

Vysoká škola strojní a textilní, L i b e r e c
fakulta strojního inženýrství

Školitel : Prof. Ing. Josef D i t l , CSc

Ing. Jaromír L u k á š e k

Technologie automatického navařování antikoročních
ocelí a slitin pod tavidlem ve výrobě armatur

Kandidátská disertační práce

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088251

březen, 1970

obklopen 7.6.1990!

Číslo výtisku

1.

O b s a h

	Strana
1. Úvod - rozbor problematiky	7
2. Stav automatizace navařování pod tavídkle v době řešení	10
2.1 ČSSR	10
2.2 SSSR	12
2.3 NDR	19
2.4 Západní státy	20
2.5 Závěry literární rešerše	21
3. Proověření a kritika metod uvedených v literatuře	23
3.1 Navařování při snížené velikosti proudu	23
3.2 Navařování nezávislým obloukem	25
3.3 Navařování třífázovým obloukem	28
3.4 Kritika prověřovaných metod	32
4. Navržení vlastní metody řízení podílu základního materiálu v návarovém kovu a její experimentální prověření	33
4.1 Proověření vlivu jednotlivých veličin	35
4.2 Specifikace technologických zásad	47
4.3 Původnost metody	49
4.4 Některé zvláštnosti vypracované technologie	49
5. Aplikace nové metody řízení podílu základního materiálu v návarovém kovu na materiály používané při výrobě armatur	52
5.1 Chemické složení návaru	53
5.2 Metalografie návaru a přechodového pásma ...	63
5.3 Průběhy tvrdosti	76
5.4 Pravidelnost návaru	77
6. Ekonomické posouzení nové metody	81

	Strana
7. Závěr	85
8. Literatura	87
8.1 Publicita práce a odezvy na ni v literatuře	87
8.2 Seznam nejdůležitější literatury	88
8.3 Ostatní literatura	91
9. Seznam spolupracovníků	94
10. Vazba trubičkovou elektrodou	10
11. Zavarování páskovou elektrodou	11
12. Schéma zapojení oblouku	12
13. Schéma zapojení s elektromagnetickou spojkou	13
14. Tabule navoňovaných proudů	14
15. Schéma nezávislého oblouku	15
16. Schéma zapojení nezávislého oblouku	16
17. Společná zapojení elektrod	17
18. Schéma zapojení s nezávislým obloukem	18
19. Schéma zapojení s nezávislým obloukem a konstantní rychlostí proudění	19
20. Schéma zapojení s trojfázovým obloukem a automatickým řízením napětí na oblouku	20
21. Navoňování na položený drát	21
22. Společná připojení přídavného drátu	22
23. Vliv drátu proudícího na proudění	23
24. Vliv proudícího oblouku na proud	24
25. Vliv proudu navoňování elektrody na proud	25
26. Vliv rychlosti proudění drátu v oblouku na proud	26
27. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	27
28. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	28
29. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	29
30. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	30
31. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	31
32. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	32
33. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	33
34. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	34
35. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	35
36. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	36
37. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	37
38. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	38
39. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	39
40. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	40
41. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	41
42. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	42
43. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	43
44. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	44
45. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	45
46. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	46
47. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	47
48. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	48
49. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	49
50. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	50
51. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	51
52. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	52
53. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	53
54. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	54
55. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	55
56. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	56
57. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	57
58. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	58
59. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	59
60. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	60
61. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	61
62. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	62
63. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	63
64. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	64
65. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	65
66. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	66
67. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	67
68. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	68
69. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	69
70. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	70
71. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	71
72. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	72
73. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	73
74. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	74
75. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	75
76. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	76
77. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	77
78. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	78
79. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	79
80. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	80
81. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	81
82. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	82
83. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	83
84. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	84
85. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	85
86. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	86
87. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	87
88. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	88
89. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	89
90. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	90
91. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	91
92. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	92
93. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	93
94. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	94
95. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	95
96. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	96
97. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	97
98. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	98
99. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	99
100. Vliv rychlosti proudění drátu na proud	100

Seznam obrázků

Strana

1. Typický profil svaru při svařování pod tevidlem ..	8
2. Uspořádání elektrod	10
3. Způsob kladení houseček	11
4. Zpojení kombinovaného oblouku	13
5. Řez drážedlem dvoudrátového polosautomatu	14
6. Postavení elektrod	14
7. Poloha průsečíků elektrod	15
8. Diagram výkonu navaření	16
9. Navařování mnohaelektrodovým způsobem	17
10. Řez trubičkovou elektrodou	18
11. Navařování páskovou elektrodou	19
12. Schema seriového oblouku	21
13. Schema automatu s elektromagnetickou spojkou ,...	23
14. Vzhled navařovaných kroužků	25
15. Schema nezávislého oblouku	26
16. Makrovýbrus návaru nezávislým obloukem	26
17. Způsob uspořádání elektrod	27
18. Makrovýbrus návaru při nezávislém oblouku	27
19. Schema navař. trojfázovým obloukem s konstantní rychlostí podávání drátu	29
20. Schema navař. trojfázovým obloukem s automatickým řízením napětí na oblouku	31
21. Navařování na položený drát	33
22. Způsob připojení přídatného drátu	34
23. Vliv druhu proudu na profil návaru	36
24. Vliv proudového zařízení na podíl	37
25. Vliv průměru navařovací elektrody na podíl μ	38
26. Vliv rychlosti příd. drátu v m/hod. na podíl μ	39
27. Vliv objemu příd. kovu v cm^3 na podíl μ	39
28. Vliv rychlosti posuvu příd. drátu na profil návaru	40
29. Mezní profil dobrého návaru	41
30. Závislost A_1/A na rychlosti přídatné elektrody ...	42
31. Závislost μ na posuvu A_1/A	42
32. Závislost μ na rychlosti navařování	43

33. Vliv rychlosti navařování na profil návaru	43
34. Změna sklonu přídavné elektrody	44
35. Vliv sklonu elektrody na profil návaru	44
36. Změna sklonu navařovací elektrody	45
37. Vliv sklonu navař. elektrody na profil návaru .	45
38. Nejvhodnější poloha elektrod a směr navařování	46
39. Vliv předehřátí základního materiálu na	47
40. Podélný řez návarem	48
41. Makrovýbrusy srovnávacích návarů (měřítko 2:1).	50
42. Závislost průřezu návaru (a - a') a závaru (b - b') na proudu a, b při konstantní rychlosti a', b' při konst. teple na cm	51
43. Závislost podílu (c - c') a hloubky závaru (d - d') na proudu c, d při konst. rychlosti c', d' při konst. teple na cm	51
44. Makrovýbrusy zkušebních návarů oceli 084	54
45. Závislost obsahu chromu na rychlosti příd. drátu	54
46. Závislost relativního obsahu chromu na rychlosti přídavného drátu	55
47. Makrovýbrusy zkušebních návarů ocelí 080	56
48. Závislost obsahu prvků u oceli 080 na rychlosti přídavného drátu	57
49. Závislost relativního obsahu u oceli 080 na rychlosti přídavného drátu	57
50. Makrovýbrusy zkušebních návarů slitinou Real095	58
51. Závislost obsahu prvků Realu 095 na rychlosti přídavného drátu	59
52. Závislost relativního obsahu prvků Realu 095 na rychlosti přídavného drátu	60
53. Makrovýbrusy zkušebních návarů slitinou Real096	61
54. Závislost obsahu prvků Realu 096 na rychlosti přídavného drátu	62
55. Závislost relativního obsahu prvků u Realu 096 na rychlosti přídavného drátu	62
56. Makrovýbrus vyšetřovaného návaru oceli 084	63
57. Typická struktura návaru 084 u jeho koruny	64
58. Detail struktury z obr. 57	64
59. Správný přechod mezi zákl. materiálem a návarem	65
60. Příklad nesterijnorodosti na přechodu	65
61. Příklad nesterijnorodosti na přechodu	66

	Strana
62. Makrovýbrus návaru oceli 080	67
63. Typická struktura ze střední části návaru	67
64. Detail z obr. 63	68
65. Typická struktura z koruny návaru	68
66. Přejít z základní materiál - návar	69
67. Příklad nestejnorodosti na přechodu	69
68. Makrovýbrus návaru slitiny Real 095	70
69. Průběh struktury od zákl. materiálu až po korunu návaru	70
70. Detail struktury ze středu návaru	71
71. Detail struktury z koruny návaru	71
72. Typický přechod zákl. materiál - návar	72
73. Makrosnímek návaru slitinou Real 096	73
74. Průběh struktury návaru od zákl. materiálu až po jeho korunu	73
75. Detail struktury ze středu návaru	74
76. Detail struktury z koruny návaru	74
77. Typický přechod zákl. materiál - návar	75
78. Průběhy tvrdosti	76
79. Serie příčných řezů návarem (ocel 080)	77
80. Serie podélných řezů (ocel 080)	79
81. Průběh tvrdosti podél návaru (ocel 080)	80
82. Závislost množství navař. kovu v kg/hod na příkon v kW	82
83. Závislost množství navař. kovu kg/kWh na příkon v kW	83
84. Závislost spotřeby el. energie kWh/kg navařeného kovu v závislosti na příkonu v kW	83
85. Srovnání jednotlivých způsobů při jednoobloukové = 100 %	84

Seznam tabulek

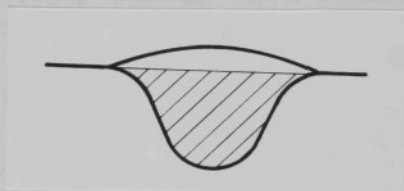
1. Směrné chemické složení sledovaných návarových ocelí a slitin	52
2. Průběhy tvrdosti v jednotlivých řezech	78
3. Pravidelnost chemického složení návaru	80

1. Úvod - rozbor problematiky

Svařování pod tavidlem se k nám rozšířilo po roce 1945, ale skutečný rozvoj začalo zaznamenávat až po roce 1951, kdy byl dokončen vývoj prvního československého svařovacího automatu a prvního československého tavidla a byla zahájena jejich výroba.

Hlavní pozornost byla v prvním období samozřejmě věnována aplikacím v oblasti svařování tlakových nádob a ocelových konstrukcí. Postupně se však začaly objevovat požadavky i z oblasti navařovací techniky. Ve všech odvětvích strojírenství lze totiž nalézt součásti, jejichž některé plochy jsou vystaveny agresivním účinkům pracovního prostředí, příp. i v kombinaci s mechanickým namáháním, a to jak za normálních, tak i vyšších teplot. Jelikož výroba celých součástí z materiálu, který těmto zvýšeným nárokům vyhovuje, by byla nedospodárná a mnohdy i nemožná, nanáší se vrstvy vhodných vlastností a tloušťky na základní materiál, jehož kvalitativní vlastnosti jsou obvykle jiné. Jako optimální řešení se zde jeví a v praxi skutečně používá navařování, které zajišťuje homogenní spojení se základním materiálem. Z hlediska technologie zde převažuje navařování ruční, a to obloukem a u vysoce jakostních návarů i plamenem. Použitou technologii ovlivňují i vlastnosti navařovaných kovů, zejména teplota tání, která se se zvyšováním legur obvykle výrazně snižuje. Možnost použití navařování pod tavidlem pro tento účel by přinesla podstatné zvýšení produktivity práce a často i možnost dosažení určitého stupně mechanizace a automatizace výrobního procesu. Kromě tohoto vyloučením lidského činitele měla stoupnout i rovnoměrnost v dosahované kvalitě.

Jedna z hlavních charakteristických vlastností svařování pod tavidlem - velká hloubka závaru - se pro účely navařování stává nežádoucí, protože způsobuje velké promíchání se základním materiálem. Vyplývá to z obr. 1, kde je nakreslen typický profil svaru a vyšrafován podíl základního materiálu ve svarovém kovu. Podle planimetrických měření řady průřezů svarů dosahuje tento podíl 50 - 70 % a má tedy rozhodující vliv na kvalitativní vlastnosti návaru.



Obr. 1 - Typický profil svaru
při svařování pod tavidlem

Stupeň legování návaru je různý podle určení navařeného výrobku. Návary nízkolegované obsahují jen malé množství legujících prvků a použití navařování pod tavidlem je v těchto případech obvykle dobře možné. Rozdíl v chemickém složení se snadno vyrovná použitím vhodného drátu a tavidla. Návary vysokolegované obsahují větší množství legujících prvků, přičemž jejich význačné vlastnosti jsou často limitovány určitým maximálním množstvím železa, které se již nesmí zvyšovat. V těchto případech je snížení podílu základního materiálu v navařeném kovu hlavní podmínkou pro použití navařování pod tavidlem. Kromě toho je obvykle neoddělitelně požadována vysoká jakost návaru ze všech hledisek, zejména homogenity, stálosti průřezu, kvality spojení se základním materiálem apod.

Typickým představitelem takových návarů, a to jak z hlediska kvalitativního, tak i z hlediska kvantity výskytu, je výroba armatur pro střední a vyšší parametry, kde se těsnící plochy vytvářejí běžně navařováním antikoročních chromových a chromniklových ocelí, případně speciálních slitin na bázi Cr a Co, přičemž základní materiál je obvykle ocel na odlitky běžné jakosti. V případě, že by se podařilo při navařování pod tavidlem úspěšně vyřešit řízení podílu základních materiálů v navařeném kovu, bude realizace v oblasti výroby armatur velmi rozsáhlá a ekonomicky nepochybně významná.

Za cíl práce bylo stanoveno vypracování takové technologie automatického navařování pod tavidlem antikoročních ocelí a slitin, která by umožňovala využití i na náročné případy, jejichž představitelem je výroba armatur.

Technologie proto musí vyhovovat těmto základním podmínkám :

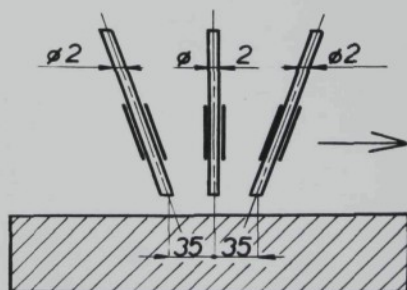
- a) Řízení podílu základního materiálu v navařovém kovu musí být zvládnuto tak, aby bylo možno snížit podíl na dostatečně malou hodnotu (cca 10 - 15 %), přičemž tato hodnota nesmí samovolně kolísat a její absolutní hodnota musí být zcela závislá na volbě navařovacích podmínek.
- b) Uvedená podmínka ad a) musí být dosažitelná i při použití na návary malé tloušťky v jedné vrstvě.
- c) Vzhledem k tomu, že tažení tenkých drátů z legovaných ocelí je obtížné, a tím i drahé a kromě toho jsou některé slitiny jen slévatelné, musí být technologie použitelná i pro tyčinky o průměru 4 mm a více.
- d) Metoda musí být výrazně produktivnější než dosavadní ruční navařování obalenými elektrodami.

2. Stav automatizace navařování pod tavidlem v době řešení

2.1 Československo

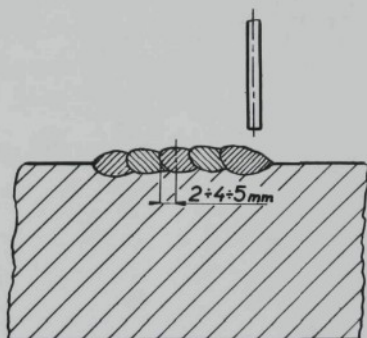
V době řešení se v ČSSR používá automatického navařování pod tavidlem ve větším měřítku jen při navařování obručí železničních vozidel. Kromě toho se začíná zavádět navařování válců válcovacích stolic.

Pro obruče všech typů [1] se používá automatického navařování pod tavidlem, při kterém byl jeden mohutný oblouk nahrazen dvěma, příp. třemi malými oblouky pracujícími za sebou podle obr. 2. Tento způsob má tu výhodu, že druhý a další oblouk hoří na materiálu právě navařeném a nenstavují již základní materiál. Tím klesá jeho podíl ve svarovém kovu, což vzhledem k obtížné svařitelnosti základního materiálu má velký význam po stránce metalurgické. Produktivita práce z hlediska množství nanášeného kovu zůstává vysoká. Pro navařování se zatím používá běžné kombinace - drát č. 0 nebo č. 1 a tavidlo Z-41. Jakost návaru se blíží jakosti základního materiálu, obsah uhlíku v návaru je samozřejmě menší a je částečně nahrazen zvýšeným obsahem manganu a křemíku.



Obr. 2 - Uspořádání elektrod

Pro navařování válců válcovacích stolic [2] se používá normální technika svařování jedním obloukem jednak pod tavidly běžného typu a jednak pod novými tavidly, na jejichž vývoji se pracuje. Návar je legován z drátu, ředění vznikající přimícháváním základního materiálu je potlačováno jednak vhodným kladením housenek podle obr. 3, kdy se kromě základního materiálu natavuje též kov navařený předchozí housenkou, a jednak kladením více vrstev na sebe. Tím ovšem značně vzrůstá množství kovu, které je nutno navařit při jedné opravě. Cena používaného vysokolegovaného drátu (Poldi Maximum Special G) je značná a cena opravy neúměrně vysoká, což je dáno ovšem i poměrně nízkou produktivitou práce. Jakost návaru je údajně vyšší než jakost základního materiálu.



Obr. 3 - Způsob kladení housenek

2.2 SSSR

Podle četných literárních údajů je rozsah automatického navařování pod tavidlem v SSSR značný. Používá se v nejrozličnějších oblastech strojírenství i dopravní techniky. Jedná se vesměs o navařování vrstev s určitým stupněm legování, jež mají odolávat nejnepříznivějším provozním podmínkám.

V knize F. F. Benuy [3], jež nejpřehledněji zpracovává stav automatického navařování v SSSR, jsou popsány jeho hlavní přednosti a dosavadní výsledky v realizaci. Rozvoji automatického navařování je přisuzován velký význam, neboť se tím zvyšuje produktivita práce ve srovnání s ručním navařováním 7 - 10 krát, zlepšuje se jakost návarů, spoří se materiál a elektrická energie, snižují se kvalifikační nároky na svařeče a lépe se využívá přiváděného tepla. Při automatickém navařování jsou jiné poměry a požadavky než při automatickém svařování. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že při automatickém svařování činí podíl základního materiálu ve svarovém kovu 70 - 85 %. Pro navařování je tento podíl velmi nevýhodný a je tedy prvním problémem nalezení takové metody, při které je podíl základního materiálu co nejmenší.

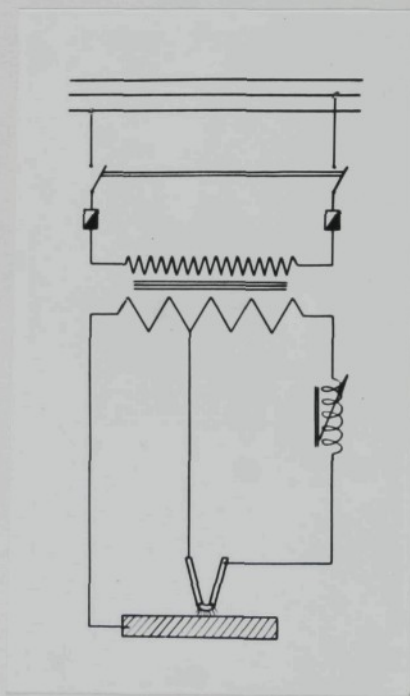
Pro snižování podílu základního materiálu v navařeném kovu jsou uvedeny tyto hlavní cesty :

- a) Navařování jedním obloukem na šikmé ploše
- b) Navařování jedním obloukem elektrodou skloněnou vpřed
- c) Navařování nezávislým obloukem
- d) Navařování třífázovým a kombinovaným obloukem
- e) Navařování stejnosměrným proudem normální polaritou
- f) Navařování dvěma a více za sebou položenými oblouky
- g) Navařování při výhodné velikosti navařovacích podmínek

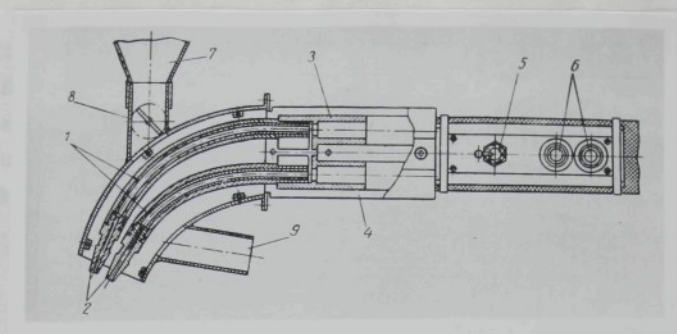
Metody uvedené za a) a b) snižují podíl základního materiálu na 40 - 50 %, metoda uvedená v bodě f) na 25 - 30 % a metoda

uvedená v bodě e) o 15 % ve srovnání s obrácenou polatitou. Největší možnosti regulace podílu základního materiálu v návaru dává navařování nezávislým, kombinovaným a třífázovým obloukem. Tyto způsoby však potřebují propracovat techniku, aby byly dosaženy jakostní návary.

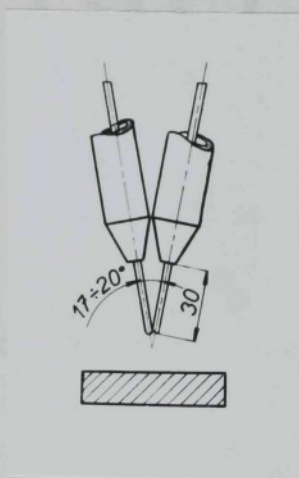
Zvláštní pozornost je v knize věnována kombinovanému oblouku v zapojení podle obr. 4, jež umožňuje využít větší části tepla pro tavení elektrod. Zkoušky s tímto způsobem zapojení byly realizovány na zvláštním dvoudrátovém poloautomatu podle obr. 5 při postavení elektrod podle obr. 6.



Obr. 4 - Zapojení kombinovaného oblouku

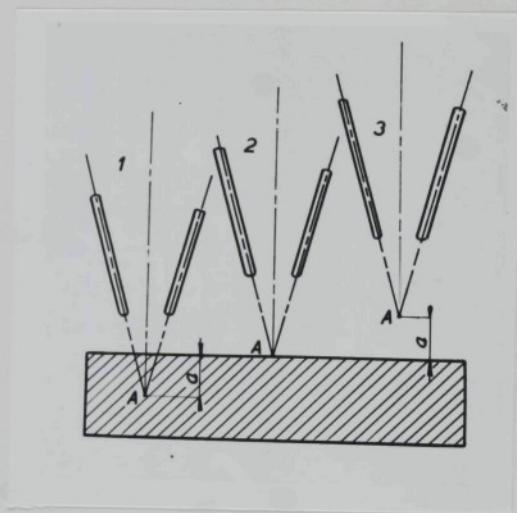


Obr. 5 - Řez držadlem dvoudrátového
poloautomatu



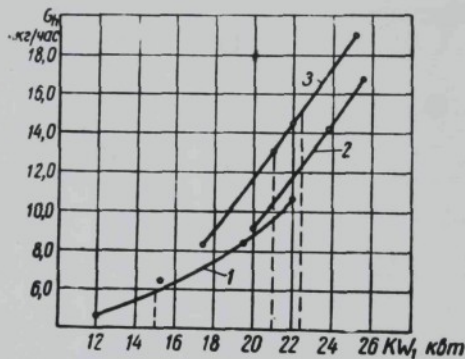
Obr. 6 - Postavení elektrod

Tento způsob sice přináší velkou produktivitu v množství nanášeného materiálu v jednotce času i na jednotku elektrické energie a malý podíl základních materiálů v navařovaném kovu, celková jakost návaru však závisí na poloze průsečíků elektrod vzhledem k povrchu navařovaného materiálu podle obr. 7, což je vážným nedostatkem.



Obr. 7 - Poloha průsečíků
elektrod

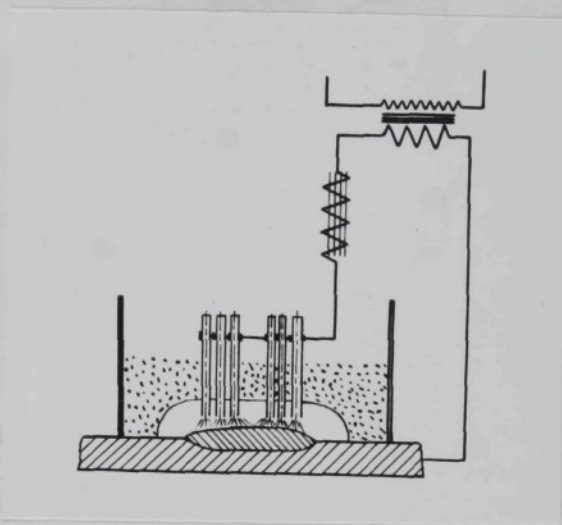
Po stránce ekonomické je to však metoda výhodná, jak ukazuje řada diagramů (jeden z nich je na obr. 8) vyjadřujících její srovnání (čára 3) s normálním navařováním jedním obloukem (čára 1) a s navařováním třífázovým obloukem (čára 2).



Obr. 8 - Diagram výkonu navaření

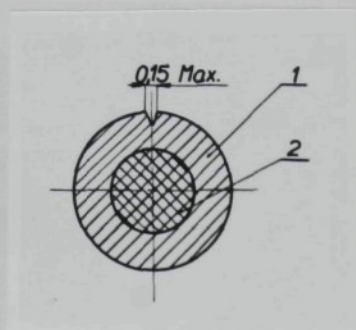
- 1 jedním obloukem
- 2 třífázovým obloukem
- 3 kombinovaným obloukem

Další popisovanou metodou je navařování mnohaelektrodovým způsobem podle obr. 9, kde všechny elektrody jsou připojeny na jeden pól transformátoru. Půdorysné uspořádání elektrod může být různé podle požadavku na navařenou vrstvu, zejména na její šířku.



Obr. 9 - Navařování mnohaelektrodovým způsobem

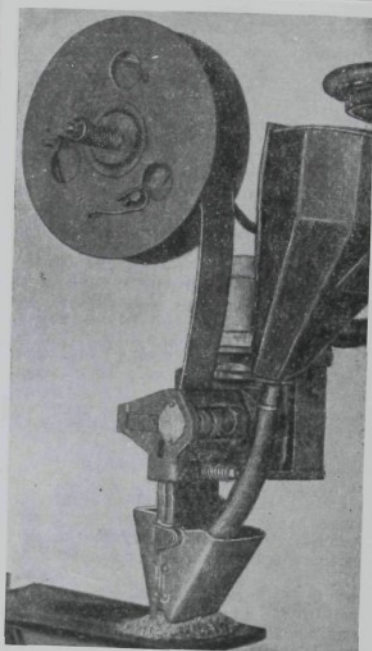
Značná pozornost je v knize věnována též způsobům legování návarů. Jako nejceněnější metoda je hodnoceno navařování trubičkovou elektrodou plněnou směsí práškových ferroslitin. Řez trubičkovou elektrodou je na obr. 10.



Obr. 10 - Řez trubičkovou elektrodou

Dalším uváděným způsobem legování návarů je navařování pod keramickými tavidly, jejichž vývojem se zabývá K. K. Chrenov [4]. Nevýhodou těchto tavidel podle [5] je, že množství legur přecházejících do návaru je velmi závislé na množství roztaveného tavidla, a tím tedy na svařovacích podmínkách.

V další literatuře [6] je popisováno automatické navařování pod tavidlem páskovou elektrodou podle obr. 11. Získá se tak široký návar v jednom sledu při malé hloubce závaru. Metoda však není zatím zpracována.



Obr. 11 - Navařování páskovou
elektrodou

2.3 NDR

Podle literárních údajů [7, 8] se používá automatického navařování pod tavidlem při výrobě armatur. Návar je legován z tavidla a jeho blavními složkami je uhlík (2 %) a chrom (3 %).

Navařuje se jedním obloukem, což má však nevýhodu v hlubokém závaru. Proto bylo zkoušeno navařování třífázovým obloukem. Při tomto způsobu se sice zmenší podíl základního

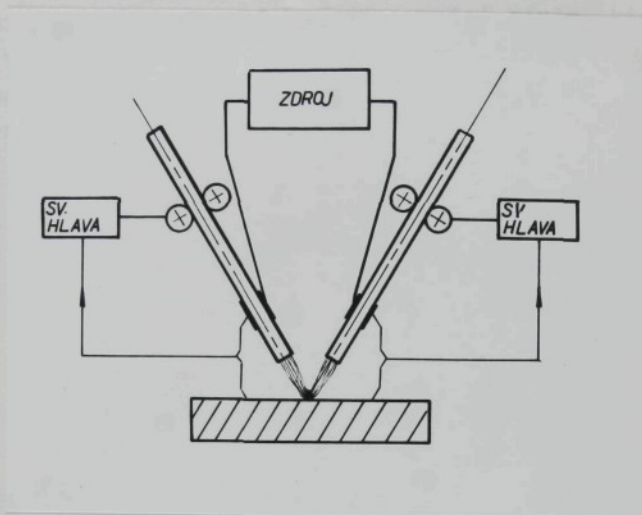
materiálu ve svarovém kovu, velmi však záleží na poloze průsečíků elektrod vzhledem k povrchu materiálu. Čím blíže je průsečík k povrchu, tím větší je vzdálenost drátů od sebe a tím větší je difference v proudtech procházejících elektrodami a materiálem. Bylo též přezkoušeno navařování obloukem hořícím mezi dvěma elektrodami. Závar se sice zmenšil, avšak oblouk je neklidnější.

2.4 Západní státy

Podle literárních údajů, jež byly k dispozici [9, 10, 11, 12, 13] se používá automatického navařování pod tavidlem hlavně pro navařování válců válcovacích stolic, pro navařování válců mlýnů apod.

Návar je legován převážně z drátu, často se používá trubičkových elektrod plněných směsí ferrosilitin. Je to zvláště v těch případech, kdy vlivem vysokého obsahu legur by nebylo možno stáčet drát do svazku.

V jednom článku [11] je kromě navařování trubičkovou elektrodou pod tavidlem popsáno též navařování hliníku a mědi v ochranné atmosféře argonu. Po stránce snížení hloubky závaru je doporučována podle [12, 13] metoda t. zv. seriového oblouku, což je vlastně oblouk hořící mezi elektrodami jako nezávislý, avšak rozdělený na dvě části základním materiálem podle obr. 12. Posuv každé elektrody je regulován podle napětí příslušné části oblouku. Tato metoda je sice velmi produktivní, lze nanést až 12 kg za hodinu, vyžaduje však zařízení s regulací napětí na oblouku schopné regulovat oblouk na napětí 20 - 25 V. Nevýhodou metody je závislost hloubky závaru na poloze průsečíků elektrod nad materiálem.



Obr. 12 - Schema seriového oblouku

2.5 Závěry literární rešerše

Z uvedeného studia zahraniční literatury bylo zřejmé, že v řadě států se zabývají problémy praktické aplikace automatického navařování na legované navařky, že však nebylo nikde dosaženo tak dobrého řešení, aby bylo možno metodu použít pro vytváření homogenních, vysoce kvalitních navařů s velmi odlišným chemickým složením od základního materiálu. Všichni autoři udávají, že velmi důležité je řízení podílu základního materiálu v navařeném kovu a jeho snížení na minimální hodnotu, avšak stávající metody nedávají záruku naprosté rovnoměrnosti dosažených výsledků. Relativně nejefektivnější metody založené na víceobloukovém navařování dávají obvykle výsledky velmi závislé na poloze průsečíků elektrod vzhledem k povrchu materiálu.

Literární řešerše tedy nedala jednoznačný závěr, který by určoval vhodnou metodiku pro zamýšlenou aplikaci na navařování vysokolegovaných ocelí, jestliže se požaduje maximální rovnoměrnost dosažených výsledků.

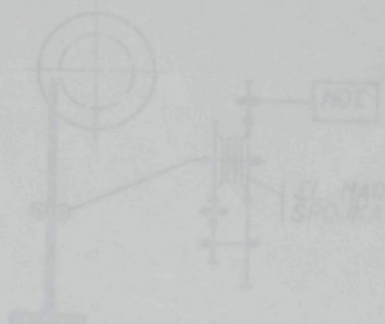
Provedení a kritika metod uvedených v literatuře

Cílem provření bylo získat určité praktické zkušenosti a přispět k přispění vlastních znalostí modifikovat některou metodu tak, aby splňovala výšně požadavek.

Vybrány byly :

- a) Navařování jedním obloukem při snižování velikosti navařovacího proudu
- b) Navařování několika oblouky
- c) Navařování trojitým obloukem

1.1 Navařování při snižování velikosti proudu umožnil speciální automat 133, jehož princip je na obr. 13.



Obr. 13

3. Proověření a kritika metod uvedených v literatuře

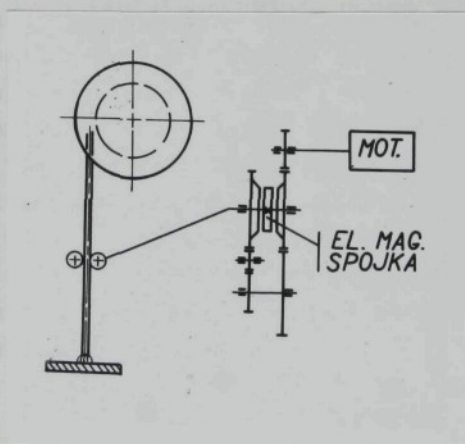
Vzhledem k závěrům literární rešerše byl další postup práce volen tak, že byly nejdříve vybrány z uvedené literatury některé metody, u kterých byla určitá naděje na praktickou použitelnost, a bylo zajištěno jejich experimentální prověření.

Cílem prověření bylo získat určité praktické zkušenosti a případně s přispěním vlastních znalostí modifikovat některou metodu tak, aby splňovala vytčené požadavky.

Vybrány byly :

- a) Navařování jedním obloukem při snížené velikosti navařovacího proudu
- b) Navařování nezávislým obloukem
- c) Navařování trojfázovým obloukem

3.1 Navařování při snížené velikosti proudu umožnil speciální automat ABC, jehož princip je na obr. 13.



Obr. 13

V převodovém mechanismu je zařazena reverseční magnetická spojka ovládaná citlivým relé. Automat velmi citlivě reaguje i na malé změny napětí na oblouku a podle těchto změn elektrodou kmitá. Má přitom dostatečnou sílu v obou směrech pohybu, takže se elektroda nepřilepuje.

Tak je možno snižovat navařovací proud pod obvyklé minimum. U drátu o průměru 5 mm se podařilo snížit navařovací proud až na hodnotu asi 250 A místo obvyklých 500 A. Souběžně s tím klesala hloubka závaru, ale nikoliv tak pronikavě, jak se očekávalo, a mimo to klesala stabilita procesu, což způsobovalo různé vady a nepravidelnosti v profilu návaru.

Přesto však byly provedeny informativní zkoušky navařování na konkrétních součástkách. Slitinou Real C96 byly navařeny kroužky podobné sedlům armatur. Kroužky byly navařovány ve dvou vrstvách při stejných podmínkách: tyčinky $\varnothing$ 5 mm, tavidlo Z 41, stejnosměrný proud 250 A, 30 V, rychlost 21 m/hod.

Kroužky byly přehřáté na teplotu 700°C, jež během navařování dále stoupala. Mezi jednotlivými vrstvami byly kroužky vloženy do pece pro vyrovnaní teploty a po navařování žíhány 3 - 4 hodiny při teplotě 700°C a potom chlazeny v peci. Navařený kroužek je na obr. 14, kde je vidět i nepravidelnost návaru. Z obou vrstev byly odebrány vzorky pro chemické analýzy a bylo zjištěno, že zejména v první vrstvě, ale i ve druhé vrstvě dochází ke značnému úbytku legovacích prvků, zvláště chromu, kobaltu, wolframu a uhlíku. Úbytky dosahují 30 - 40 %, což je hodnota nepřijatelná. Povrch návaru je málo pravidelný a nelze proto tuto metodu považovat za provozně způsobilou a nebyla proto dále sledována.

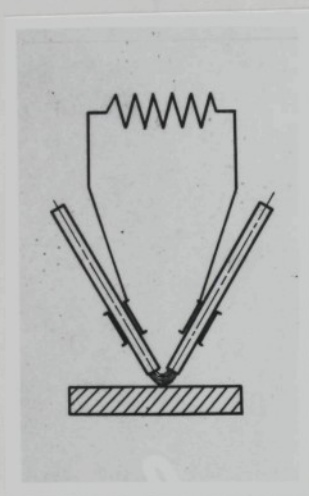


Obr. 14 - Vzhled navařovaných
kroužků

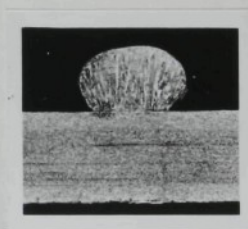
3.2 Princip metody navařování nezávislým obloukem spočívá v tom, že se použije dvou elektrod, mezi kterými hoří oblouk, přičemž základní materiál není spojen s obvodem. Schema je na obr. 15. Při tomto procesu je tedy povrch základního materiálu nahříván pouze nepřímým působením oblouku a hloubka závaru podstatně klesá. To, že základní materiál není ohříván stálým proudem, má i jistou nevýhodu, protože spojení navařovaného kovu se základním materiálem se stává nedokonalé a vznikají tak studené spoje.

Pro zkoušky bylo použito dvou automatů s posuvem drátu nezávislým na napětí oblouku. Oblouk se udržoval samoregulační. Získané návary byly velmi nepravidelné, úzké, příliš převýšené (viz obr. 16), spojení se základním materiálem bylo naprosto nejisté.

Bylo to zřejmě způsobeno nepravidelným ohříváním povrchu základního materiálu, protože poloha oblouku nad ním závisí na poloze průsečíků elektrod a protože vlivem nepravidelného odtavování elektrod se oblouk přesouvá z jedné strany na druhou.

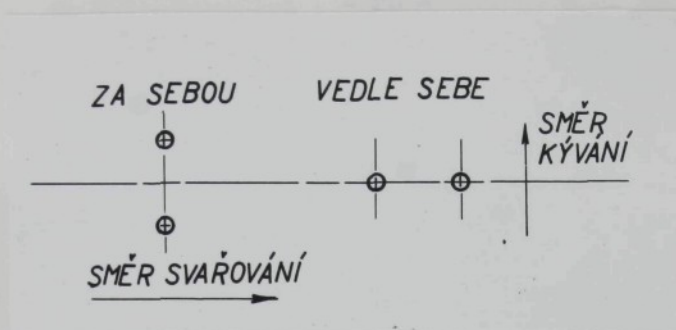


Obr. 15 - Schema
nezávislého oblouku

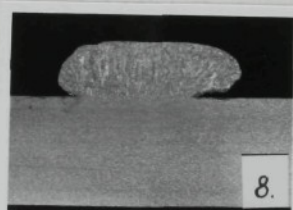


Obr. 16 - Makrovýbrus
návaru nezávislým
obloukem

Pro zlepšení kvality návaru, hlavně pro zvětšení jeho šířky, bylo přezkoušeno kývání oblouku kolmo na směr navařování, a to jak s dráty vedle sebe, tak i s dráty za sebou podle obr. 17. Navařování bylo přezkoušeno při různých průměrech drátu, při různých proudech a při různé výšce průsečíků drátů nad povrchem materiálu. Dosažené výsledky byly sice lepší než při navařování bez kývání, za vyhovující je však nelze považovat, jak ukazuje obr. 18.



Obr. 17 - Způsob uspořádání elektrod



Obr. 18 - Makrovýbrus návaru při
nezávislém oblouku

Z řezu je vidět, že není zaručena ani stálá hloubka závaru, ani dokonalé spojení mezi návarem a základním materiálem. Aby tato metoda dala vyhovující výsledky, muselo by být možno regulovat množství tepla, jež ohřívá povrch základního materiálu a připravuje tak podmínky pro dokonalý spoj mezi ním a návarem. Za tím účelem by měl mít automat pravděpodobně jednak výškovou regulaci podle tvaru základního materiálu k zajištění stálé polohy průsečíků elektrod a jednak regulaci oblouku vzhledem k základnímu materiálu, jak je uvedeno v literatuře.

v další části zkoušek byla regulace oblouku zajištěna a tím byl docílen stabilní svařovací proces, avšak jakost návarů z hlediska technologického zůstala nevyhovující, zvláště pro velkou závislost na poloze průsečíků elektrod.

Zkoušky ukázaly, že požadavky na zařízení jsou z hlediska regulace různých parametrů velmi rozsáhlé a přitom dosažená kvalita nebude v plném rozsahu odpovídat stanoveným požadavkům. Bylo rozhodnuto, sledovat tuto metodu nadále jen v tom případě, že by nebyla nalezena jiná metoda s lepšími výsledky.

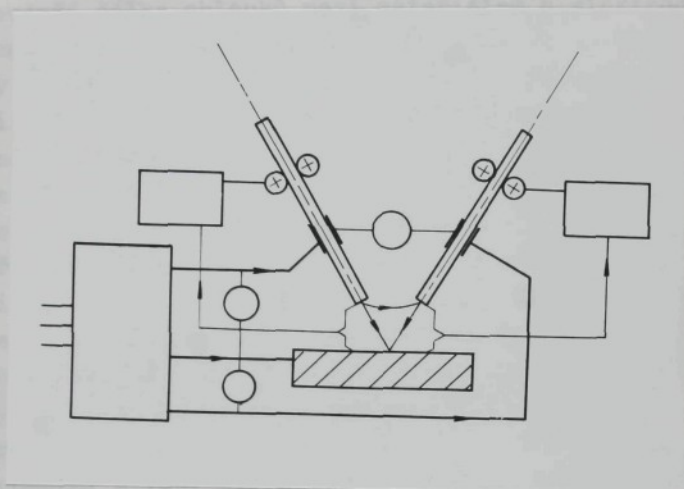
3.3 Pozornost navarování trojfázovým obloukem byla věnována přesto, že v literatuře je o její aplikaci pro navarování jen zmínka [3]. Trojfázový oblouk má obecně značné přednosti energetické a lze očekávat, že vhodným uspořádáním je možno energii trojfázového oblouku předem stanoveným způsobem rozdělit na část, která taví drát, a na část ohřívající základní materiál. Účelem provedených zkoušek bylo hlavně zjistit, do jaké míry je stabilní a regulovatelný trojfázový oblouk při zachování malého závaru a zjistit vhodnost stávajících svařovacích strojů a zdrojů proudu.

Ze zahraniční literatury [14, 15] pojednávající o trojfázovém svařování byla převzata dvě zásadní uspořádání, a to :

- a) svařování trojfázovým obloukem, při němž jsou dráty posouvány rychlostí na oblouku nezávislou,
- b) svařování trojfázovým obloukem, při němž jsou dráty posouvány rychlostí závislou na napětí oblouku.

Schema celkového uspořádání při navarování trojfázovým obloukem s posuvem drátu nezávisle na oblouku, jež je

v tomto případě velmi jednoduché, je na obr. 19.



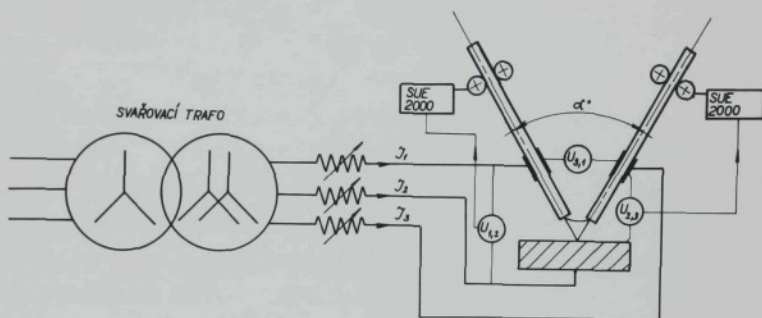
Obr. 19 - Schema navařování trojfázovým
obloukem s konstantní rychlostí
podávání drátu

Při zkouškách bylo použito dvou svařovacích hlav s asynchronními motory, rychlost posuvu drátu byla měnitelná ve stupních výměnou kol. Zdrojem proudu byla kombinace jednofázových transformátorů TS 1000.3. Ze zkoušek vyplynulo, že při nastavování svařovacích podmínek nelze uvažovat sdružené proudy, ale fázové proudy, jež nejvíce ovlivňují profil svaru. Z vektorových diagramů lze dokázat [16], že při neproměnných sdružených proudech se při zvětšení napětí na oblouku mezi elektrodami zvětší současně proudy mezi elektrodami a materiálem. Zvětšením napětí mezi elektrodami a materiálem se naopak zmenší proudy mezi elektrodami

a materiálem a zvětší proud mezi elektrodami. Z této úvahy vyplývá, že napětí na jednotlivých obloucích má velký vliv na fázové proudy. Při konstantním nezávislém podávání elektrody se při trojfázovém oblouku neudrží délky oblouků mezi materiálem a elektrodami konstantní samoregulací, neboť rychlost tavení elektrody určuje příslušný sdružený proud, přičemž jednotlivými oblouky protékají proudy fázové. Proces se tedy při změnách fázových proudů (případně i fázových napětí) nemůže vrátit do dřívějšího stavu, jestliže současně nedošlo ke změně proudu sdruženého.

Při zkouškách vykazoval proces skutečně značnou nestabilitu. V literatuře [16] se doporučuje regulování další veličiny, např. výšky průsečíků os drátu nad materiálem nebo úhlů mezi elektrodami. První z uvedených způsobů byl přezkoušen, avšak očekávané výsledky nebyly docíleny. Pro zvýšení stability oblouku se přešlo od zapojení sekundární strany zdrojů do uzvařeného trojúhelníka k zapojení Scottovu. Stabilita se skutečně zvýšila, ale nikoliv na dostatečnou míru. Pro navařování nelze toto uspořádání doporučit.

Schema celkového uspořádání při navazování trojfázovým obloukem s posuvem elektrod závislým na napětí mezi elektrodami a materiálem je na obr. 20. Experimentální zařízení bylo sestaveno z běžných svařovacích automatů a trojfázového svařovacího transformátoru PM 500 [17] zapojeného na sekundáru do dvojité hvězdy a na primáru na takovou odbočku, aby napětí naprázdno bylo 3×78 V. Do jednotlivých fází byly vřazeny nastavitelné jednofázové tlumivky patřící k transformátoru.



Obz. 20 - Schema navařování trojfázovým obloukem
s automat. řízením napětí na oblouku

Obecně lze říci, že svařovací proces byl v tomto případě stabilnější a ovladatelnější než při předcházejícím uspořádání, i když nastavování svařovacích podmínek je poměrně obtížné, neboť změna kteréhokoli z nich vyvolá změnu i těch ostatních.

Hloubku závaru můžeme ovlivňovat hlavně velikostí napětí mezi elektrodami a materiálem (u_{12} , u_{21}) a velikostí sdruženého proudu I_2 procházejícího základním materiálem. Zmíněná napětí lze snadno regulovat pomocí použitých automatů, sdružený proud I_2 přestavováním tlumivky vřazené do jeho obvodu.

Vliv úhlu α mezi elektrodami nebyl v rozmezí 30° až 60° patrný ani na změnu paramterů, ani na změnu hloubky závaru. Má však vliv na stabilitu procesu, jež je lepší při větším úhlu (45° až 65°) než při menším (30°).

Se zvětšováním výšky průsečíků elektrod nad materiálem se hloubka závaru zmenšuje, změna však není příliš výrazná.

Při zkouškách bylo zjištěno, že symetrický návar získáme jen při symetricky navařovacích podmínkách ($u_{12} = u_{32}$ a $I_1 = I_3$). Pro dosažení takových podmínek obecně platí, že tlumivky v obvodech proudu I_1 a I_3 nemají stejnou indukčnost. Velikost indukčnosti je třeba zjistit zkouškou a platí jen pro tentýž sled fází.

Popsané uspořádání zajistilo poměrně stabilní proces a možnost nastavení požadovaného podílu základního materiálu v navařeném kovu. Celé zařízení je však složité a nastavování navařovacích hodnot velmi obtížné. Tyto závažné provozní nedostatky nejsou vyváženy prakticky žádnými výhodami.

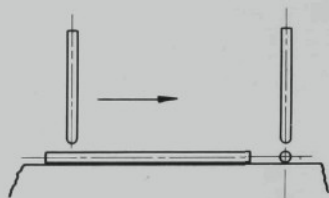
3.4 Kritika prověřovaných metod

Po experimentálním prověření jednotlivých metod lze říci, že literární údaje o nich jsou v podstatě pravdivé a ani různými úpravami schémat nebylo dosaženo takových výsledků, které by uspokojivě zajišťovaly na počátku stanovené podmínky.

Hlavním společným znakem všech prověřovaných metod byla malá stabilita procesu - hlavní navařovací veličiny neustále kolísaly - a to mělo nepříznivý vliv na rovnoměrnost tvorby návaru. U trojfázového oblouku kromě toho ještě přistupovala složitost řízení a nastavování jednotlivých veličin.

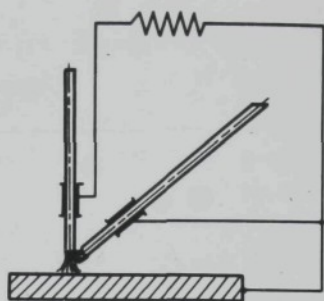
4. Navržení vlastní metody řízení počítu základního materiálu v návarovém kovu a její experimentální prověření

Jelikož první etapa experimentálních zkoušek nevynkla kladně, byly hledány vlastní cesty. Byla prověřena celá řada variant zapojení a různého uspořádání elektrod a nakonec byla navržena zcela nová metoda vycházející ze zjištění, že při navařování na drát položený na základní materiál podle obr. 21 lze při vhodné volbě velikosti proudu a průměru ležícího drátu dosáhnout podstatné snížení hloubky závaru.



Obr. 21 - Navařování na položený drát

Jelikož nelze z operativních důvodů pokládat drát na materiál, byl drát posouván do místa oblouku zvláštním podávacím mechanismem těsně nad základním materiálem, aby poměry byly obdobné. Jestliže tento přídavný drát byl bez přívodu proudu, nebyl jeho účinek na hloubku závaru při malých rychlostech posuvu příliš znatelný a při zvětšení posuvu klesala stabilita hoření oblouku. Dosažené výsledky, tedy nesouhlasily s výsledky při položeném drátu. Po řadě zkoušek bylo zjištěno, že je třeba přídavný drát připojit paralelně k základnímu materiálu podle obr. 22.



Obr. 22 - Způsob připojení přídavného drátu

V oblouku se tedy proud ze svařovacího drátu dělí na dvě paralelní větve, z nichž jedna prochází přídavným drátem a druhá základním materiálem. Již na začátku zkoušek se ukázalo, že tato metoda má všechny předpoklady k použití pro navařování, protože lze změnou průměru přídavného drátu a rychlosti jeho posuvu snadno, účinně a plynule regulovat velikost proudu procházejícího základním materiálem, a tím i jeho ohřev a hloubku závaru. Mimo to se při stejném energetickém příkonu podstatně zvyšuje množství materiálu navařeného v jednotce času, protože se přídavný drát taví na úkor základního materiálu. Jelikož získané návary byly zcela přehledné, a nastavování navařovacích podmínek bylo jednoduché, byla této metodě věnována zvláštní pozornost propracováním a zhodnocením vlivů jednotlivých veličin.

Pracoviště pro zkoušky bylo vybaveno autotermem SUE 2000 jako vlastním navařovacím zařízením, pomocným zařízením pro posuv přídavného drátu s plynulou regulací, zdroji navařovacího proudu - transformátorem TS 1000 a agregáty FRAGA P 500, polohovadlem PU 500 pro otáčení navařovaným materiálem, případně pevným stolem podle druhu navařovaného dílu a přídavným ústrojím pro kývání kolmo na směr navařování.

Všechny zkoušky byly prováděny drátem č. 0 pod tavidlem Z 41 a rovněž základní materiál byla tažná ocel třídy 11. Vycházelo se z toho, že zjištěné vlivy jednotlivých veličin na podíl základního materiálu v navařeném kovu budou při použití jiných kovů a slitin podobné, takže získaných výsledků bude možno použít jen s malými změnami, jež vzniknou hlavně jinou rychlostí tavení těchto kovů, event. jinou požadovanou teplotou přehřátí. Z hlediska průměrů drátů byla pozornost zaměřena, z důvodů již dříve uvedených, na hodnoty 4, 5, 6 a 8 mm.

Základní poloha obou drátů byla převzata z metody, z které vznikla, t. j. vlastní navařovací elektroda je kolmá k navařovanému materiálu a přídavná elektroda se svou polohou blíží poloze drátu položeného na navařovaný materiál.

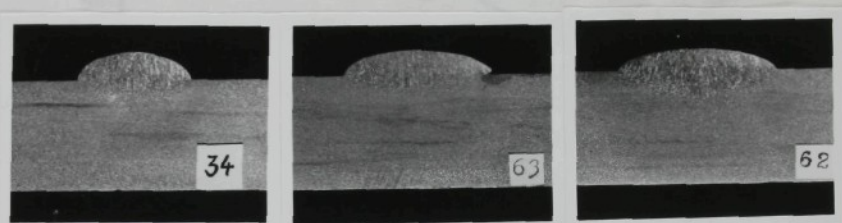
Vlivy jednotlivých veličin byly zpracovány podle celé řady zkoušek, jež jsou specifikovány v dodatku.

Nejdůležitější sledovanou veličinou byl podíl základního materiálu v navařeném kovu - v diagramech i v dalším textu je označováno jako f a udáván v procentech. Tento podíl je ovlivňován celou řadou nezávisle proměnných, např. rychlostí posuvu přídavné elektrody, rychlostí navařování, teplotou přehřátí, druhem a hustotou proudu, sklonem elektrod, apod. a jejich vliv byl systematicky zjišťován.

4.3 Prověření vlivu jednotlivých veličin

Jako první byl zjišťován vliv druhu svařovacího proudu. Porovnáním za stejných podmínek se ukázalo, že pro tyto účely je střídavý proud vhodnější než proud stejnosměrný, a to jak po stránce vnější pravidelnosti návaru, tak i po

stránce relativní velikosti hloubky závaru a podílu γ . Zvláště nevhodný je pro tyto účely stejnosměrný proud při obrácené polaritě (elektroda +). Šířka návaru je však větší při proudu stejnosměrném. Srovnání profilu návarů za stejných podmínek je na obr. 23



Obr. 23 - Vliv druhu proudu na profil návaru

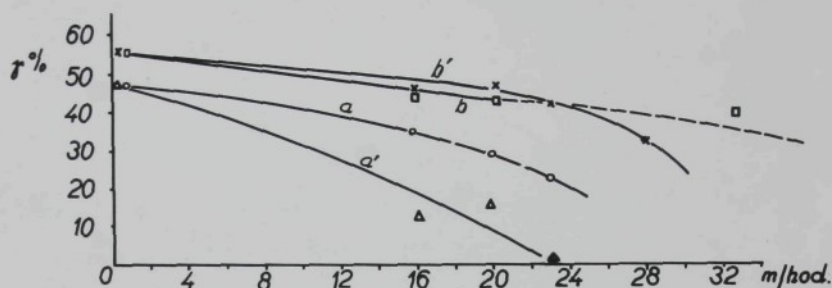
34 - střídavý proud

63 - stejnosměrný proud, elektroda -

62 - stejnosměrný proud, elektroda +

Pozornost byla proto dále věnována výhradně proudu střídavému. Je však možné, že při použití metody pro navařování neželezných kovů nebo při užití speciálních tavidel, bude nutno navařovat proudem stejnosměrným.

Vliv velikosti navařovacího proudu při určitém průměru elektrody, resp. vliv proudového zatížení elektrody, je vidět z diagramu na obr. 24. Pro určitý průměr navařovací elektrody (6 mm) a přidavné elektrody (8 mm) byla zkoušena dvě proudová zatížení, jedno malé (560 A - čára a) jen těsně zajišťující stabilní hoření oblouku při tomto průměru elektrody, a druhé střední (800 A - čára b), běžné při daném průměru užívané. Z diagramu je zřejmé, že podíl γ je změnou rychlosti posuvu přidavného drátu daleko více ovlivňován v prvním případě než ve druhém.



Obr. 24 - Vliv proudového zatížení na podíl r

Z téhož diagramu je dále vidět význam vodivého spojení přídavné elektrody se základním materiálem. Byly zjišťovány stejné závislosti (čáry a - b) jen s tím rozdílem, že vodivé spojení je přerušeno. Při dosažení určité rychlosti posuvu přídavné elektrody došlo vždy k porušení stability procesu a tato oblast je v diagramu vyznačena čárkovaně, protože je prakticky nepoužitelná. Jestliže tedy není elektroda připojena paralelně k základnímu materiálu, pak nelze pro navařování použít ani malého zatížení (čára a), ani středního (čára b), protože dříve než podíl základního materiálu r klesne na přijatelnou hodnotu, přestane být proces stabilní. Jestliže je přídavná elektroda připojena paralelně k základnímu materiálu, je navařovací proces v celém rozsahu stabilní.

Z diagramu na obr. 24 tedy vyplývá důležitý poznatek, že proudové zatížení navařovací elektrody je třeba volit těsně nad minimální hodnotou, aby řízení podílu základního materiálu v navařeném kovu bylo nejvíce účinné.

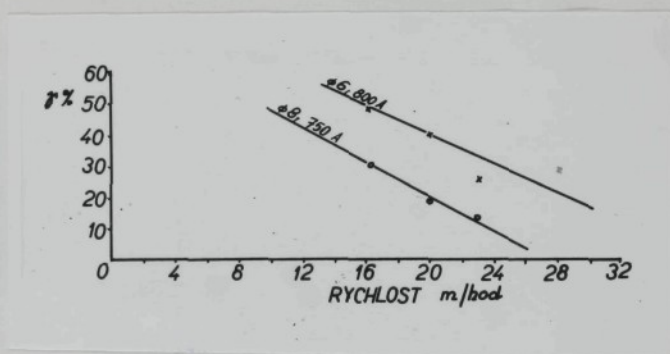
Pro tavidlo Z 41 tomu vyhovují následující velikosti proudu

elektroda $\varnothing$ 5 mm - 530 A

elektroda $\varnothing$ 6 mm - 560 A

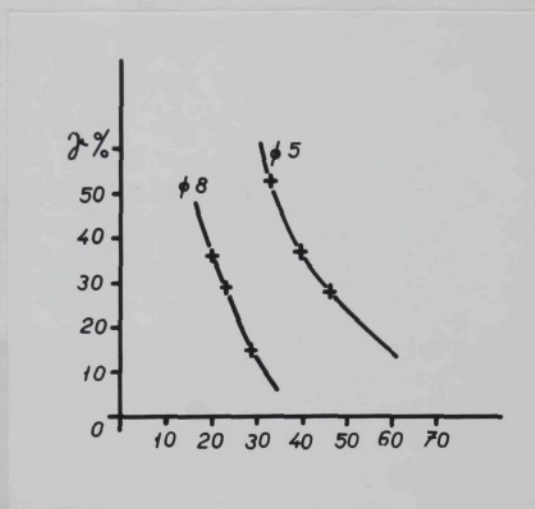
elektroda $\varnothing$ 8 mm - 750 A

Jestliže z důvodů zvýšení produktivity je žádoucí užít vyššího proudu, pak je nutné současně i zvýšit průměr navařovací elektrody. Na obr. 25 je vidět účinek stejné elektrody přidavné při přibližně stejných velikostech proudu. V prvním případě byla užita navařovací elektroda $\varnothing$ 6 mm při středním zatížení 800 A, ve druhém případě elektroda $\varnothing$ 8 mm při zatížení minimálním 750 A. Z diagramu je vidět, jak mnohem účinněji je μ ovlivňováno ve druhém případě.

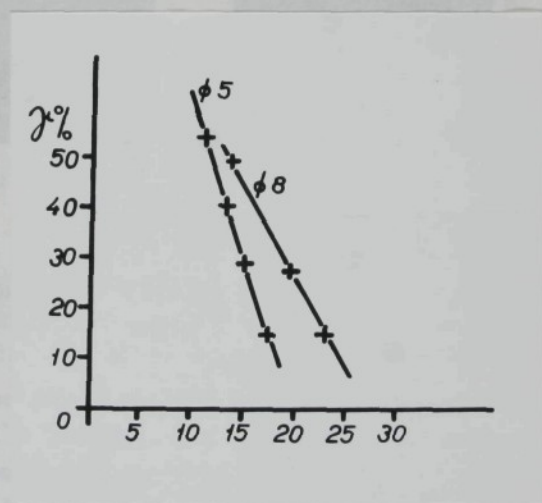


Obr. 25 - Vliv průměru navařovací elektrody na podíl μ

Při dodržení uvedených základních podmínek má na velikost podílu μ největší vliv rychlost posuvu přidavného drátu. V diagramu na obr. 26 je vidět tato závislost velmi zřetelně. Jestliže místo průměru přidavného drátu a rychlosti jeho posuvu se zavede objem přidávaného materiálu v cm^3/min . podle diagramu na obr. 27, pak lze ukázat, že snižování působí účinněji přidavný drát menšího průměru. Rozdíly však nejsou příliš velké.

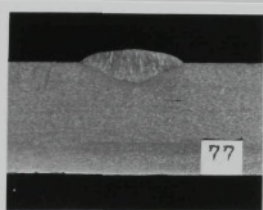


Obr. 26 - Vliv rychlosti přidavného drátu v m/hod. na podíl μ

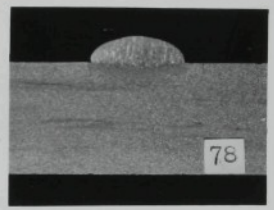


Obr. 27 - Vliv objemu přidavného kovu v cm³ na podíl μ

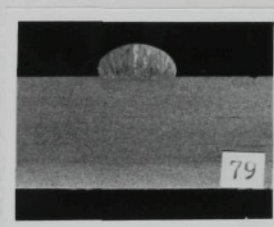
Zvyšování rychlosti posuvu přídavného drátu při neproměnných ostatních veličinách má dále vliv na profil návaru, jenž se postupně mění podle obr. 28. Planimetrováním bylo zjištěno, že celkový průřez návarového kovu zůstává přibližně konstantní. To tedy potvrzuje, že materiál z přídavné elektrody se výslovně taví na úkor materiálu základního.



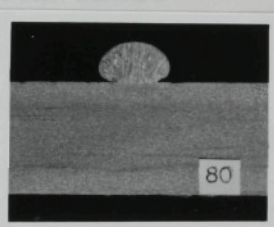
0 m/hod.



16 m/hod.



20 m/hod.

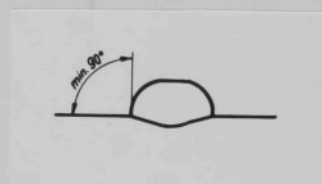


23 m/hod.

Obr. 28 - Vliv rychlosti posuvu přídavného drátu na profil návaru

Jestliže se posuzuje vhodnost profilu návaru z hlediska použitelnosti a pravidelnosti, pak lze za provozně dosažitelný a přitom ještě dobře použitelný považovat takový návar, u něhož úhel svíraný mezi povrchem materiálu a

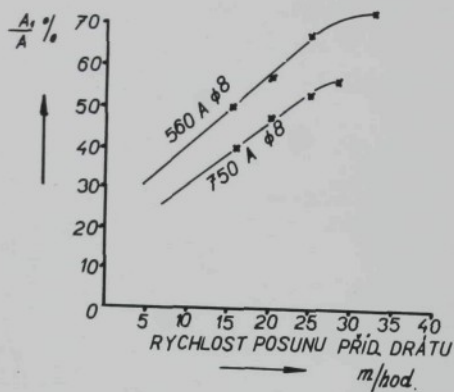
boční stěnou návaru je minimálně 90° podle obr. 29. Při menším úhlu přestává být přechod do základního materiálu pravidelný, z okrajů se špatně odstraňuje struska, snadno již vznikají studené spoje. Větší úhel je již obvykle známkou vyššího podílu základního materiálu v navařeném kovu.



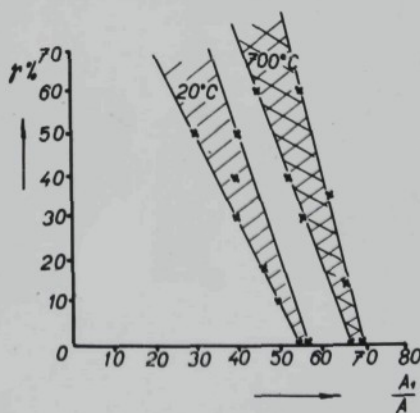
Obr. 29 - Mezní profil
dobrého návaru

Se zvětšováním rychlosti posuvu přídatného drátu roste konečně i velikost proudu jím procházejícího. Na diagramu v obr. 30 je závislost podílu A_1/A proudu procházejícího přídatnou elektrodou A_1 z celkového proudu navařovacího A v % na rychlosti posuvu přídatné elektrody při různých navařovacích proudech a různých průměrech navařovacích elektrod.

V diagramu na obr. 31 je závislost podílů základního materiálu v navařeném kovu γ na zmíněném poměru A_1/A . Z něj je vidět, že rozptyp jednotlivých čar při různých podmínkách navařování, ale při téže stupni předehřátí je poměrně malý (všechny leží vždy ve vyřařovaném pásmu), takže lze dobře hovořit o přímé závislosti γ na poměru A_1/A . Bylo by tedy možno přibližně určit z tohoto diagramu pro předem zvolené γ poměr A_1/A potřebný k jeho dosažení.

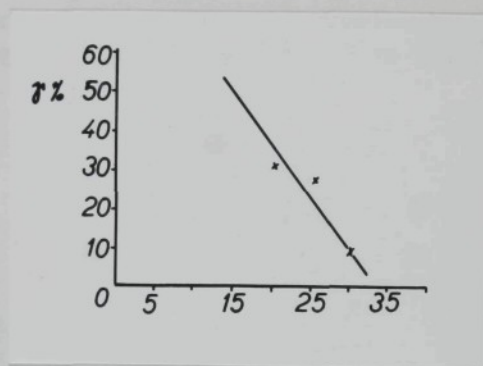


Obr. 30 - Závislost $\frac{A_1}{A}$ na rychlosti
přídavné elektrody

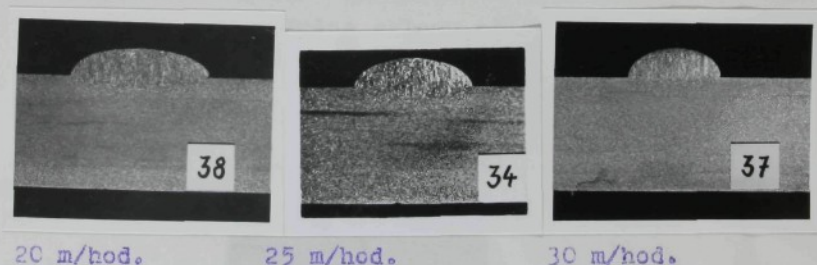


Obr. 31 - Závislost γ na posuvu
 $\frac{A_1}{A}$

Vliv rychlosti navařování na podíl μ je velmi značný, jak je vidět z diagramu na obr. 32. Se stoupající rychlostí navařování klesá podíl μ poměrně rychle a současně se mění i profil návaru podle obr. 33 - šířka návaru se zmenšuje.

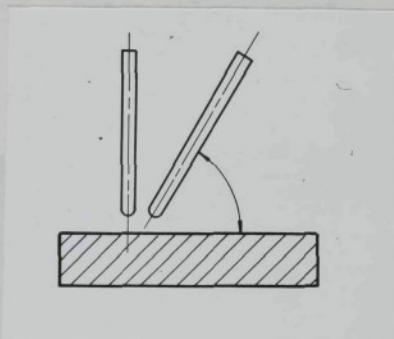


Obr. 32 - Závislost μ na rychlosti navařování

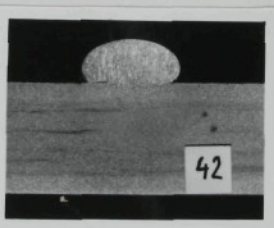


Obr. 33 - Vliv rychlosti navařování na profil návaru

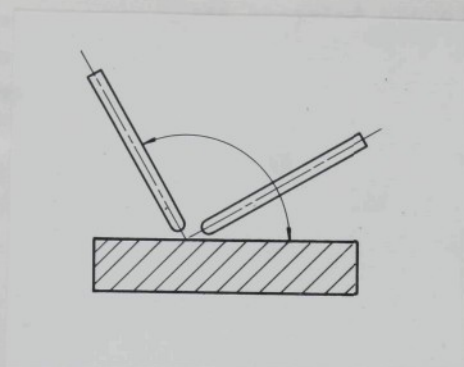
Rovněž poloze elektrod byla věnována pozornost. Bylo zjištěno, že při zvětšování úhlu přídavné elektrody vzhledem k základnímu materiálu podle obr. 34 nastává při překročení úhlu cca 25° zhoršení kvality návaru, zejména studenými spoji podle obr. 35. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že oblouk hoří již příliš vysoko nad materiálem a skapávající návarový kov nemá dostatek tepla pro dokonalý spoj. Rovněž změna sklonu hlavní navařovací elektrody podle obr. 36 vede ke zhoršení kvality návaru, jak je zřejmé na obr. 37.



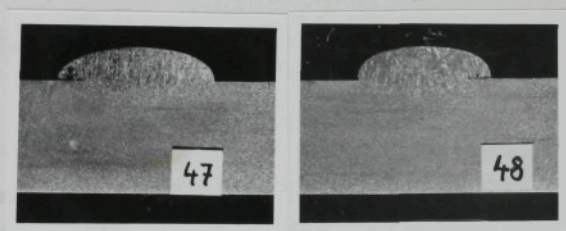
Obr. 34 - Změna sklonu přídavné elektrody



Obr. 35 - Vliv sklonu přídavné elektrody na profil návaru



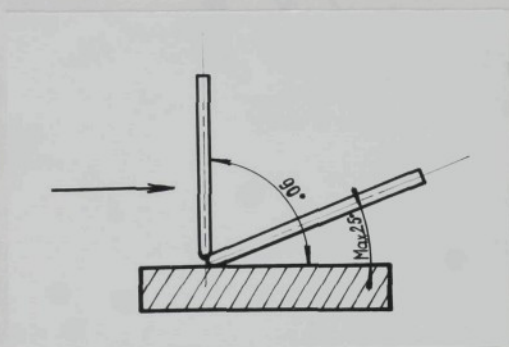
Obr. 36 - Změna sklonu navařovací elektrody



Obr. 37 - Vliv sklonu navařovací elektrody na profil návaru

Při obou změnách úhlu se též již začne nepříjemně proje-
vovat vliv polohy průsečíků elektrod vzhledem k základní-
mu materiálu, jak o tom bylo již hovořeno dříve při nezá-
vislém oblouku. Nejvhodnější poloha elektrod je na obr. 38.
Při této poloze je třeba, aby se přídavná elektroda v mís-
tě oblouku právě dotýkala základního materiálu. Tím je dá-
na i poloha průsečíků obou elektrod. Nahodilé změny v rozsahu

cca ± 2 mm se však ještě znatelně neprojevují a větší rozptyl nemůže prakticky ani nastat, což je z hlediska provozního velmi důležité.

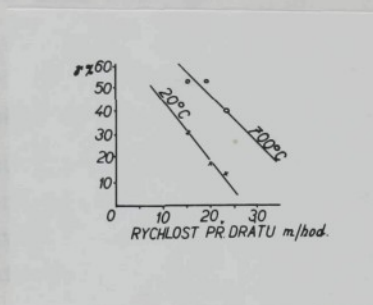


Obr. 38 - Nejvhodnější poloha elektrod a směr navařování

Směr navařování je použitelný pouze podle obr. 38. Při opačném směru je pochod neklidný a vznikají vady v návaru.

Účinek předehřátí základního materiálu je zřejmý z diagramu na obr. 39, kde je zachycen vliv rychlosti přidavné elektrody na podíl při 20°C a 600°C při jinak stejných podmínkách. Z obrázku je zřejmé, že pro dosažení určitého γ je nutné volit při větším předehřátí základního materiálu vyšší rychlost posuvu přidavné elektrody, že však i při vysokém předehřátí lze docílit výhodných výsledků.

b) velikost proudu volit dle průměru navařovací elektrody tak, aby proudové zatížení elektrody bylo těsně nad minimem



Obr. 39 - Vliv předehřátí základního materiálu na γ

Pro zvětšení šířky návaru bylo přezkoušeno kývání systému elektrod kolmo na směr navařování. Bylo přitom zjištěno, že vlivem kývání vzrůstá podíl γ , a to tím více, čím pomalejší ke kývání. Kývání elektrod je možno doporučit tam, kde je třeba docílit především širokého návaru, přičemž dosažení minimálního podílu γ není rozhodující.

4.2 Specifikace technologických zásad

Na základě popsaných vlivů jednotlivých veličin lze pro novou metodu navařování pod tavidlem stanovit tyto všeobecně platné technologické zásady pro železné kovy :

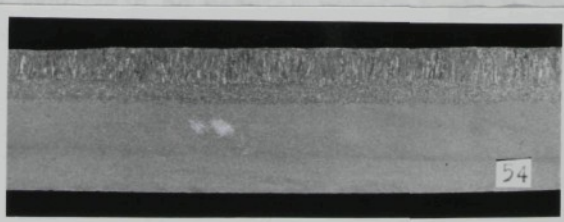
- a) používat pro navařování střídavý proud (pokud tomu nebrání druh tavidla)
- b) velikost proudu volit dle průměru navařovací elektrody tak, aby proudové zatížení elektrody bylo těsně nad minimem

- c) plohu elektrody volit tak, aby navařovací elektroda byla kolmá k navařovanému materiálu a přídavná elektroda s ním svírala úhel max. 25°
- d) průměr přídavné elektrody volit stejný nebo o stupeň vyšší než průměr elektrody navařovací. Přílišným zvyšováním průměru se však zhoršuje její účinek
- e) rychlost posuvu přídavné elektrody je třeba volit podle nutného stupně předežhátí a podle požadovaného γ případ od případu zvlášť, hodnoty z diagramu mohou sloužit jen pro první informaci
- f) rychlost navařování je třeba volit raději vyšší, protože působí na snižování γ velmi intenzivně
- g) pro zvětšení šířky návaru lze buď klást několik housenek vedle sebe nebo užít kývání systému elektrod kolmo na směr navařování
- h) při dodržení úhlu mezi boční stěnou návaru a základním materiálem na hodnotě 90° , je podíl základního materiálu v navařeném kovu

$$\gamma = 13 - 15 \%$$

s touto hodnotou lze počítat při běžných ocelích jako bezpečně dosažitelnou, jež při dodržování hlavních parametrů se samovolně nemění

- i) vzhled i profil návarů je i při minimálních velikostech pravidelný, hloubka závaru je v celé délce rovnoměrná jak je vidět na obr. 40.



Obr. 40 - Podélný řez návarem

4.3 Původnost metody

Popsaná metoda řízení podílu základního materiálu byla uznána za původní a byl na ni udělen čs. patent číslo 91410.

4.4 Některé zvláštnosti vypracované technologie

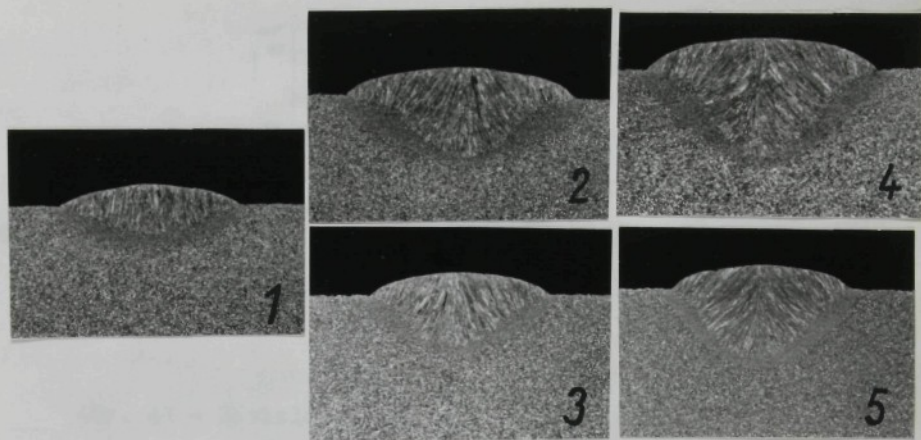
Nejdůležitější poznatky z experimentálních prací je možno specifikovat takto :

- a) Mechanismus řízení podílu základního materiálu v návarovém kovu pomocí přídavného drátu paralelně připojeného k základnímu materiálu funguje jen tehdy, jestliže se pracuje při mezních podmínkách hoření oblouku.
- b) Jestliže se nepracuje v oblasti mezních podmínek, je vliv paralelního připojení v oblasti prakticky použitelných hodnot zanedbatelný a výsledky jsou přibližně stejné jako při elektrodě, která není vodičivě spojena s obvodem svařovacího proudu.
- c) Celkový průřez návaru se s přidáváním drátu v podstatě nemění.

Z toho vyplývá, že oblouk hořící při mezních podmínkách má určité specifické zvláštnosti, které výrazně ovlivňují profil návaru a z něj odvozené vztahy.

Hodnocení bylo provedeno podle serie návarů, jejichž makrovýbrusy jsou na obr. 41. Navařovací podmínky byly voleny tak, že se vycházelo od mezních podmínek při drátu $\varnothing 5$ mm a další hodnoty proudu byly voleny směrem nahoru jednak při konstantní rychlosti navařování a jednak při konstantním množství tepla přivedeného na jednotku délky takto :

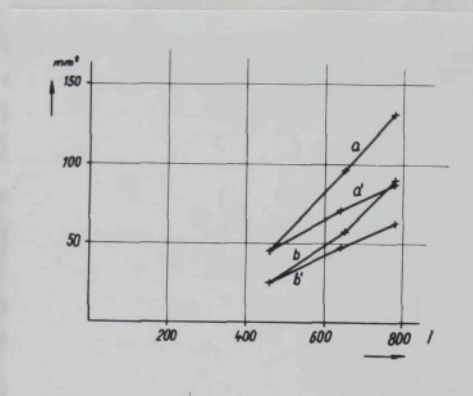
① 460 A, 36 V 30 m/hod.	② 650 A, 36 V 30 m/hod.	④ 780 A, 37,5 V 30 m/hod.
	③ 640 A, 36 V 42,5 m/hod.	⑤ 780 A, 37,5 V 53 m/hod.



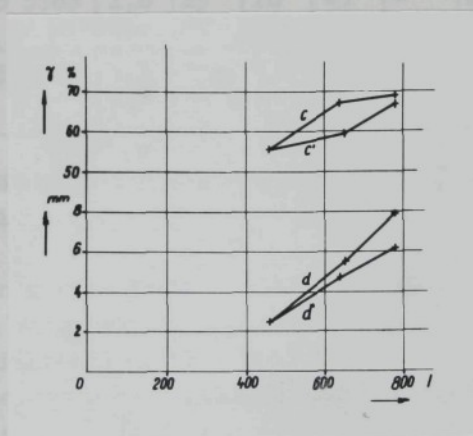
Obr. 41 - Makrovýbrusy srovnávacích návarů
(měřítko 2 : 1)

Z makrovýbrusů je především zřejmá změna profilu. Zatímco v blízkosti mezních podmínek má jasně čočkovitý průřez téměř symetrický mezi závarem a převýšením, při vyšších proudových hodnotách výrazně roste hloubka závazu a profil se mění na kalíškovitý současně roste i podíl základního materiálu z hodnoty cca 55 % při mezních podmínkách až na běžnou velikost 65 + 70 %. Zachování konstantního množství tepla na jednotku délky nemá na tyto vztahy výrazný vliv. Přesněji je to zřejmé z diagramu na obr. 42 a 43, které byly sestaveny na základě pro měření uvedených návarů.

Z toho je zřejmé, že při přibližování proudu k mezním podmínkám klesá výrazně jeho působení na hloubku závazu i na velikost průřezu svaru a i poměr γ je nejnižší. Přidávání drátu má v tomto případě zřejmě podstatně intenzivnější účinek než při obluku při středních a vyšších hodnotách proudu.



Obr. 42 - Závislost průřezu návaru (a - a) a závaru (b - b') na proudu a, b při konst. rychlosti a' , b' při konst. teple na cm



Obr. 43 - Závislost podílu (c - c') a hloubky závaru (d - d') na proudu c, d při konst. rychlosti c' , d' při konst. teple na cm

5. Aplikace nové metody řízení podílu základního materiálu v návarovém kovu na materiály používané při výrobě armatur

Při výrobě armatur pro střední a vysoké tlaky se běžně užívají jednak chromové a chromniklové ocele a jednak slitiny založené na bázi chromu a kobaltu, které jsou pouze slévateľné a pro účely navařování se odlévají do tyčinek o průměru 4 - 8 mm, které se napovrchu brousí.

Pro prověření aplikačních možností byly vybrány dva druhy ocelí vyráběných ve formě drátu a dva druhy slitin vyráběných ve formě tyčinek. Směrné složení těchto materiálů je uvedeno v tab. 1

Druh	ČSN	C	Cr	W	Co	Ni	Mn	Si	Fe
084	17 041	max. 0,15	15,5 18,5	-	-	-	max. 0,9	max. 0,7	zbytek
080		0,15	19	-	-	8,25	6,0	1,0	zbytek
Real 095	05 5363	1,8 2,4	25 30	10 15	45 55	-	max. 0,5	max. 0,5	max. 7,0
Real 096	05 5364	1,1 1,4	25 28	3,5 5	61 65	-	max. 0,3	0,5 2,5	max. 5,0

Tab. 1 - Směrné chemické složení sledovaných návarových ocelí
a slitin

Před navařováním byly dráty očištěny na povrchu močením. Tyčinky byly dobře obroušeny na bezhrotých bruskách tek, aby byl s maximální přesností dodržen potřebný průměr. Vzhledem k tomu, že tyčinky se vyrábějí v délkách cca 400 mm, byly před použitím plamenem svařeny do tyčí o délce cca 2 m.

Pracoviště bylo stejné jako při předcházející části práce, t. j. složené z automatu SUE 2000 pro hlavní navařovací elektrodu a dalšího podávacího zařízení pro přídavnou elektrodu. Navařovalo se střídavým proudem z transformátoru TS 1000.3.

Technologické zásady zjištěné při použití uhlíkového drátu platí v podstatě i pro legované materiály a v tvoření návaru byly zjištěny stejné zákonitosti. Podíl základního materiálu lze dokonce snížit až pod 10 %, aniž by návar měl nevhodný profil. Rychlosti posuvu přídavné elektrody z legovaného materiálu potřebné pro získání návaru optimálního profilu se ovšem liší od rychlostí zjištěných pro uhlíkový drát ze jinak stejných podmínek, což je způsobeno rozdíly v rychlostech tavení jednotlivých kovů. Ze stejných důvodů jsou určité malé rozdíly i mezi jednotlivými návarovými materiály.

Tavidlo bylo ponecháno Z 41 s vědomím, že není pro tyto účely nejvýhodnější pro vysoký obsah manganu a křemíku. V době řešení však nebylo lepší tavidlo k dispozici.

U návarů bylo sledováno :

- a) chemické složení
- b) metalografie návaru a přechodového pásma
- c) průběh tvrdosti
- d) predikčnost návaru

5.1 Chemické složení návaru

U chromové oceli 084 byla provedena serie návarů za těchto podmínek 530 - 550 A, 38 V, 30 m/hod., průměr obou drátů 5 mm, rychlost posuvu přídavného drátu

0,0 m/hod. (221)

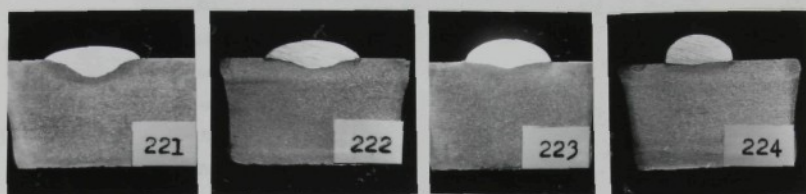
17,4 m/hod. (222)

30,5 m/hod. (223)

46,5 m/hod. (224)

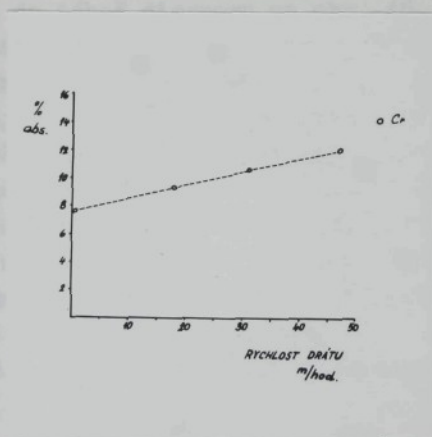
Základní materiál byl vesměs 11 373.1, tloušťka 20 mm, na povrchu obroušený a měl teplotu cca 20° C.

Makrov/brusy želez uvedeníých návarů jsou na obr. 44

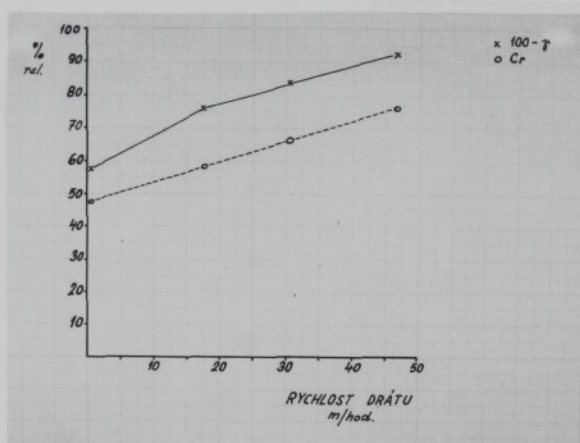


Obr. 44 - Makrov/brusy zkušebních návarů oceli 084

Jediným legovacím prvkem této oceli je chrom a jeho obsah byl hlavně sledován. Na obr. 45 je v diagramu vyznačen obsah chromu v závislosti na posuvu přidavného drátu. Jestliže se obsah chromu v drátu považuje za 100 % a zjištěné hodnoty v jednotlivých návarech se přepočtou na procenta obsahu chromu v drátu, dostane se podle obr. 46 průběh relativního obsahu chromu v návarech.



Obr. 45 - závislost obsahu chromu na rychlosti příd. drátu



Obr. 46 - Závislost relativního obsahu chromu na rychlosti přídavného drátu

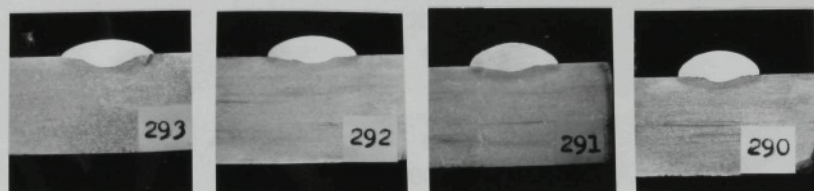
Na všech vyhrusech byl zjišťován podíl γ a hodnota $100 - \gamma$ byla vynesena do téhož diagramu na obr. 46. Tato čára nám udává průběh relativního obsahu chromu v případě, že by neexistovaly žádné jiné úbytky. Z diagramu je vidět, že čára teoretická i skutečná mají stejný charakter, jsou však navzájem vůči sobě posunuty právě o hodnotu dalších úbytků, které dosahují asi 16 % přibližně rovnoměrně v celém rozsahu rychlostí přídavného drátu a jsou způsobeny hlavně propalem.

Obsah uhlíku zůstává přibližně konstantní, poněvadž jeho obsah v základním materiálu a v elektrodě je prakticky stejný. Z toho bylo zjištěno mírný přechod manganu a křemíku do závaru, v diagramu však tyto hodnoty nejsou uvedeny, protože nejsou výrazné.

U oceli 080 byla provedena serie návarů za těchto podmínek :
360 - 380 A, 36 V, 25 m/hod., průměr obou drátů 4 mm
rychlost posuvu příčného drátu
0 m/hod. (293)
18 m/hod. (292)
27,8 m/hod. (291)
40,3 m/hod. (290)

Základní materiál byl vesměs jakosti 11 373.1, tloušťka 20 mm,
na povrchu okroušený a měl teplotu cca 20° C.

Mikrovybrusy řezů uvedených návarů jsou na obr. 47.

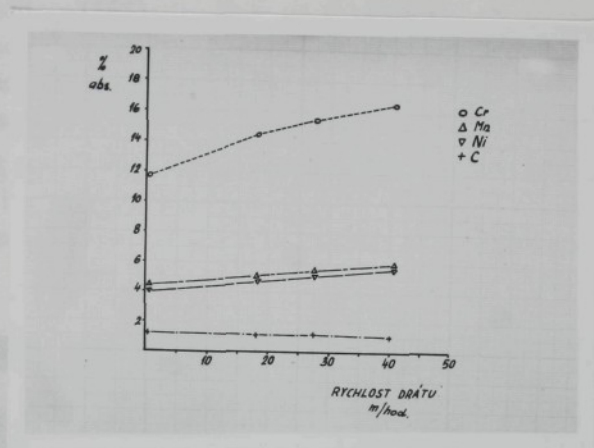


Obr. 47 - Mikrovybrusy zkušebních návarů oceli 080

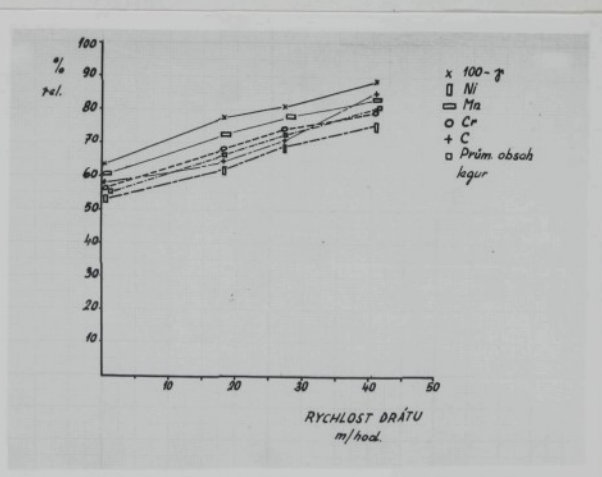
Hlavní legovací prvky této oceli jsou chrom, nikl a mangan. V diagramu na obr. 48 je znázorněn průběh těchto legovacích prvků v absolutních hodnotách zjištěných chemickým rozбором a v diagramu na obr. 49 jsou tyto hodnoty přepočteny na relativní, jestliže se obsah legur v drátu považuje na 100 %. V diagramu na obr. 49 je opět dále vyznačen průběh hodnoty 100 - , jak by-
le zjištěno planimetrováním uvedených návarů. Z rozdílů mezi touto ideální čarou a mezi čarou udávající průběh obsahu jednotlivých prvků lze odečíst ztráty vzniklé propalem.

Jestliže se všechny legovací prvky sečtou a nakreslí se čára legovacích prvků jako celku, lze zjistit, že celkový propal je v celém průběhu přibližně rovnoměrný a činí asi 9 %. Je tedy podstatně menší než u oceli 084.

Zajímavé je, že popel chromu je asi na střední hodnotě, zatímco popel uhlíku je vyšší. Popel manganu je naopak nižší, zřejmě zásluhou vysokého obsahu manganu v tevidle.



Obr. 48 - Závislost obsahu prvků u oceli 080 na rychlosti přidavného drátu



Obr. 49 - Závislost relativního obsahu u oceli 080 na rychlosti přid. drátu

U slitiny Real 095 byla provedena serie návarů za těchto podmínek :
620 - 650 A, 38 V, 30 m/hod., průměr obou drátů 7 mm,
rychlost posuvu přidavného drátu

0 m/hod. (263)

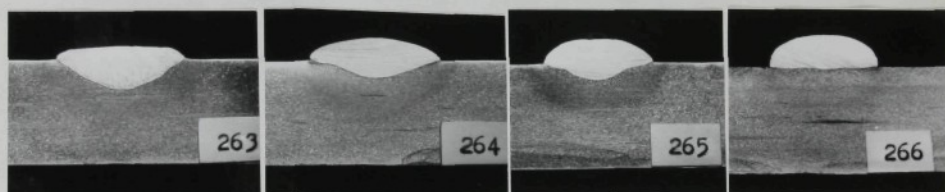
17 m/hod. (264)

30,5 m/hod. (265)

49,2 m/hod. (266)

Základní materiál byl vesměs li 373.1 na povrchu oboušený a předehřátý na teplotu 600° C.

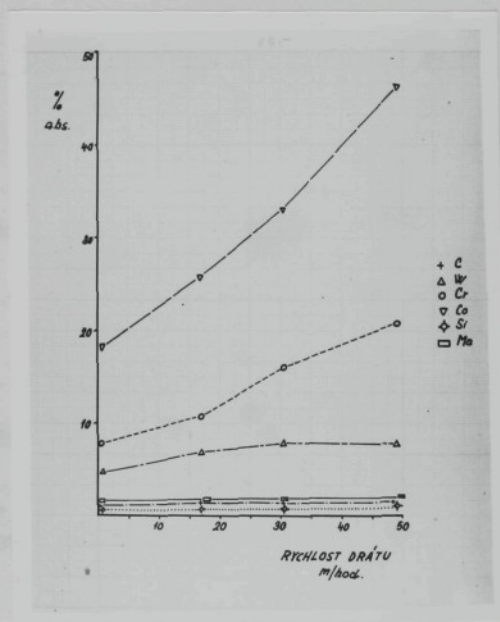
Makrovýbrusy řezů uvedených návarů jsou na obr. 50.



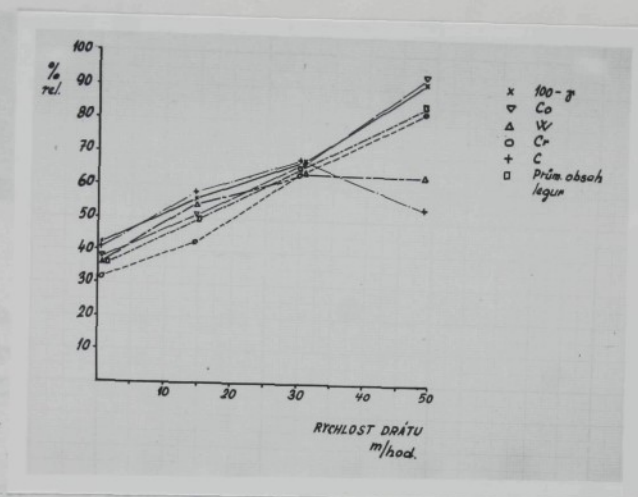
Obr. 50 - Makrovýbrusy zkušebních návarů slitinou Real 095

Hlavními legovacími prvky tohoto materiálu jsou chrom, wolfram, kobalt a uhlík. V diagramu na obr. 51 je znázorněn průběh těchto legovacích prvků v absolutních hodnotách zjištěných chemickým roztorem a v diagramu na obr. 52 jsou tyto hodnoty přepočteny na relativní, jestliže se obsah legur v drátu položí rovný 100 %. V diagramu na obr. 52 je dále opět vyznačen průběh hodnoty 100 - γ zjištěné planimetrováním. Ve srovnání s průběhy prvků u předcházejících kovů není zde průběh již tak pravidelný a zvláště u relativních hodnot je zřejmý rozptyl kolem čáry teoretických úbytků 100 - γ . Je to způsobeno hlavně tím, že chemické složení litých tyčinek vykazuje určitý rozptyl, jež nemohl být zcela zachycen a při přepočtu na relativní hodnoty byla za 100 % vzata jedna zjištěná hodnota.

Zvláštně výrazný rozdíl se jeví u nejvyššího stupně posuvu pří-
davného drátu, kde silně poklesl obsah uhlíku a wolframu, zatím-
co obsah kobaltu překročil teoretické maximum. Jestliže se
všechny legovací prvky sečtou a nakreslí se čára obsahu lego-
vacích prvků jako celku, lze průměrnou hodnotu propalu odhad-
nout asi na 6 - 7 %. Obsah manganu a křemíku přechodem z tevdle
stoupá jen nepatrně.



Obr. 51 - Závislost obsahu prvků
Realu U95 na rychlosti
přídavného drátu



Obr. 52 - Závislost relativního obsahu prvků Realu 095 na rychlosti přídavného drátu

U slitiny Real 096 byla provedena serie návarů za těchto podmínek :

620 - 650 A. 38 V, 30 m/hod., průměr obou drátů 7 mm, rychlost posuvu přídavného drátu

0 m/hod. (255)

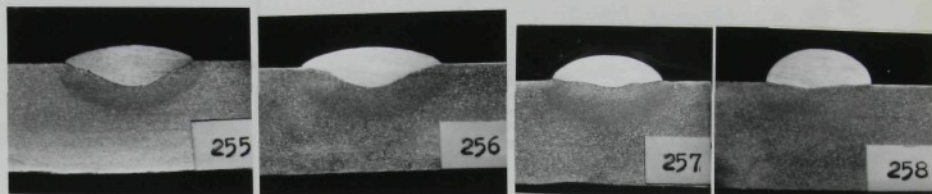
16,4 m/hod. (256)

30,5 m/hod. (257)

49,2 m/hod. (258)

Základní materiál byl vesměs 11 373.1, tloušťka 20 mm, na povrchu obroušený a předehřátý na teplotu 600° C.

Mikrovýbrusky ležů uvedených návarů jsou na obr. 53.

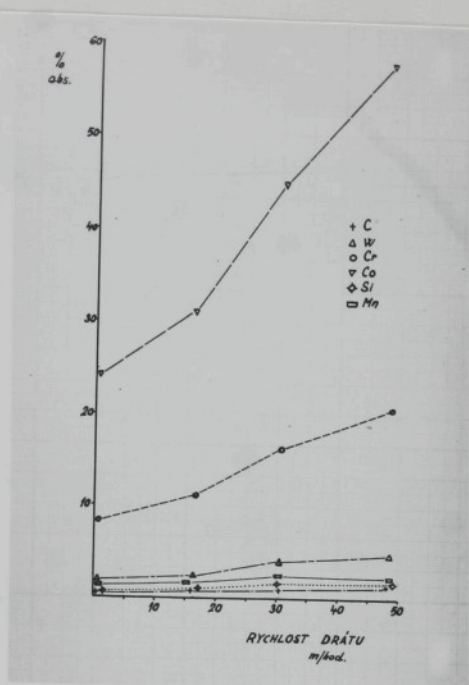


Obr. 55 - Makrovyfresky zkušebních návrát slitinou Real 096

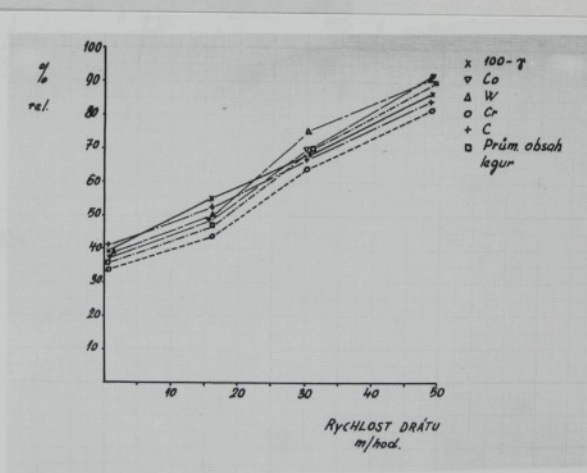
Hlavními legovacími prvky tohoto materiálu jsou opět chrom, wolfram, kobalt a uhlík. V diagramu na obr. 54 je znázorněn průběh těchto prvků v absolutních hodnotách zjištěných chemickými rozbory a v diagramu na obr. 55 jsou tyto hodnoty přepočteny na relativní, jestliže se obsah legur v drátu položí rovný 100 %. V diagramu na obr. 55 je opět vyznačen průběh hodnoty $100 - \gamma$, zjištěný planimetrováním. Podobně jako u Realu 095 není ani zde průběh obsahu jednotlivých prvků rovnoměrný a kolísá kolem teoretické čáry úbytků hlavně vlivem rozptýlu v chemickém složení tyčinek.

Zvláště výrazné je to u třetího a čtvrtého stupně rychlosti přidavného drátu, kde obsah wolframu a kobaltu stoupl nad teoreticky možný obsah. Tyto dva prvky ovlivnily rozhodujícím způsobem i průběh legovacích prvků jako celku, který v uvedené partii překročil teoretické maximum. Podle začátku průběhu lze soudit, že průměrný úbytek propalem bude asi stejný jakou u Realu 095, t. j. 6 - 7 %.

Obsah manganu a křemíku přechodem z tavidla stoupá opět jen nepatrně.



Obr. 54 - Závislost obsahu prvků Realu 096 na rychlosti přídavného drátu



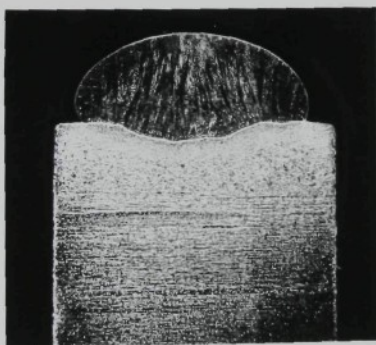
Obr. 55 - Závislost relativního obsahu prvků u Realu 096 na rychlosti příd. drátu

5.2 Metaloografie návaru a přechodové pásma

Makrosnímek vyšetřovaného návaru chromové oceli 084 je na obr. 56 a z něj byly vybrány detailní záběry, kterými byla sledována jednak struktura návaru a jednak přechodová partie mezi návarem a základním materiálem. Na obr. 57 je typická struktura koruny návaru, její detail je na obr. 58. Hlavní složkou struktury je nízkouhlíkový martensit s feritovými ostrůvky.

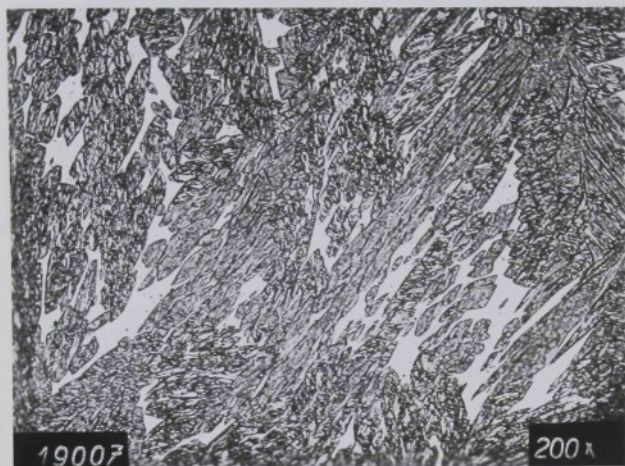
Přechod mezi základním materiálem a návarem je ve většině míst velmi dobrý, podle obr. 59, někde se však vyskytují partie určité strukturní nestejnorodosti jak je vidět na obr. 60 a obr. 61. Jsou zřejmě způsobeny natavením základního materiálu, který se již nestačil promísit rovnoměrně do návaru.

Tyto nestejnorodosti zasahují do návaru asi do hloubky 0,3 mm. Jelikož výška návaru bývá po opracování obvykle minimálně 2 mm, nemohou se tyto nestejnorodosti významněji projevit.

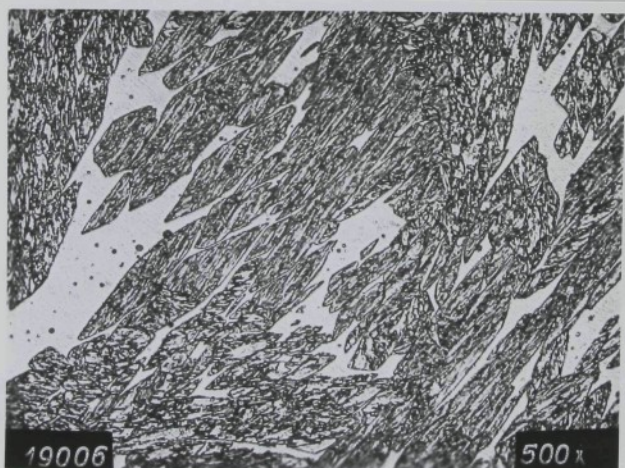


Obr. 56

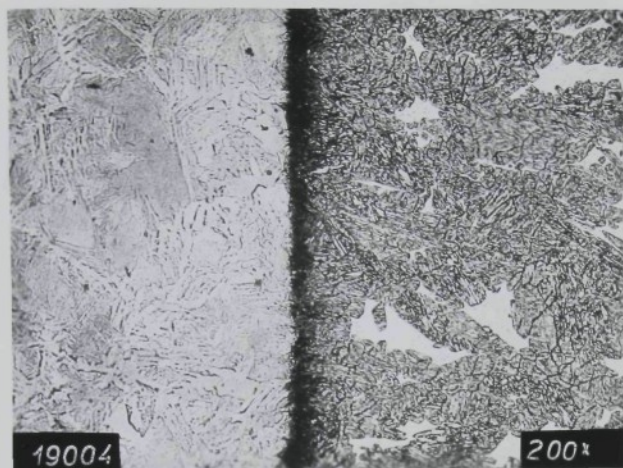
Makrovýbrus vyšetřovaného
návaru oceli 084



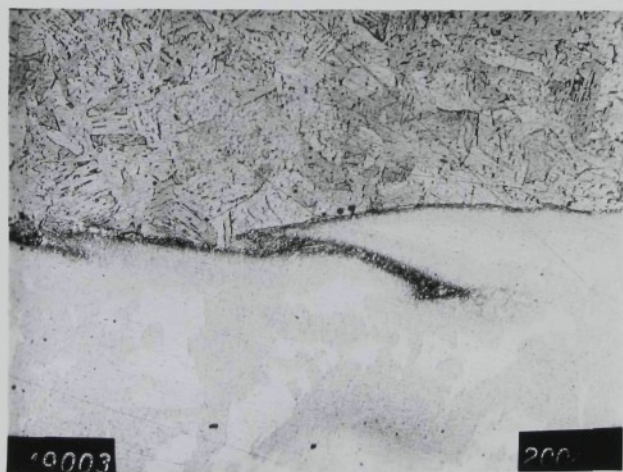
Obr. 57
Typická struktura
návaru 084 u jeho
koruny
(lept. Fry)



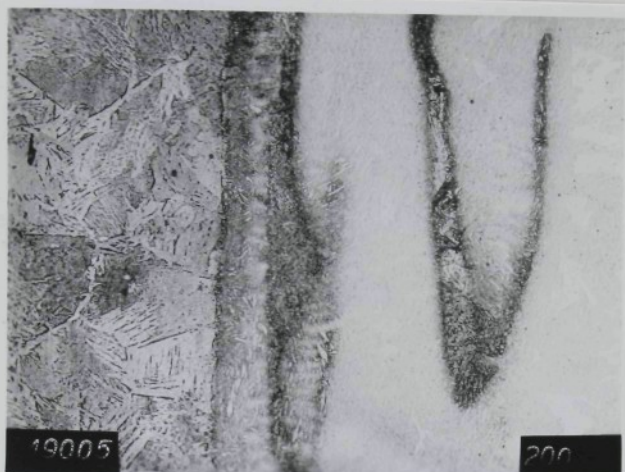
Obr. 58
Detail struktury
z obr. 57
(lept. Fry)



Obr. 59
Správný přechod
mezi základ. materiá-
lem a nāvarem
(lept. Fry)



Obr. 60
Příklad nesterjnor-
dnosti na přechodu
(lept. Fry - mīlo
leptáno)

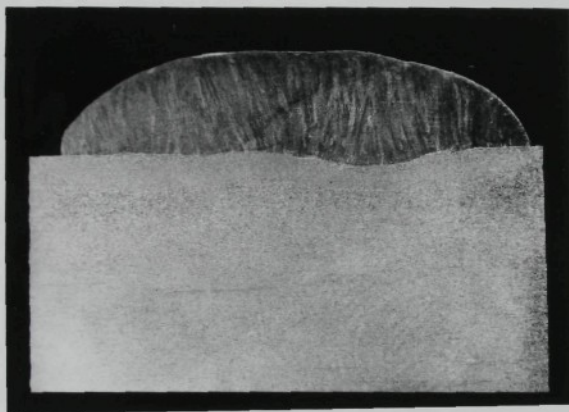


Obr. 61
Příklad nestejno-
dosti na přechodu
(lept. Fry - mělo
leptáno)

Makrosnímek vyšetřovaného návaru (vlastně dvojnávaru) sustenitické oceli O80 je na obr. 62. Na obr. 63 je typická struktura ze střední části návaru s detailem na obr. 64. Jedná se o sustenitickou strukturu s výraznou orientací dendritů. Mezi dendritickými osami jsou vyloučeny komplexní karbidy.

Na obr. 65 je struktura z koruny návaru.

Typická přechodová partie mezi návarem a základním materiálem je na obr. 66. Na ojedinělých místech se i zde vyskytují určité strukturní nestejnorodosti, jak ukazuje obr. 67, jež však zde mají jen asi poloviční rozměr, než u návaru předcházejícího.



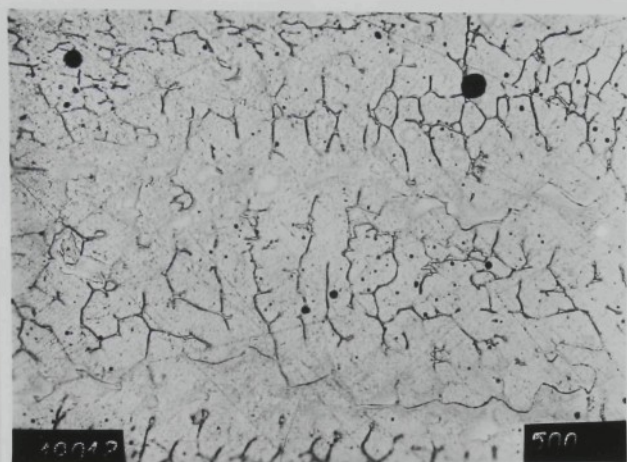
Obr. 62

Makrovýbrus návaru
oceli O80

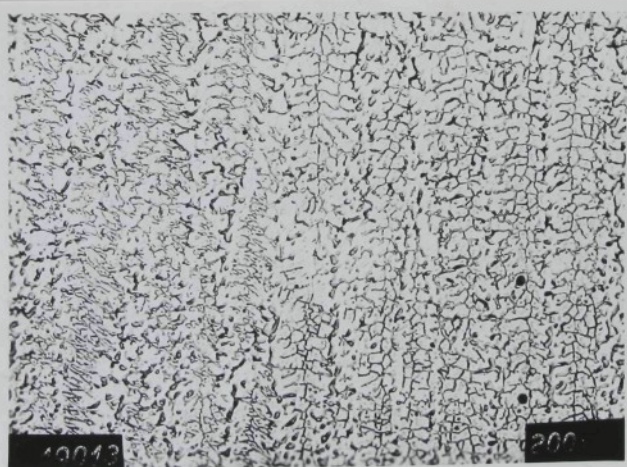


Obr. 63

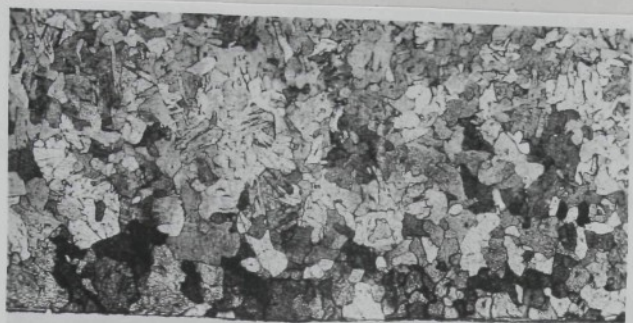
Typická struktura
ze střední části
návaru
(lept. Fry)



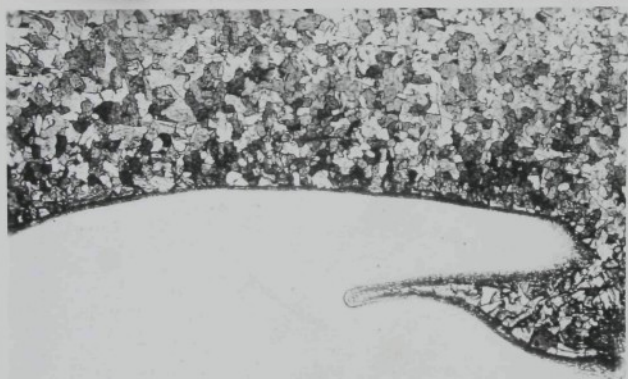
Obr. 64
Detail z obr. 63
(lept. Fry)



Obr. 65
Typická struktura
z koruny náveru
(lept. Fry)



Obr. 66
Přechod základ.
materiál - naven
(lept. Nitel)



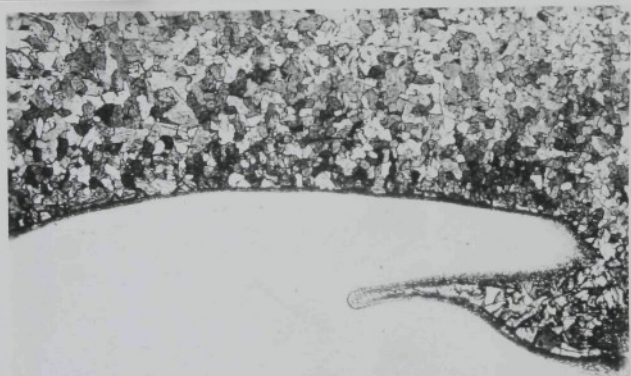
Obr. 67
Příklad nestejno-
rodsti na pře-
chodu
(lept. Nitel)



19008

200x

Obr. 66
Přechod základ.
materiálu - navař
(lept. Nital)

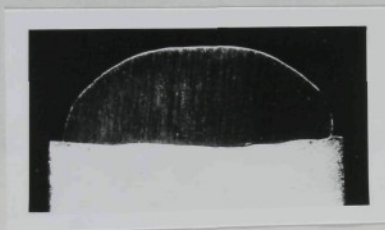


19009

200x

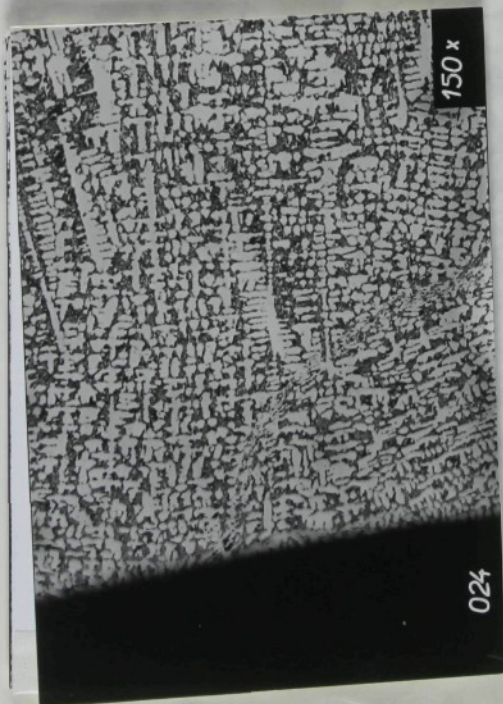
Obr. 67
Příklad nestejno-
rodosti na pře-
chodu
(lept. Nital)

Makrosnímek vyšetřovaného návaru ze slitiny 095 je na obr. 68. Průběh struktury od základního materiálu až po korunu návaru je na obr. 69, detailní snímek ze středu návaru je na obr. 70, detail z koruny návaru je na obr. 71. Struktura je zcela rovnoměrná a jejími charakteristickými prvky jsou kobaltová základní hmota eutektikum obsahující komplexní kربيدy. Snímek typického rozhraní mezi návarem a základním materiálem je na obr. 72. Nestejnorodosti složení na rozhraní mezi návarem a základním materiálem nebyly zjištěny.



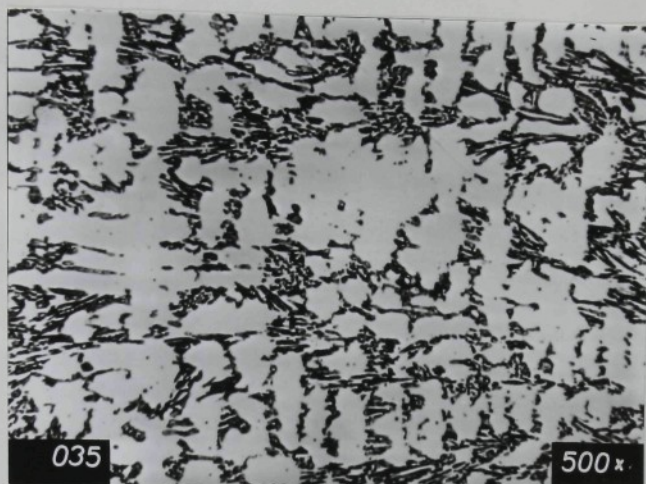
Obr. 68

Makrovýbrus návaru
slitiny Resl 095

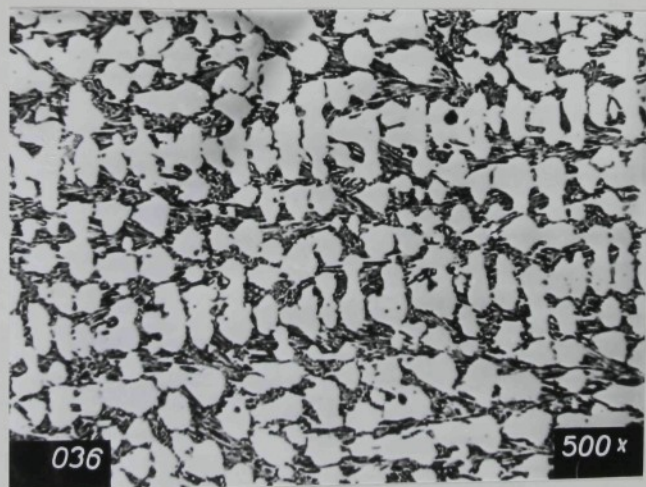


Obr. 69

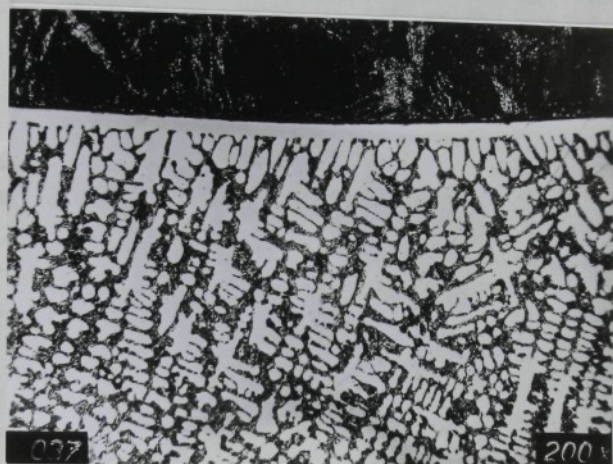
Průběh struktury
od základního
materiálu až po
korunu návaru
(lept. Mirakami)



Obr. 70
Detail struktury ze středu náveru
(lept. Murakami)



Obr. 71
Detail struktury z koruny náveru
(lept. Murakami)



Obr. 72

Typický přechod
základní mate-
riál - návar
(lept. Murakami)

Makrovýbrus vyšetřovaného návaru ze slitiny Real 096 je na obr. 73. Průběh struktury od základního materiálu až po korunu návaru je na obr. 74, detailní snímek ze středu návaru je na obr. 75, detail z koruny návaru je na obr. 76. Charakter struktury je stejný jako u Realu 095. Snímek typického rozhraní mezi návarem a základním materiálem je na obr. 77. Nestejnorodosti ve složení na rozhraní mezi návarem a základním materiálem nebyly zjištěny.

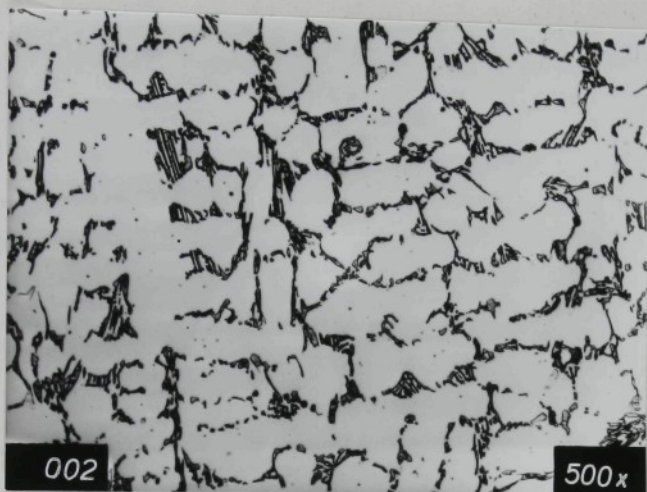


Obr. 73
Makrosnímek návaru
slitinou Real 096

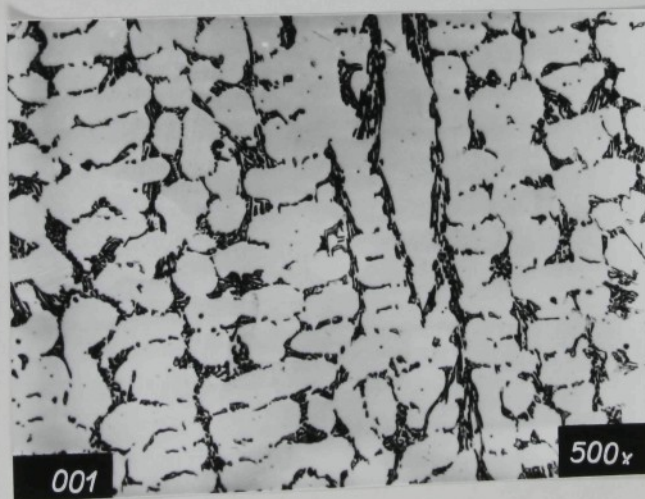


Obr. 74
Průběh struktury
návaru od základního
materiálu až po je-
ho korunu
(lept. Marakami)





Obr. 75
Detail struktury
ze středu návaru
(lept. Murakami)



Obr. 76
Detail struktury
z koruny návaru
(lept. Murakami)



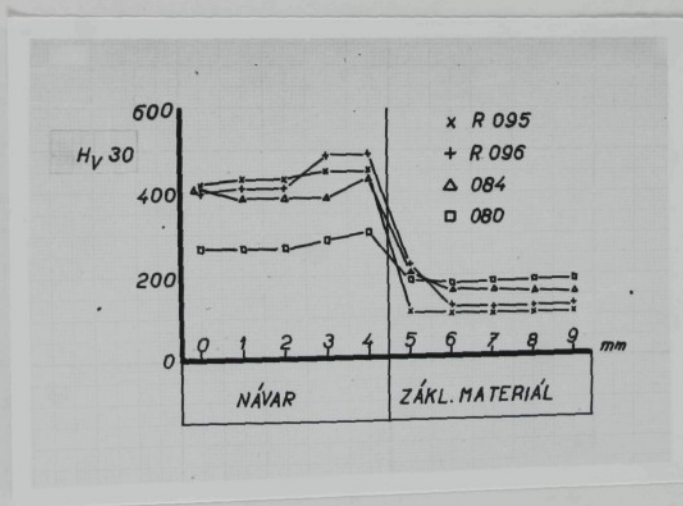
Obr. 77
Typický přechod
základní materiálu
- návar
(lept. Murakami)

Metalografická šetrnost ukázala, že nejsou závažné rozdíly mezi strukturou návaru v jeho středu a v koruně. Ojedinelá odkrytá místa strukturní nestejnorodosti se vyskytují výhradně na rozhraní základní materiál - návar, a to hlavně u ocelí 084. Tyto nestejnorodosti nezasáhly do návaru hlouběji než 0,6 mm. Výskyt vnitřních vad v návarech je velmi malý. Jedná se vesměs o rozptýlené vměstky malých rozměrů, které nemohou být příčinou funkčních závad.

5.5 Průběhy tvrdosti

Od všech uvedených návarů byly zjišťovány průběhy tvrdosti vždy v ose návaru, a to od základního materiálu až po korunu návaru. Byla zjišťována tvrdost podle Vickerse při zatížení 30 kg na stolním tvrdoměru Mcopts.

Průběh tvrdosti všech návarů je na obr. 78. Z diagramu vyplývá, že tvrdost všech návarů je celkem rovnoměrná a výchyly v ní nepřesahují normální výkyvy v tvrdosti každého materiálu. V blízkosti přechodového pásma je tvrdost návarů obvykle mírně zvýšená.

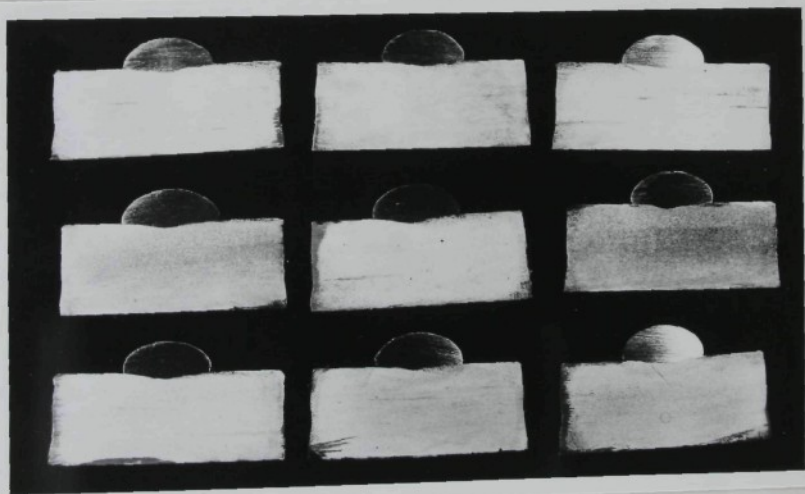


Obr. 78 - Průběhy tvrdosti

5.4 Pravidelnost návaru

Všestranná pravidelnost návarů je velmi důležitým faktorem, protože na ní závisí odolnost navažené součásti jako celku. Byla jí proto věnována pozornost, a to po stránce pravidelnosti geometrických rozměrů návarů, pravidelnosti hloubky závaru, pravidelnosti průběhu tvrdosti a pravidelnosti chemického složení.

Geometrické rozměry návarů byly kontrolovány na serii příčných řezů jedním návarem. Fotografie těchto řezů je na obr. 79 a z něho je zřejmé naprostá pravidelnost návarů, a to ve všech jeho hlavních rozměrech.



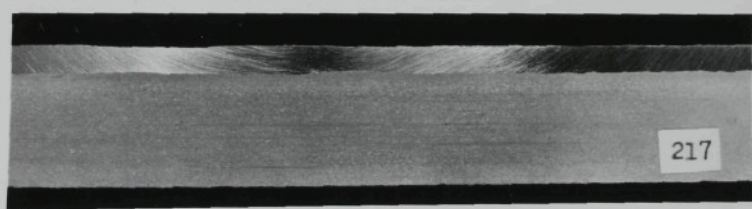
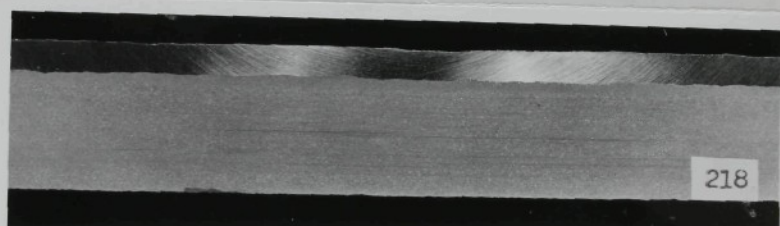
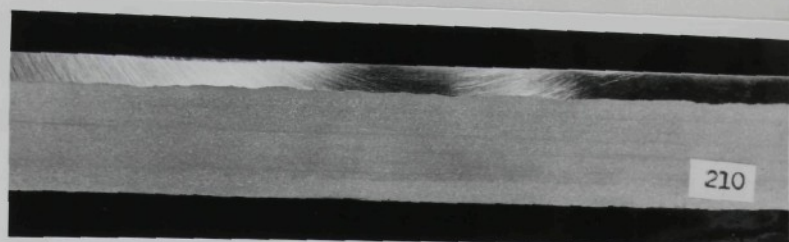
Obr. 79 - Serie příčných řezů návarem (ocel 080)

Na těchto výbrusech byly pořízeny v jejich osách průběhy tvrdosti, jsou přehledně zpracovány do tab. 2. Tvrdost ve všech řezech je celkem stejnoměrná a její úchytky nevybočují z normálního kolísání tvrdosti každého materiálu.

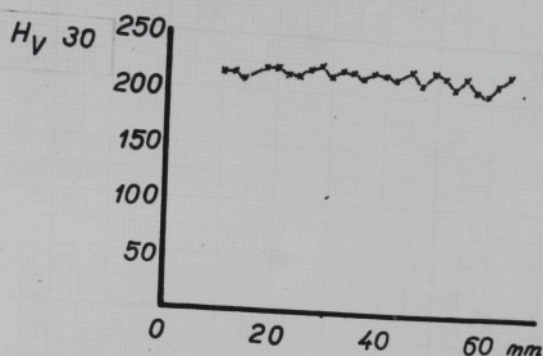
1	2	3	4	5	6
265	266	303	287	301	255
264	272	251	318	272	257
284	275	285	289	268	254
293	289	259	279	259	280
269	321	270	307	275	307
133	193	179	164	144	178
136	177	172	162	148	186
139	192	188	166	159	191
135	189	187	186	161	188

Tab. 2 - Průběhy tvrdosti v jednotlivých řezech

Pravidelnost hloubky závaru byla kontrolována serií podélných výbrusů, z nichž některé jsou na obr. 80. Velmi dobře ukazují, že hloubka závaru kolísá jen nepatrně a rozhodně ne víc než při jiných způsobech navazování. Serie podélných řezů byla ještě doplněna podélnou kontrolou tvrdosti na jednom tomto řezu a zjištěný průběh je na obr. 81. Její kolísání ani zde nevybočuje z normálních mezí.



Obr. 80 - Serie podélných řezů (ocel 080)



Obr. 81 - Průběh tvrdosti podél
návaru (ocel 080)

Pro kontrolu rovnoměrnosti chemického složení byly odebrány na rozbor 3 vzorky, a to ze začátku, středu a konce návaru. Zjištěné výsledky jsou v tab. 3.

Prvek	C	Cr	Ni	Mn	Si
Začátek	0,09	15,72	5,36	5,20	0,90
Střed	0,09	16,28	5,73	5,20	0,89
Konec	0,09	16,31	5,22	5,30	1,00

Tab. 3 - Pravidelnost chemického složení návaru

Z tabulky vyplývá, že kolísání všech hodnot je velmi nízké a nemůže být příčinou rozdílných vlastností návaru v jeho různých místech.

6. Ekonomické posouzení nové metody

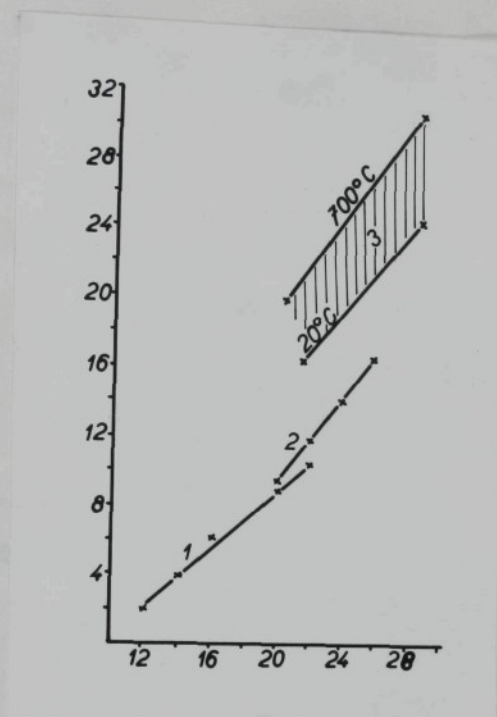
Ekonomické posouzení nové metody bylo provedeno jejím srovnáním s navařováním třífázovým obloukem a pokud pro některé metody nebyly k dispozici vlastní výsledky, bylo použito údajů sovětských [3]. Pro informaci jsou v diagramech uvedeny též hodnoty pro navařování jedním obloukem, aby srovnání bylo úplnější.

Jelikož se u nové metody řídí množství navařeného kovu rychlostí posuvu přídavné elektrody, byly vzaty pro srovnávání takové hodnoty, při kterých je $\gamma \sim 15\%$. Rychlost posuvu přídavné elektrody je však ještě závislá na teplotě přehřátí základního materiálu. Tím samozřejmě vznikají značné rozdíly v nanášeném množství. Rozdíly jsou v diagramech vyznačeny vyřazovaným polem.

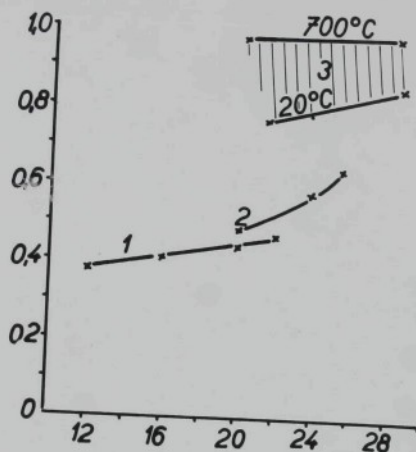
První diagram na obr. 82 ukazuje závislost množství naneseného kovu v kg/hod., druhý diagram na obr. 83 závislost množství naneseného kovu v kg/kWh a třetí diagram na obr. 84 závislost spotřeby el. energie v kWh na 1 kg navařeného kovu, vždy v závislosti na příkon kW.

Ze všech třech diagramů je zřejmé, že z hlediska produktivity práce je nová metoda neobyčejně výhodná, protože přináší výrazné zvýšení množství kovu navařeného v jednotce času a současně klesá měrná spotřeba el. energie.

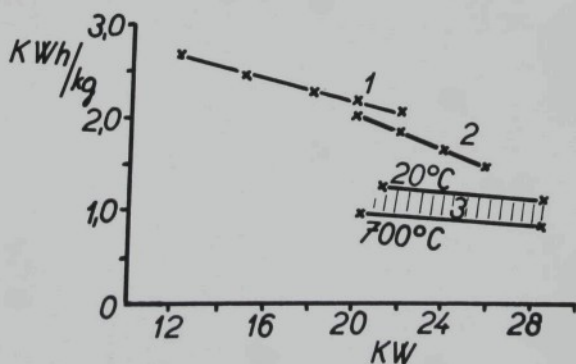
Jestliže se uvedené diagrany přepracují na určitý příkon (např. 20 kW) tak, že se navařování jedním obloukem normální technikou vezme za 100 %, pak srovnání metod podle stejných ukazatelů - kg/hod., kg/kWh a kWh/kg - vychází podle obr. 85. Závěry z diagramů jsou naprosto zřejmé a jednoznačné.



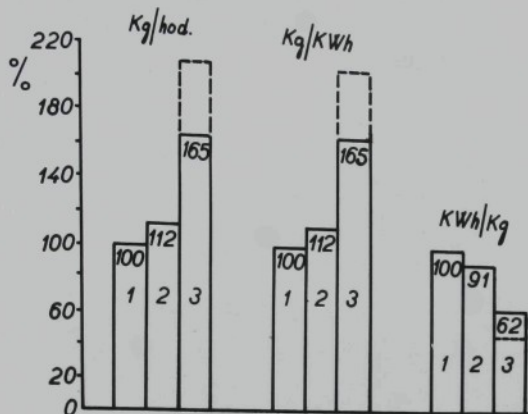
Obr. 82 - Závislost množství navařeného kovu kg/hod. na příkon v kW
1 - navař. normálním obloukem
2 - navař. třífáz. obloukem
3 - navař. sledovaným způsobem



Obr. 83 - Závislost množství navař.
kovu kg/kWh na příkonu v kW
(1, 2, 3 - viz. obr. 82)



Obr. 84 - Závislost spotřeby el. energie
kWh/kg navařeného kovu v závis-
losti na příkonu v kW
(1, 2, 3 - viz. obr. 82)



Obr. 85 - Srovnání jednotlivých způsobů
při jednoblankové = 100 %
(1, 2, 3 - viz. obr. 82)

7. Závěr

V práci byla vyvinuta a propracována nová technologie navařování pod tavidlem, která je vhodná zejména pro navařování anti-korozních ocelí, např. ve výrobě armatur.

Hlavním prvkem technologie je nový způsob řízení podílu základního materiálu v navařeném kovu. Jeho princip spočívá v tom, že se do oblouku přidává určitou rychlostí drát, který je paralelně připojen k základnímu materiálu. Vytvoří se tím podmínky blízké navařování po drátu ležícím na základním materiálu.

Nový způsob řízení podílu byl důkladně experimentálně propracován ve všech nejdůležitějších souvislostech. Bylo zejména zjištěno, že mechanismus řízení působí účinně jen tehdy, jestliže je použit v oblouku proud blízko mezních podmínek, které ještě při určitém průměru drátu umožňují stabilní hoření oblouku. Souvisí to zřejmě i s profilem návaru, který se při přibližování k mezním podmínkám mění z kališkovitého na čochovitý.

Nový způsob řízení byl aplikován na čtyři druhy antikorozních materiálů používaných při výrobě armatur, a to na

chromovou ocel 084

austinitickou ocel 080

kobaltovou slitinu Real 095

kobaltovou slitinu Real 096

Experimentálně bylo potvrzeno, že nový způsob řízení podílu platí i pro tyto materiály a že je možno dosáhnout ještě nižších hodnot (pod 10 %), což zřejmě souvisí s jejich nižší teplotou tavení.

Návary z uvedených materiálů byly podrobeny důkladnému šetření z různých hledisek (chemie, metalografie, tvrdost, pravidelnost apod.) a bylo zjištěno, že plně vyhovují požadavkům pro navařování součástí armatur.

Metoda je vysoce produktivní jak z hlediska rychlosti navařování, tak i z hlediska množství navařeného kovu a její zavedení přinese značné úspory.

Metoda je původní a byl na ni udělen čs. patent číslo 91 410.

8. Literatura

8.1 Publicita práce a odezvy na ni v literatuře

Výsledky práce byly publikovány v těchto člancích :

Lukášek

Řízení podílu základního materiálu v návarovém kovu při navařování pod tavidlem

1959 Strojírenství č. 2

Lukášek, LŠbl

Sposob avtomatičeskoj naplavki vysokolegirovannyh stalej i splavov pod fljusom

1959 Avtomatičeskaja svarka No 12

LŠbl, Lukášek

Alliages durs pour les surfaces d'étanchage des garnitures de chaudières designees à opérer au-dessus de 600°C.

Technologie du rechargement par soudage d'alliage dur sous flux

1959 Dokument IIV pro kongres v Opatii

První odezva na práci se objevila v roce 1960 v článku Herdena a Kretschmara [17], ve kterém se velmi podrobně rozebírají jednotlivé metody automatického navařování austenitických ocelí a dochází se k závěru, že naše metoda je velmi dobrá a pro využití v průmyslu významná.

Další článek uveřejnil v roce 1961 opět Herden [18] a stručně popisuje zařízení vyvinuté pro tuto metodu v ZIS Halle. Znovu potvrzuje značné přednosti metody pro navařování legovaných ocelí.

V SSSR kolektiv autorů Lebeděv, Melnik a Finkelman uveřejnil v roce 1964 článek [19] o technologii mechanizovaného navařování nerezavějících ocelí dvěma elektrodami, ve kterém

zdůrazňují přednosti navařování dvěma elektrodami a odvolávají se na článek v časopise *Avtomatičeskaja svarka*.

Z nejnovější literatury je to článek Brinera [20] z roku 1968, který je celý věnován automatickému navařování ve výrobě armatur metodou rozpracovanou v této práci.

8.2 Seznam nejdůležitější literatury

1. Závěrečná zpráva VUSSTS Chotěboř
Prodlužování životnosti vozových, tendrových a lokomotivních obručí navařováním pod tavidlem
1955 VUSSTS Chotěboř, Z-55-100
2. Závěrečná zpráva VÚZ Bratislava
Naváranie válcov válcovacích stolic tvrdonávary automatem
1955 VÚZ Bratislava, č. 4-4018
3. F. F. Benua
Avtomatičeskaja naplavka iznosoustojčivymi splavami
1955 Mašgiz
4. K. K. Chrenov, D. M. Kušnerev
Keramičeskije naplavlenye fljusy dlja avtomatičeskoj svarki
1951 Avtogennoe delo, č. 6
5. V. V. Podgajeckij, D. M. Rabkin
Fljusy dlja avtomatičeskoj i poloavtomatičeskoj svarki
1954 Izdatelstvo akademii nauk USSR
6. F. A. Chomusko
Avtomatičeskaja naplavka lentočnym elektrodom
1957 Avtomatičeskaja svarka, č. 5

7. G. Tschorn
UP-Auftragschweißungen an Ventilsitzen und Schieberdicht-
flächen in Armaturenbau
1952 Schweisstechnik, č. 11
8. G. Tschorn
Legierte UP-Auftragschweißungen
1954 Schweisstechnik, č. 8
9. Ruddinghough H.
Automatic hardfacing
1952 M. Weld. Fabrication, č. 2
10. R. F. Arnoldy
Automatic hand surfacing save pipe and catalyst
1956 The Welding Journal, č. 8
11. K. H. Koopman, R. S. Zuchowski
New surfacing techniques
1956 The Welding Journal, č. 7
12. D. E. Knight
Multiple Elektrode Welding by Unionmelt Process
1954 The Welding Journal, č. 4
13. Collins, Shrubsole, Wilson
Unionmelt cladding of Mild Steel Roll by Serries-Arc
Technique
1952 The Welding Journal, č. 11
14. G. P. Michajlov
Svarka trechfaznoj dugoј
1950 Mašgiz

15. E. A. Clapp, H. G. Schreiner
Characteristics of Submerged Arc Welding with Three-Phase Power
1952 The Welding Journal, č. 6
16. K. J. Timofjcev
Režim trechfaznoj dugi i jeho podderžanie
1953 Avtomatičeskaja svarka, č. 6
17. Herden, Kretschmar
Automatische Auftragschweissung austenitischer Stähle auf unlegierten Grundwerkstoff
1966 ZIS Mitteilungen, č. 6
18. Herden
Steigerung der Schweissleistung und Schweissgüte durch UP-Mehrdrahtschweissung
1961 Schweissttechnik, č. 4
19. Lebedev, Melnik, Fukelman
Technologija mechaizirovannoj naspivki neržavujuščich stalej dvumje provolokami
1964 Avtomatičeskaja svarka, č. 4
20. Briner
Auftragschweissen mit der UP-Zweidrahtschweissung im Armaturenbau
1968 ZIS Mitteilungen, č. 9
21. Pilous Václav
Svařování žárupevných nízkolegovaných ocelí se žárupevnými 12 % Cr ocelami
1968 Disertační práce doktorská

8.3 Seznam ostatní literatury

22. N. F. Grocholskih
Vosstanovlenije detalej mašin i mehanizmov svarkoj
i naplavkoj
1966, Mašinostrojenije, vyd.2
23. Sborník
Renovácia navařením
1964 VÚZ Bratislava
24. I. I. Frumin
Avtomatičeskaja elektrodugovaja naplavka
1961 Metalurgizdat
25. M. I. Bazikov
Avtomatičeskaja naplavka v srede uglekislogo gaza
1962 Mašgiz
26. Příručka
WELDING HANDBOOK
1965 AWS New York
27. K. Lšbl
Navařování
1961 SNTL, brožura KSV
28. B. E. Paton
Technologie elektročeskoj svarki plavlenijem
1962 Mašgiz
29. Sborník
Proizvodstvo krupnych mašin - svarka
1964 Mašinostrojenije
30. V. N. Zemzin
Svarnyje sojediněniye raznorodnyh stalej
1966 Mašinostrojenije
31. G. L. Petrov
Svarka žaropročnyh neržavejuščich stalej
1963 Mašgiz
32. B. I. Medovar
Elektrodugovaja svarka austenitnyh stalej
1959 Mašgiz
33. B. I. Medovar
Svarka chromonikelevykh austenitnyh stalej
1958 Mašgiz

34. Klementov a j.
Prodlenije sroka služby izdželej putem mnohoelektrodnoj naplavki
1967 Svar. proizvodstvo, č. 3
35. S. L. Mandelberg
Mnogodugoveja svarka na povyšenoj skorosti s kolebanijem elektroda poperek šva
1965. Avtomat. svarka, č. 2
36. J. M. Lebeděv
Avtomatičeskaja naplavka neržavejuščich stalej dvumja provolokami na stali perlitnogo klassa
1964 Svar. proizvodstvo, č. 2
37. A. P. Suščenko
Mnohoelektrodnyj apparat dlja dugovoj naplavki
1964 Svar. proizvodstvo, č. 7
38. J. A. Dončenko
Osobennosti raspredelenija chroma, marganca i kremnija v zone naplavki
1968 Svar. proizvodstvo, č. 5
39. J. J. Iměvskij
O pročnosti sčepenija naplavlennogo metalla s osnovnym
1968 Svar. proizvodstvo, č. 12
40. Subbotovskij a j.
Bespreryvnaja mnogoslojnaja naplavka pod fljusom bez udalenija šlakovoj korki
1966 Avtomat. svarka, č. 10
41. Cygan, Kovikov
Mehanizirovannaja naplavka uplotnitelnych poverchnostej
1967 Svar. proizvodstvo, č. 1
42. F. A. Chomusko
Mehanizirovannaja naplavka uplatnjajuščich poverchnostej korpusov vysokonapornych pitatelnych nasosov
1965 Avtomat. svarka, č. 11
43. Gerasimenko, Toropov
Naplavka korrozionnostojkim splavom rabočich poverchnostej zapornoj armatury
1964 Svar. proizvodstvo, č. 2
44. Rostfreiplattieren und Hartauftragen durch UP-Schweissen mit Serienlichtbogen und Banelektrode
1965 BROWN-BOVLERI MITTLG., č. 7

45. Murmiltzsch W.
Auftragsschweissen von Walzwerkswalzen
1968 SCHWEISSEN U. SCHNEIDEN, č. 12
46. I. Berniolles
Les revêtements inoxydables en soudage automatique dans
les constructions nucléaires
1966 SOUDAGE ET TECH. CONN. 20, č. 9/10
47. A. Buchholz
Auftragsschweisplattierungen im chemischen- und
Kernreaktorbau
1967 Bänder, Bleche, Rohre, 8, č. 9, EI SVARKA č. 1/1968
48. UP-Aufschütt-Verfahren (UPA-Verfahren)
1967 ZIS-MITTLG. č. 1
49. CO₂-Auftragsschweissen mit zusätzlicher stromloser Elektrode
1968 ZIS-MITTLG., č. 5
50. A. Krahel
Einfluss verschiedener Schutzgase auf Zusammensetzung und
Eigenschaften austenitischem Stahlschweissgutes
1968 TECHN. MITTLG. 61, č. 1
51. M. Gerloch
Zusatzwerkstoffe für das CO₂-Auftragsschweissen
1967 SCHWEISSTECHNIK, č. 2
52. Schutzgas-Pulverauftragsschweissen
1967 ZIS-MITTLG., č. 11

9. Seznam spolupracovníků

Na práci se různými formami podíleli spolupracovníci interní i externí, z nichž je třeba zejména uvést

a) interní

- | | |
|-------------------|---|
| Ing. Zdeněk Duben | - cennými radami při propracování postupu zkoušek i vyhodnocování |
| Antonín Černý | - realizace a vyhodnocování laboratorních zkoušek |
| Oldřich Ďoubal | - realizace a vyhodnocování laboratorních zkoušek |
| Jindřich Váňa | - chemické rozborů |
| Josef Myška | - fotografie |

b) externí

- | | |
|----------------------------|---|
| Doc. Ing. Karel Löbl Dr Sc | - cenné rady při specifikaci úkolu a při vyhodnocování návrhů |
|----------------------------|---|