feritu naměřený na povrchu svaru je nepatrně vyšší než je skutečně uvnitř svaru a tudíž může být obsah delta feritu ve svaru kontrolován, aniž by se zhotovoval metalografický výbrus.

Z diagramu na obr. 29 až 38 tedy vyplývá, že obsah delta feritu ve svarovém kovu v závislosti na intenzitě svařovacího proudu, přivedeném teple převážně vzrůstá, hlavní vliv na obsah delta feritu ve svarovém kovu má zřejmě chemické složení konkrétní elektrody.

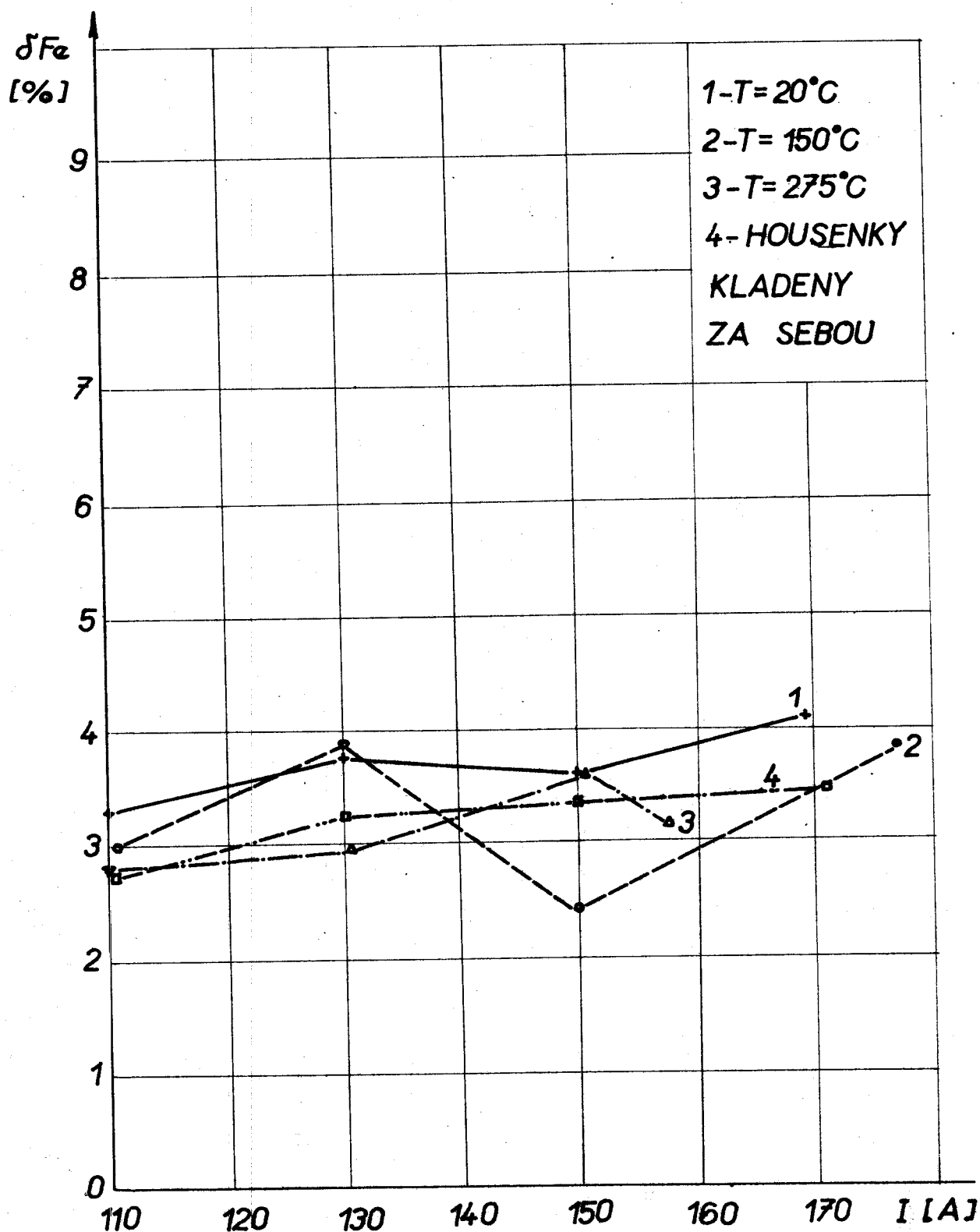
Klesající charakter obsahu delta feritu se ukazuje na diagramech na obr. 39 až 41, kde je závislost obsahu delta feritu na interpass teplotě. Pokles je sice zřejmý, ale opět nepodstatný.



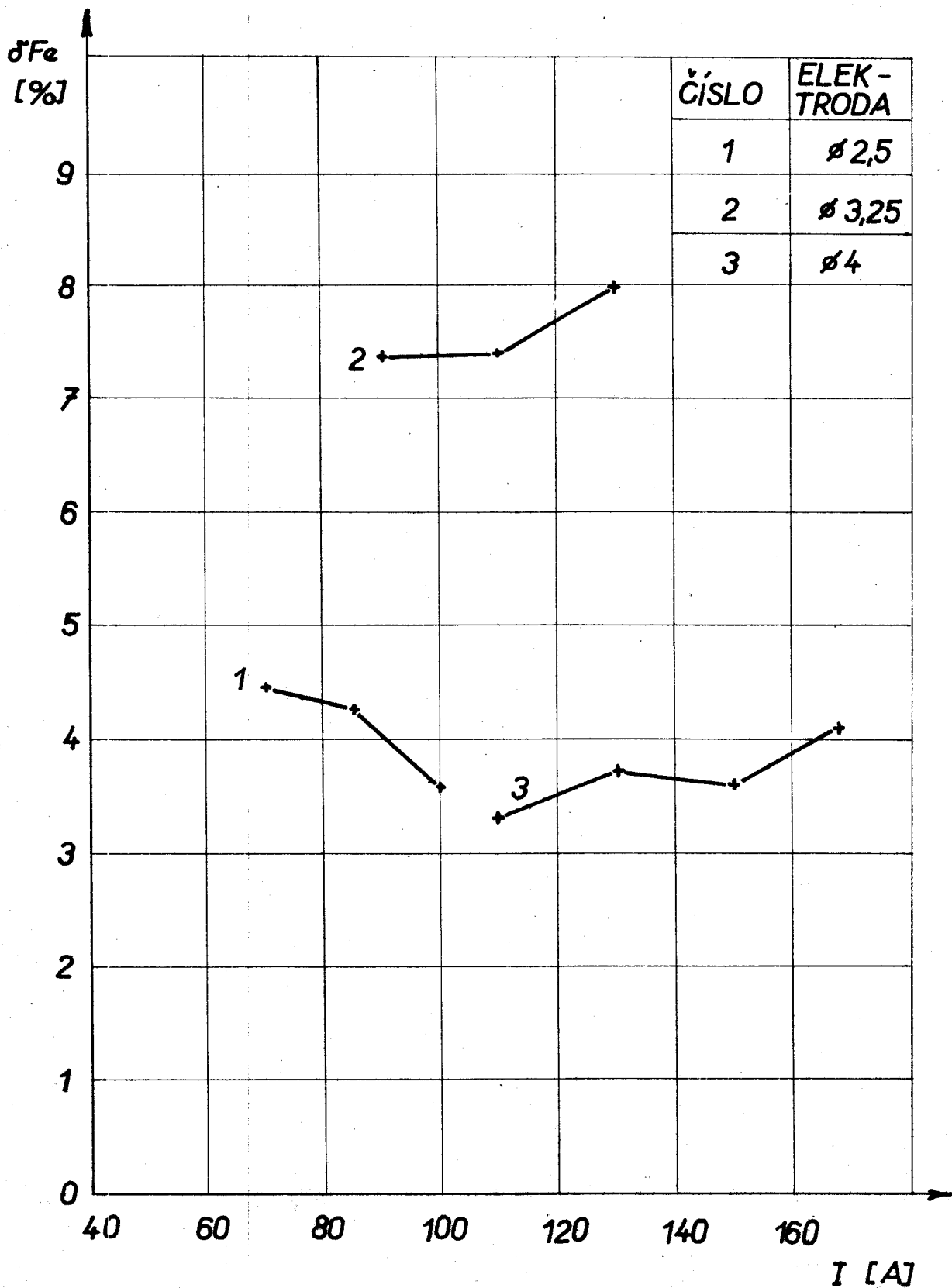
Obr. 29. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu ve svaru svařovaném elektrodou $\varnothing 2,5$



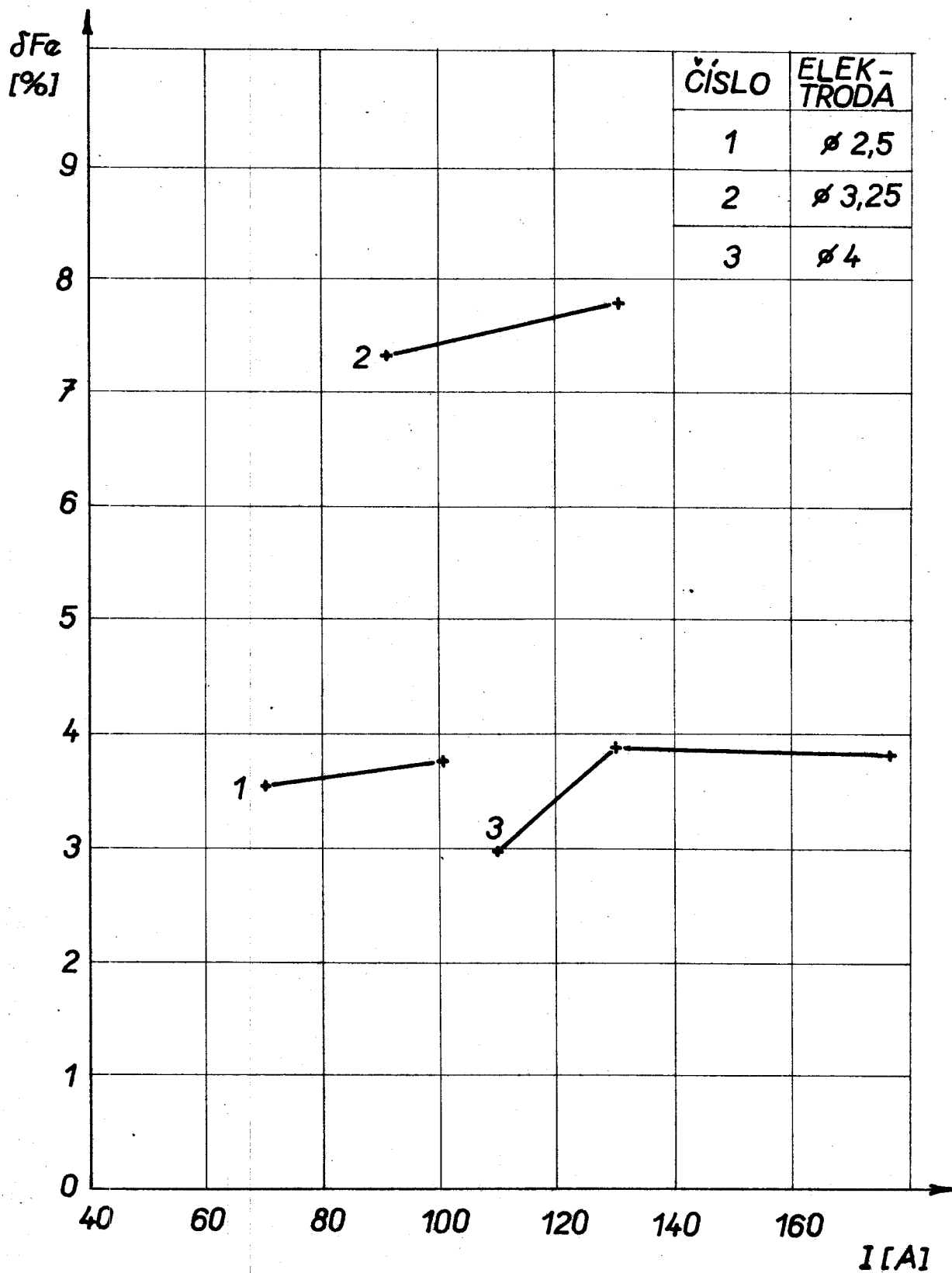
Obr. 30. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu ve svaru svařovaném elektrodou $\varnothing 3,25$



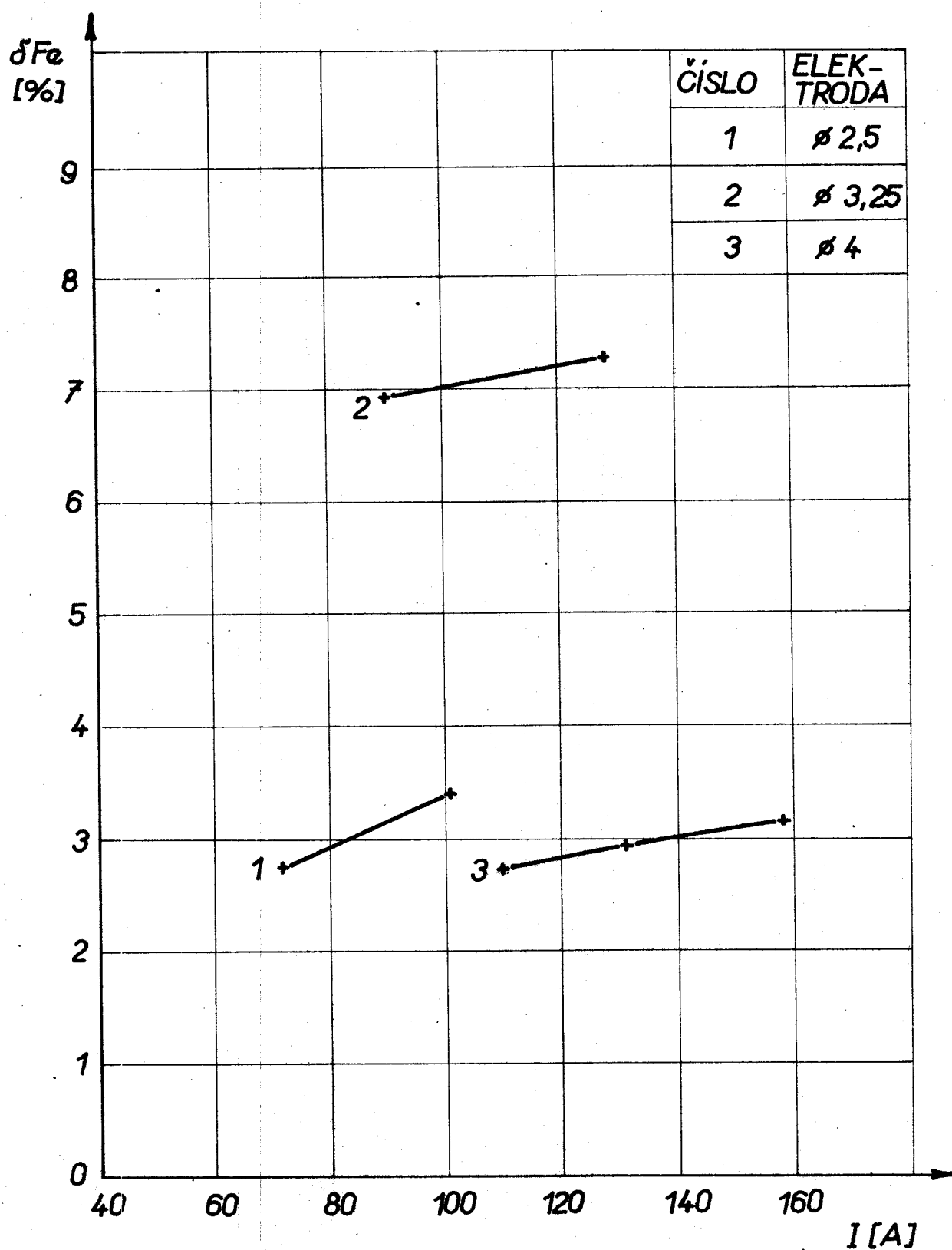
Obr. 31. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu ve svaru svařovaném elektrodou $\varnothing 4$.



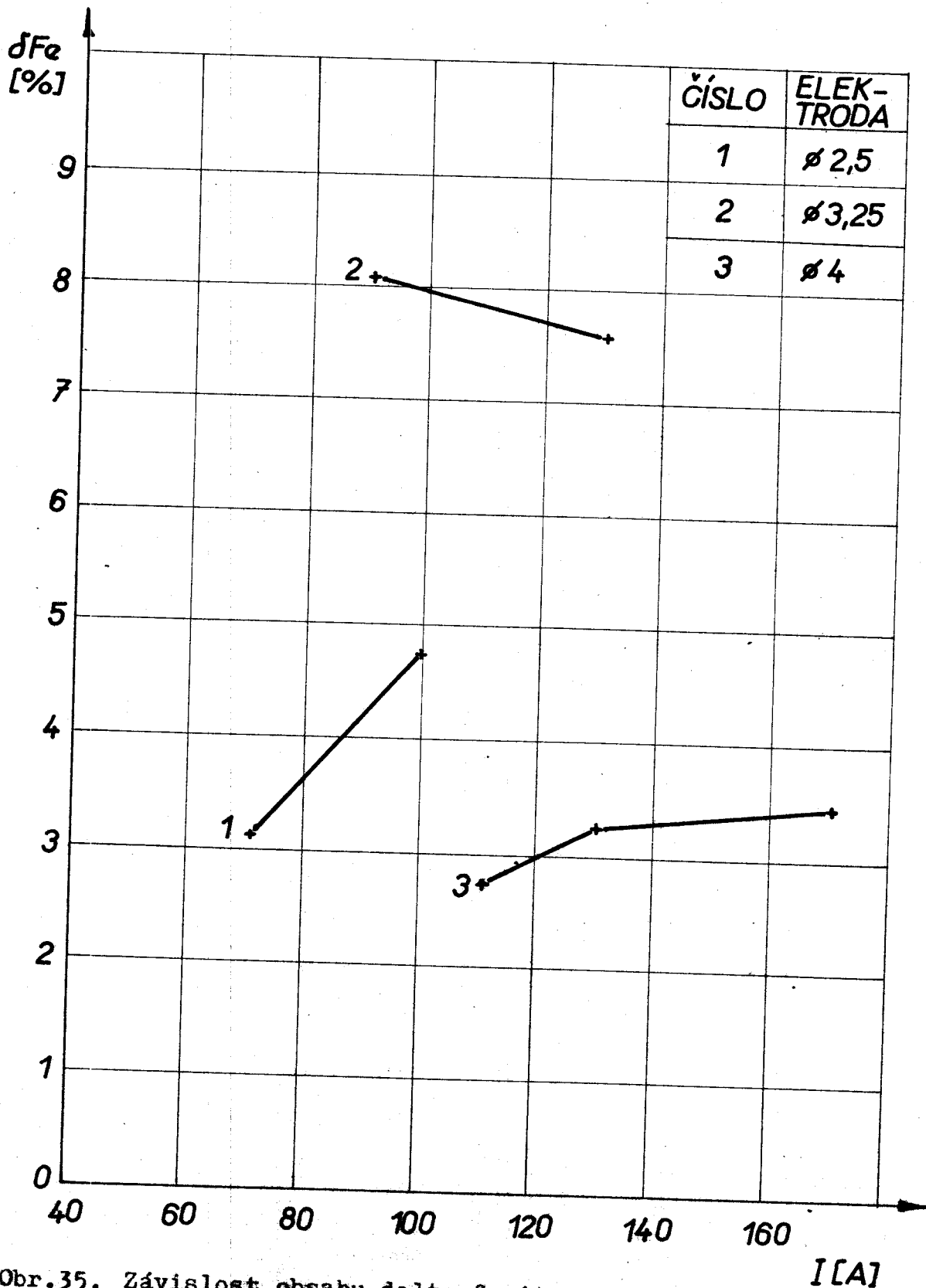
Obr. 32. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu při teplotě interpass $20^{\circ}C$



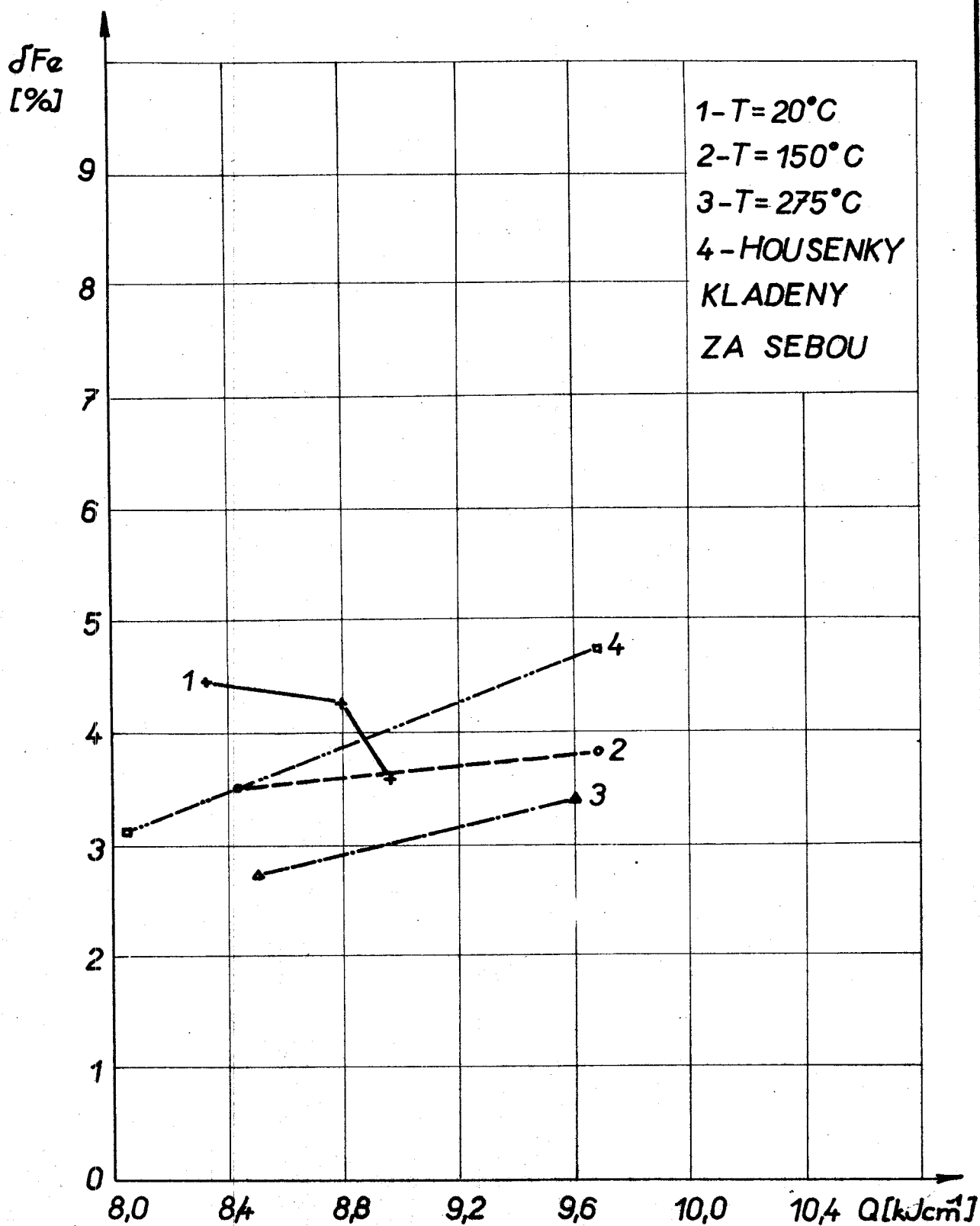
Obr.33. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu při teplotě interpass $150^{\circ}C$



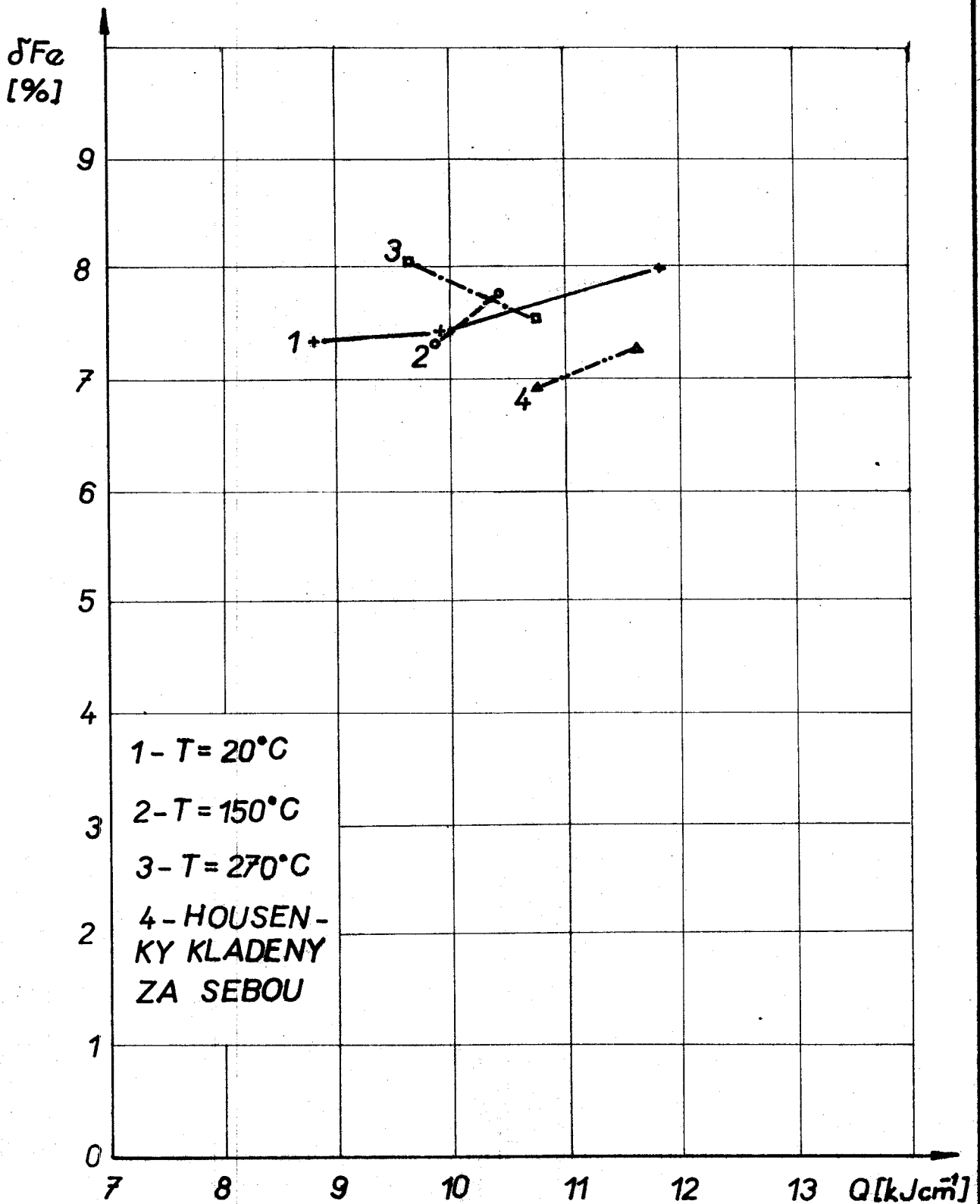
Obr.34. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu při teplotě interpass 275°C



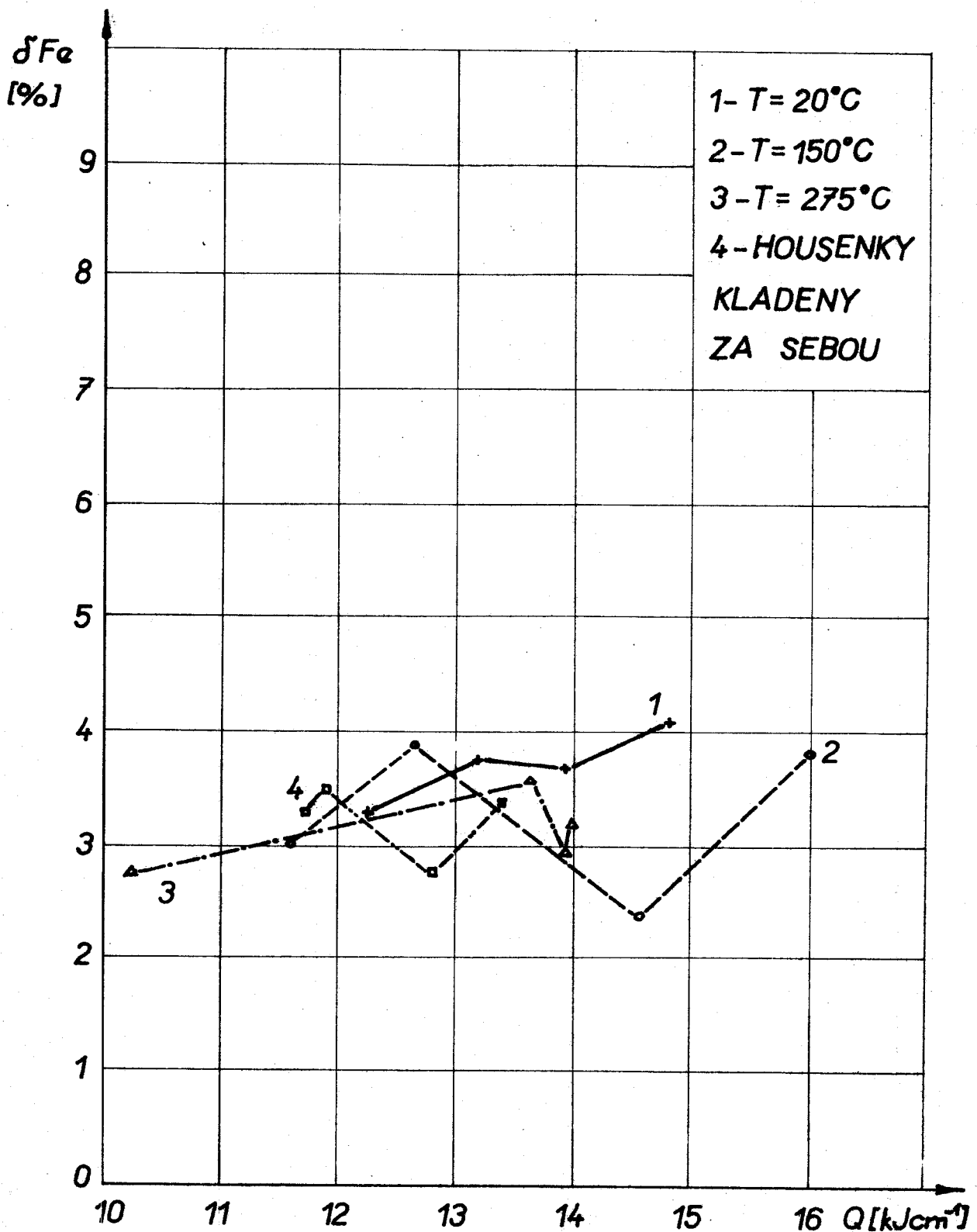
Obr.35. Závislost obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu při kladení housenek za sebou, bez sledování teploty interpass



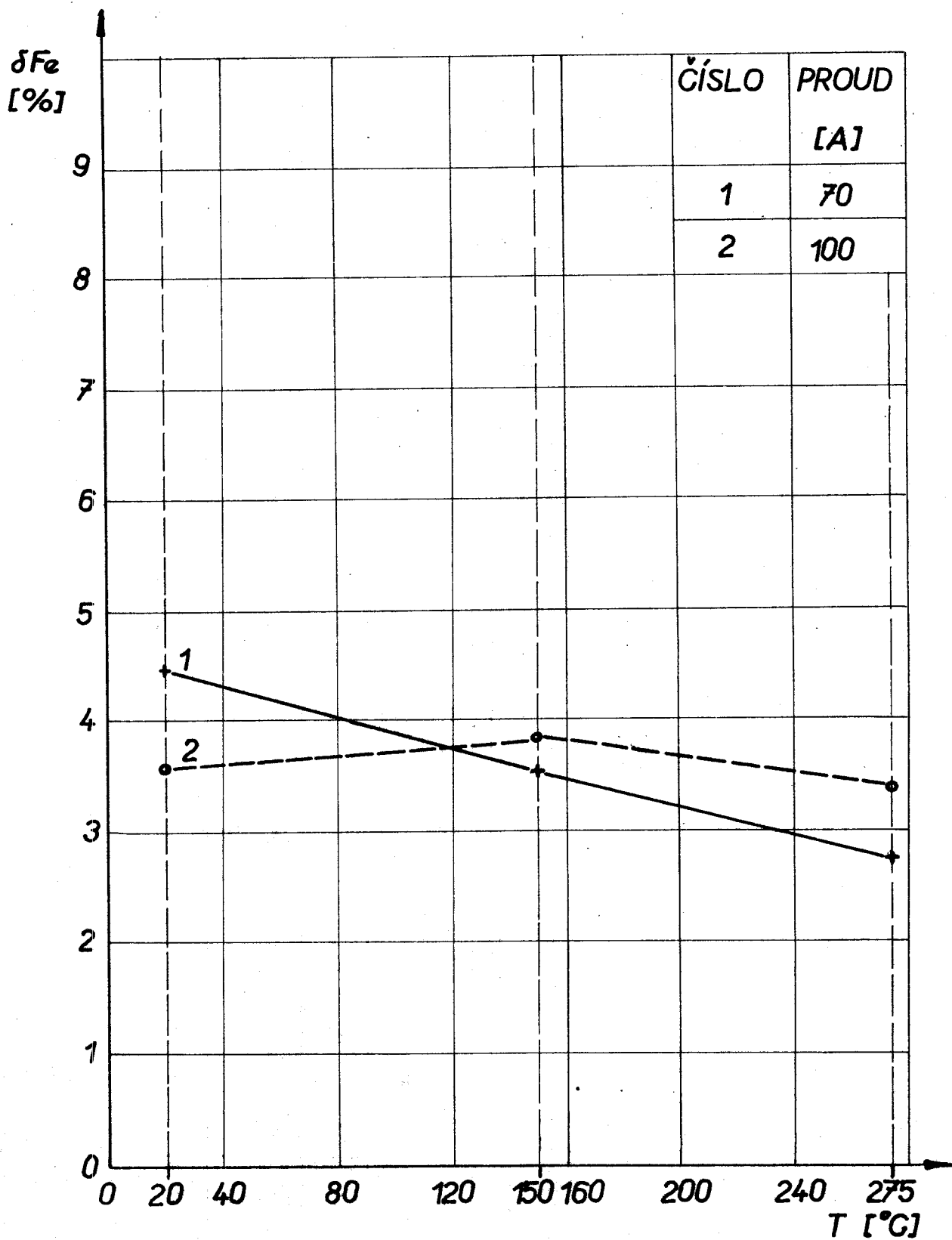
Obr.36. Závislost obsahu delta feritu na množství přivedeného tepla do svaru svařovaného elektrodou $\varnothing 2,5$



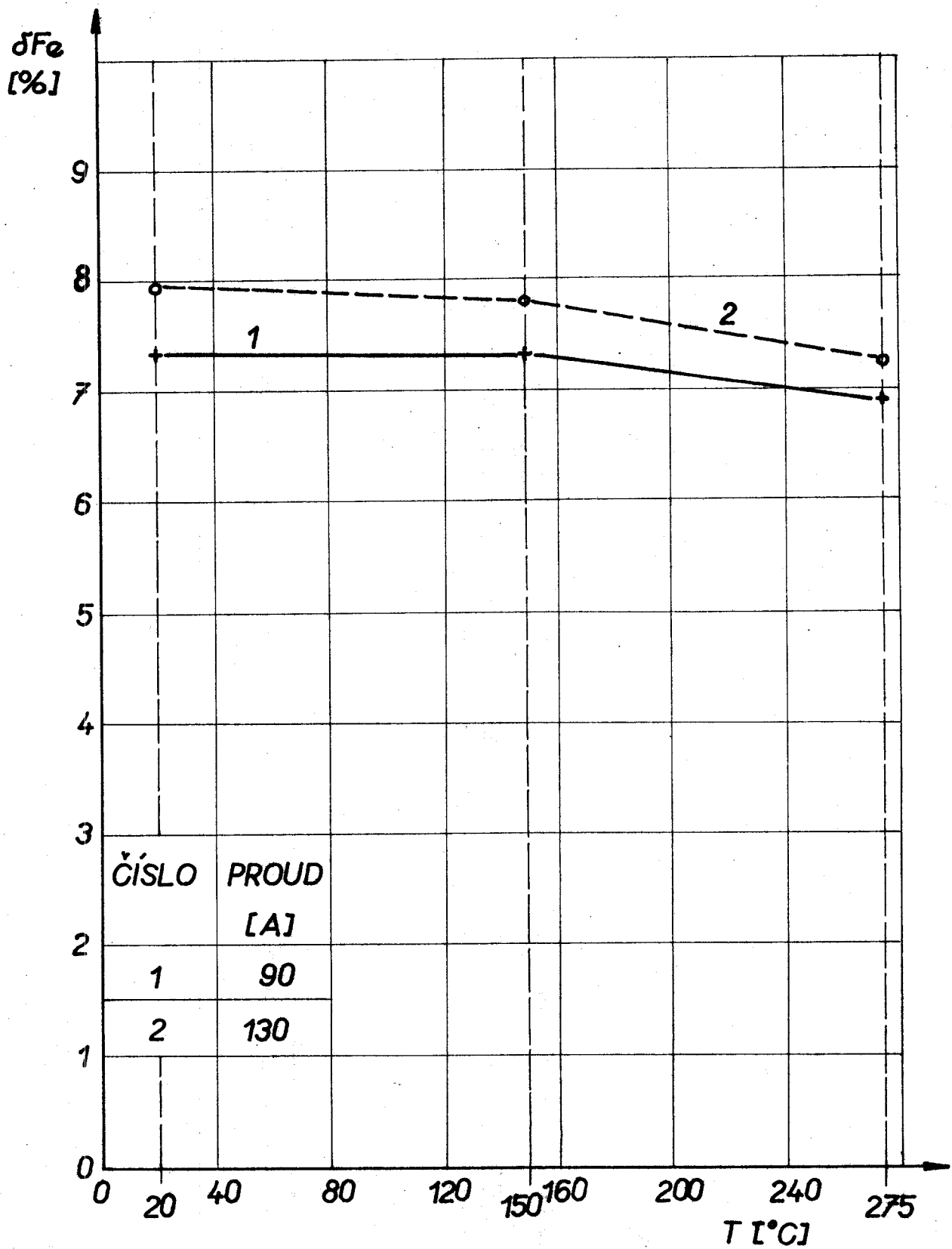
Obr. 37. Závislost obsahu delta feritu na množství přivedeného tepla do svaru svařovaného elektrodou $\varnothing 3,25$



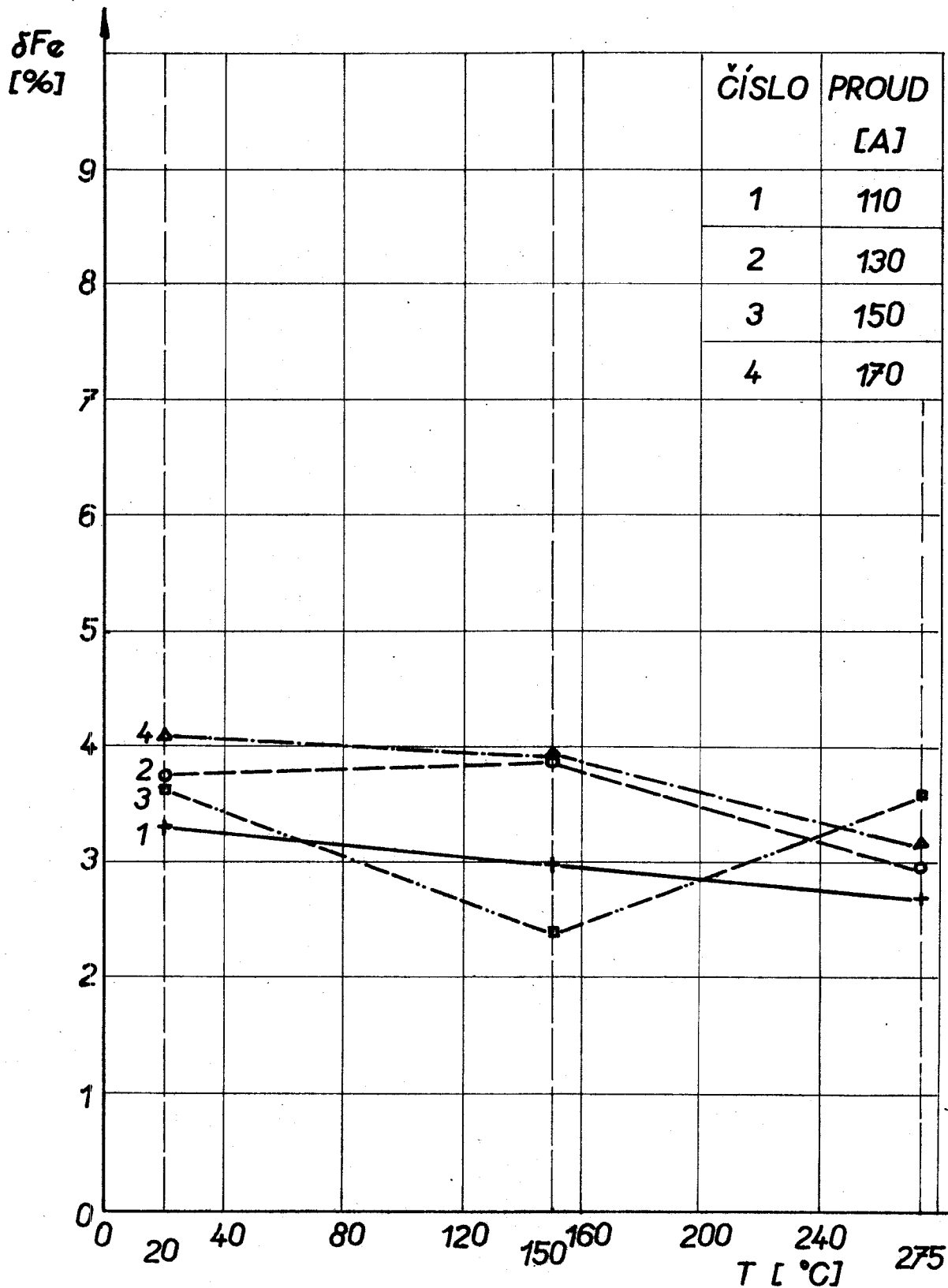
Obr. 38. Závislost obsahu delta feritu na množství přivedeného tepla do svaru svařované elektrodou $\varnothing 4$



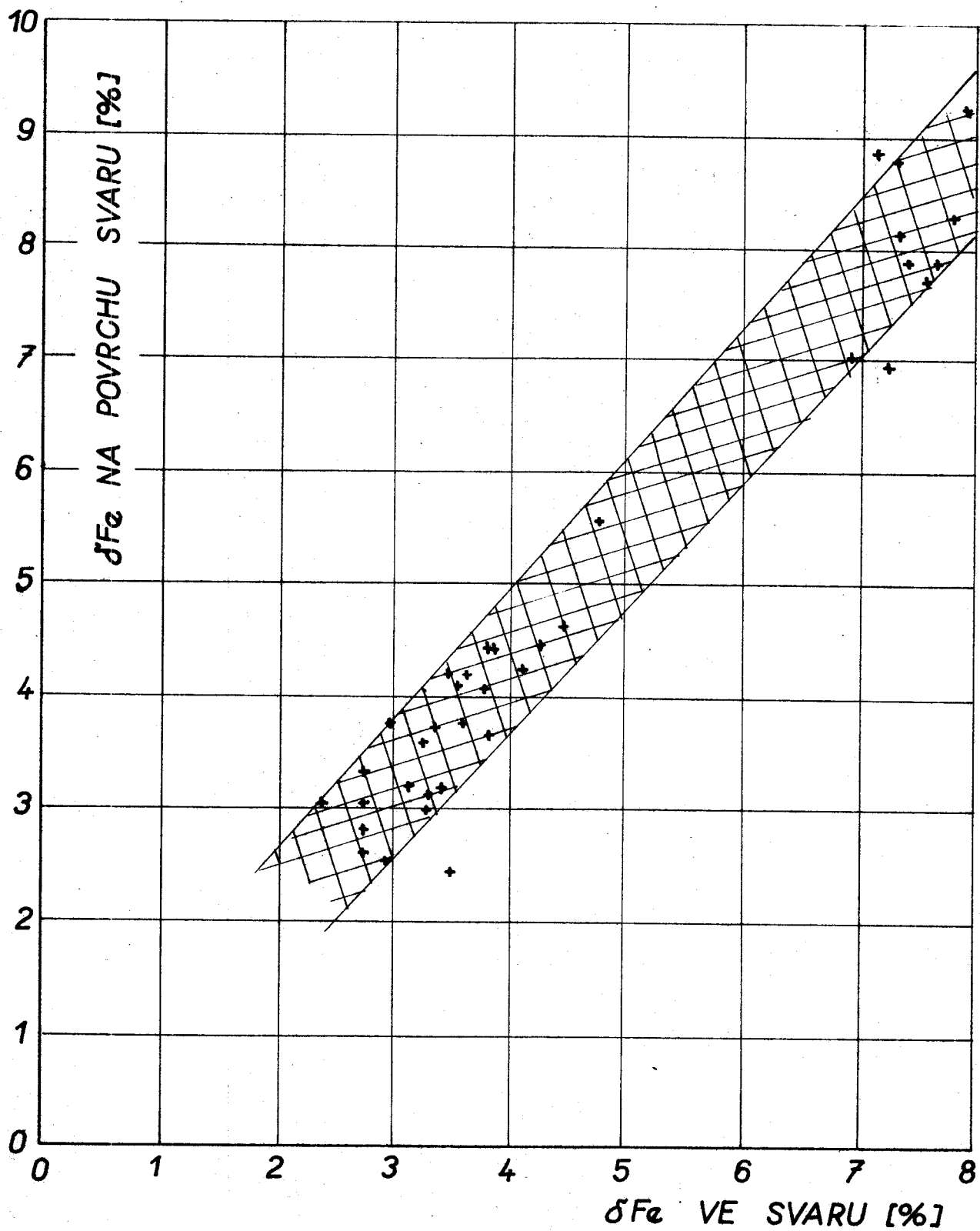
Obr.39. Závislost obsahu delta feritu na teplotě interpass ve svaru svařovaném elektrodou \emptyset 2,5



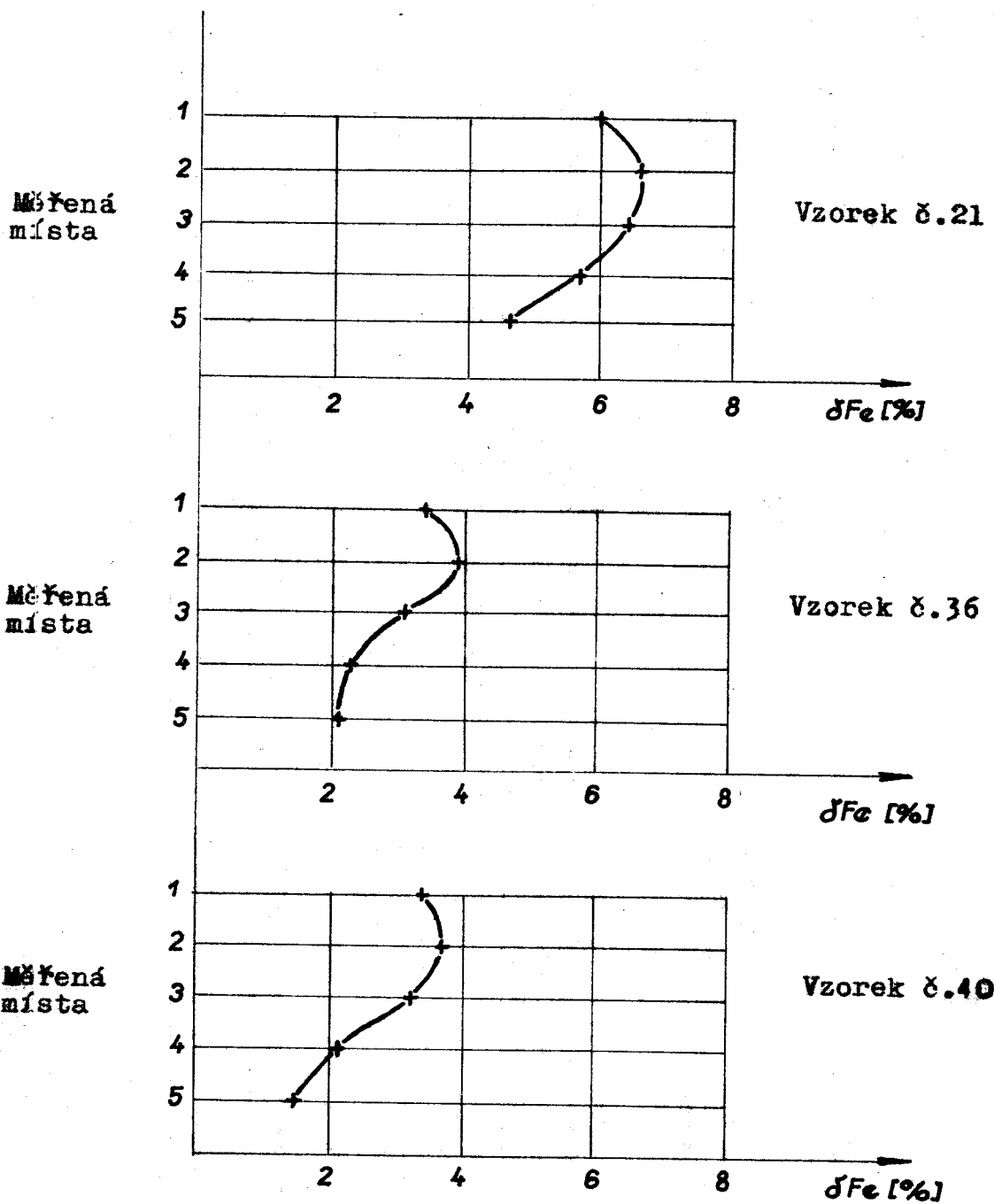
Obr.40. Závislost obsahu delta feritu na teplotě interpass ve svaru svařovaném elektrodou $\varnothing 3,25$



Obr.41. Závislost obsahu delta feritu na teplotě interpass ve svaru svařovaném elektrodou $\varnothing 4$



Obr.42. Závislost obsahu delta feritu ve svaru na obsahu delta feritu na povrchu svaru



Obr. 43. Závislost naměřeného obsahu delta feritu na hloubce svaru

4. Z Á V Ě R

Úkolem diplomové práce bylo zjistit závislost obsahu delta feritu ve svarovém kovu na svařovacích parametrech a na interpass teplotě. Ze zkoušek, které byly provedeny v laboratořích KTM VŠST Liberec, byly stanoveny závislosti obsahu delta feritu na intenzitě svařovacího proudu, přivedeném teple do svaru a na interpass teplotě.

Z rozboru naměřených výsledků je zřejmé, že obsah delta feritu není možno v úzkém rozmezí zjistit pouze předběžnou kontrolou podle Schaefflerova diagramu. Z naměřených výsledků je vidět, že množství delta feritu není ve větší míře závislé na svařovacích parametrech, ani na dalších technologických podmínkách při svařování. Dá se předpokládat, že množství delta feritu se bude pro svary, provedené určitým druhem elektrod, pohybovat v poměrně širokém rozmezí tak, jak ukazuje i obr.12. Pro zjištění obsahu delta feritu ve svarovém kovu austenitických ocelí v úzkém rozmezí, tak jak se potřebuje v důsledku praskavosti a korozní odolnosti, je nutné pro konkrétní případy provést provozní zkoušky. Prokázalo se, že ke stanovení obsahu delta feritu ve svarovém kovu se dá s výhodou použít přístroj Ferritescope, jehož obsluha je velmi snadná.

Důležitým zjištěním je, že obsah delta feritu ve svarovém kovu lze posoudit z naměřených hodnot na povrchu svaru, odpadá tím zdlouhavá příprava vzorků pro laboratorní rozbor. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení delta feritu

VŠST Liberec

DP - ST II 29/75

Fakulta strojní

KTM

71

ve svarovém kovu by bylo vhodné doplnit provozní zkoušky
zkouškami korozními.

L I T E R A T U R A

- [1] Němec J. : Svařování ocelí antikoročních a žáruvzdorných,
SNTL Praha 1962
- [2] Seférian : Nauka o kovech ve svařování ocelí,
SNTL Praha 1962
- [3] Holý M. : Svařitelnost a vlastnosti svarů chromových
nerezivějících a žáruvzdorných ocelí,
Zváranie 1966, str.330 až 335
- [4] Podhora J. : Měření obsahu feritu ve spojích svařovaných
v ochranné atmosféře argonu,
Zváranie 1968, str.87 až 92
- [5] Dobřický J. : Zavedení metody stanovení feritické fáze
v austenitických ocelích 304 a 316 L pomocí
feritometru FERRITSCOPE,
Podniková zpráva ZVÚ Hradec Králové 1972
- [6] Flégr K. : Diplomová práce DP - ST 10 72/74
- [7] Havalda A. : Tepelná kinematika pri zvaraní elektri-
ckým oblúkom
SNTL Praha 1960
- [8] Welding Handbook - section four
American Welding Society 1972

VŠST Liberec

BP - ST 11 29/75

Fakulta strojní

KTM

73

Na závěr práce bych chtěl poděkovat svému konzultantovi s. Ing. H. Neumannovi za cenné rady a připomínky během zhotovování diplomové práce.

Dále děkuji soudruhovi St. Jenšimu za vydatnou pomoc a praktické rady při zhotovování vzorků.

V Liberci dne 25. května 1975

