

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie

zaměření

Tváření kovů a plastických hmot

Katedra svařování

ROZBOR TECHNOLOGIE VÝROBY KLIKOVÉHO HŘÍDELE TKACÍHO STAVU
JLK 3500 v n.p. JUTA Dvůr Králové n.L.

Josef Pacák

Vedoucí práce: Ing. Heinz Neumann, VŠST Liberec

Konzultant: s. Václav Brouček, dipl. technik, n.p. JUTA
Dvůr Králové n.L.

Rozsah práce a příloh

Počet stran	90
Počet příloh	2
Počet tabulek	6
Počet obrázků	31
Počet výkresů	2
Počet modelů a jiných příloh	—

Datum 22.5.1981

KPT/TP

Vysoká škola: strojí a textilní

Katedra: tvářecí a vlast.

Fakulta: strojí

Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. Josefa
obor strojírenská technologie

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

Název tématu: " Rozbor technologie výroby klikového hřídele
..... pro stav JLM 130 v n.p. JTM Dvůr Králové n.Lab." x J
.....
.....

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámte se se současným stavem výroby klikového hřídele.
2. Proveďte rozbor příčin poruch klikových hřídelů.
3. Na základě provedeného rozboru proveďte návrh nové technologie výroby klikového hřídele nebo návrh konstrukčních úprav hřídele a jeho uložení.

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
742/ČSFR ze dne 13. srpna 1962
1262 Věstník MŠK XVII, sešit 24 ze
dne 31.8.1962 §19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 1991/1981 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, OTTO JIŘSKÁ 5
PSČ 461 17

Vysoká škola: strojní a textilní Katedra: tváření a plastů
Fakulta: strojní Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. Josefa Pacáka
obor strojírenská technologie

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

Název tématu: " Rozbor technologie výroby klikového hřídele
..... pro stav JLK 350 v n.p. JUTA Dvůr Králové n.Lab." x J

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se se současným stavem výroby klikového hřídele.
2. Proveďte rozbor příčin havárií klikových hřídelů.
3. Na základě provedeného rozboru proveďte návrh nové technologie výroby klikového hřídele nebo návrh konstrukčních úprav hřídele a jeho uložení.

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31.8.1962 §19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 1991/1981 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací:

30 - 40 stran + výkresová dokumentace

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

1. ČABELKA, J.: Zvaritelnost kovov a zliatin. Vybrané statě. VEDA, vydavatelstvo SAV 1977.
2. HRIVNÁK, J.: Zvaritelnost ocelí. ALFA-VIEL Bratislava 1979.
3. - ČSN 050120- výpočet svarových spojů stroj. konstrukcí
4. JECH, J.: Tepelné zpracování ocelí. Metalografická příručka SNTL, Praha 1977.
5. KOUTSKÝ, J., JANDOŠ, F., KAREL, V.: Lomy ocelových částí. SNTL Praha 1977.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Heinz Neumann

Konsultanti:

s. Václav Brouček, dipl. technik, JUTA Dvůr Králové n. Lab.

Datum zadání diplomového úkolu:

6.10.1980

Termín odevzdání diplomové práce:

22.5.1981.



Doc. Ing. J. Měš, CSc.

Vedoucí práce

Doc. RNDr. B. Striz, CSc.

Děkan

v Liberci dne

6.10.80

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

Pavák Josef

V Liberci 22.5.1981

OBSAH

	Přehled použitých symbolů a měrových jednotek	6
	Úvod	9
1	Funkce klikového hřídele v tkacím stavu JLK 3500 ..	11
2	Základní data	12
3	Současný stav technologie výroby klikového hřídele v n.p. JUTA SGO Dvůr Králové n.L.	13
3.1	Materiál klikového hřídele	13
3.2	Obrábění jednotlivých dílů klikového hřídele	14
3.3	Skládání klik v přípravku	15
3.4	Svařování klik	17
3.5	Obrábění klik a konečné sesazení klikového hřídele	18
4	Rozbor příčin havárií klikových hřídelů	19
4.1	Vliv konstrukce klikového hřídele	19
4.1.1	Rozložení napětí v nalisovaném spoji	20
4.2	Vliv technologie výroby klikového hřídele	24
4.2.1	Obrábění dílů klikového hřídele	24
4.2.2	Ruční svařování elektrickým obloukem	25
4.2.2.1	Vliv svářeče při ručním svařování	27
4.2.2.2	Vliv tepelně deformačního účinku svařování	28
4.2.2.3	Hodnocení náchylnosti svarových spojů klikového hřídele na vznik trhlin	32
4.2.2.4	Hodnocení svažitelnosti používaného základního ma- teriálu	40
4.3	Vliv uložení klikového hřídele	42
4.4	Vliv montáže klikového hřídele do tkacího stavu ...	46
4.5	Zatížení klikového hřídele	47
4.5.1	Kinetostatické řešení čtyřkloubového přírazového mechanismu	48
4.6	Únavová pevnost klikového hřídele	54
4.6.1	Namáhání klikového hřídele	55
4.6.2	Pevnostní kontrola kliky	61

4.6.3	Únavové procesy a křehký lom svarových spojů	68
4.7	Vyhodnocení struktury a mechanických vlastností svarových spojů klikového hřídele	71
4.8	Ukázky lomu klikových hřídelů	75
4.9	Zhodnocení rozboru příčin havárií klikových hříde- lů	80
5	Návrhy k odstranění příčin havárií klikových hří- delů	81
5.1	Návrh 1	81
5.2	Návrh 2	82
	Závěr	86
	Seznam použité literatury	89
	Seznam příloh	90
	Seznam tabulek	90

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ A MĚROVÝCH JEDNOTEK

Zn. veličiny	Jednotka	Název veličiny
m	kg	hmotnost
T	°C	teplota
t	s	čas
U	V	elektrické napětí
I	A	elektrický proud
ρ	kg m ⁻³	hustota
E	MPa	modul pružnosti v tahu
G	MPa	modul pružnosti ve smyku
J ₀	mm ⁴	moment setrvačnosti průřezu
J _k	mm ⁴	moment tuhosti v kruhu
F _m	N	střední síla při cykl. zatížení
F _a	N	amplituda síly
F	N	výsledná síla
F _h , F _n	N	horní, dolní síla při cyklic. zatížení
N	N	výsledná normální síla, resp. počet cyklů
T	N	výsledná posouvající síla /smyková, příčná/
N _⊥	N	normální síla kolmá na směr svaru
N	N	normální síla rovnoběžná se směrem svaru
M _h , M _n	N _m	horní, dolní moment při cykl. zatížení
M ₀	N _m	ohybový moment
M _k	N _m	kroutící moment
s, s ₁	mm	tloušťka základ. materiálu
t	mm	velikost koutového svaru
a	mm	nosný průřez koutového svaru
z	mm	hloubka závaru svaru
l	mm	délka svaru

Zn. veličiny	Jednotka	Název veličiny
S	mm^2	nosný průřez zákl. materiálu
S_{sv}	mm^2	nosný průřez svaru
$W_o ; W_{o\ sv}$	mm^3	průřez.modul zákl. materiálu, svaru v ohybu
$W_k ; W_{k\ sv}$	mm^3	průřez.modul zákl. materiálu, svaru v kruhu
σ_{oD}	MPa	dovolené napětí v ohybu
σ_{pt}	MPa	mez pevnosti v tahu
$\sigma_{kt} ; \tau_k$	MPa	mez kluzu v tahu, ve smyku
σ_D	MPa	dovolené napětí v tahu
$\sigma_{D\ sv}$	MPa	dovolené napětí svaru v tahu
$\tau_{D\ sv}$	MPa	dovolené napětí svaru ve smyku
$\sigma_{\perp}$	MPa	normální napětí kolmé na směr svaru
$\sigma_{\parallel}$	MPa	normální napětí rovnoběžné se směrem svaru
$\tau_{\perp}$	MPa	smykové napětí kolmé na směr svaru
$\tau_{\parallel}$	MPa	smykové napětí rovnoběžné se směrem svaru
τ	MPa	smykové napětí
$\sigma_s ; \tau_s$	MPa	srovnávací napětí /redukované/
$\sigma_h ; \tau_h$	MPa	horní napětí cyklu ve svaru ne- bo v základ. materiálu
$\sigma_n ; \tau_n$	MPa	dolní napětí cyklu ve svaru ne- bo v základ. materiálu
$\sigma_a ; \tau_a$	MPa	amplituda napětí cyklu ve svaru nebo v základ. materiálu
$\sigma_m ; \tau_m$	MPa	střední napětí cyklu ve svaru nebo v základ. materiálu
$\sigma_c^* ; \tau_c^*$	MPa	mez únavy svaru nebo základního materiálu při střídavém souměr- ném namáhání

ÚVOD

XVI. sjezd Komunistické strany Československa stanovil na základě rozboru dosažených výsledků v uplynulém období další cíle všestranného rozvoje naší socialistické společnosti na léta 1981 až 1985. V hospodářské oblasti určil za rozhodující linii dalšího rozvoje důsledné a všestranné zvyšování efektivity národního hospodářství, založené na plném využívání intenzivních faktorů růstu a vnitřních rezerv.

Rozhodující vliv na zvyšování hmotné výroby má průmysl, který tvoří základní článek naší socialistické ekonomiky, je hlavním tvůrcem zdrojů pro zvyšování životní úrovně.

Strojírenství lze v konkrétní skladbě a při požadavku krýt nárůst výroby převážně růstem produktivity práce účinně rozvíjet pouze za podmínky rychlého a komplexního prosazování výsledků vědecko technického rozvoje a zvyšování efektivity výroby. Vysokou efektivností se rozumí hlavně snižování materiálových nákladů / kovů, surovin/ a zvyšování úspor paliv, energie a pracnosti.

V podmínkách podniků a závodů je nejdůležitějším zdrojem okamžitého zvyšování technické úrovně a efektivity výroby zdokonalování konstrukcí, technologických, organizačních a výrobních postupů, neboť to vše umožňuje v poměrně krátké době a bez požadavku na nákladné investice zvyšovat výrobu a pružně zajišťovat inovační proces.

Tkalcovské závody zahrnují v průměru 65 % pracnosti výroby celého textilního průmyslu. Vzhledem k různorodosti výrobních postupů přípravy materiálu ke tkaní i vlastního tkaní a při velkém počtu tkanin se tkalcovský závod řadí mezi technicky, organizačně a investičně nejnáročnější provozy textil-

ního průmyslu.

Za uplynulých 20 let se technika většiny tkalcoven zcela změnila. Byly průmyslově zavedeny automatické stroje pro přípravu materiálu ke tkaní a bezčlunkové tkací stroje. Zavádějí se automatické stroje pro navádění osnovy, samočinné počítače pro sledování provozu a v nejbližší době se budou zavádět tkací stroje víceprošlupní. Rychlý vzestup chemizace textilní surovinové základny v posledních letech značně ovlivnil technoclogické procesy přípravy materiálu pro tkaní i vlastní tkaní.

Také n.p. JUTA Dvůr Králové n.L. vyrábí tkaniny i jiné textilní výrobky na základě syntetických textilních vláken. Ve svém sortimentu výroby ponechává též i výrobky z jutové příze. Tkaniny z jutové příze se zhotovují v závodě JUTA 06 Višňová na tkacích stavech staršího typu.

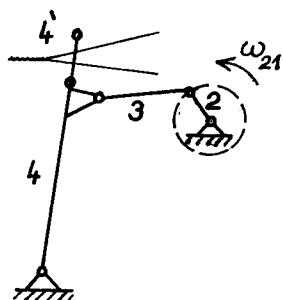
Tyto kobercové tkací stavy ozn. JLK 3500 zpracovávají jutovou přízi na tkaninu o šířce $b = 3500$ mm. Původní výrobce tkacích stavů dodával tyto stavy tak nekvalitní, že byly během krátké doby neschopné provozu. V n.p. JUTA Dvůr Králové n.L. přepracovali konstrukci stavů a většinu dílů, původně litinových nebo dřevěných, nahradili svařovanými díly z konstrukční oceli. Dále provedli úpravy pohonu, čímž se snížila nerovnoměrnost chodu tkacího stavu.

K poruchám tkacích stavů však stále dochází. Největší ztráty jsou způsobeny častými destrukcemi svařovaných dílů, ke kterým patří především klikový hřídel, bočnice rámu a bidlen. Výrobu klikových hřídelů a ostatních náhradních dílů zajišťuje SGO JUTA Dvůr Králové n.L.

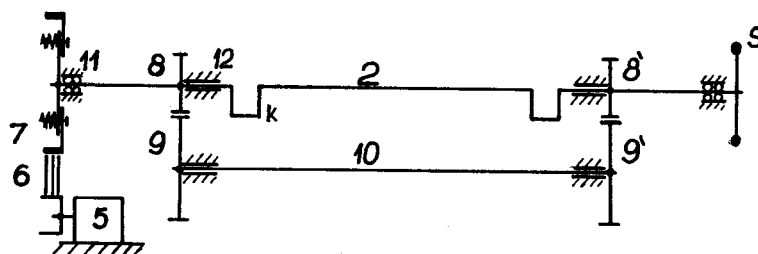
1 FUNKCE KLIKOVÉHO HŘÍDELE V TKACÍM STAVU JLK 3500

Klikový hřídel je součástí tzv. přímého pohonu tkacího stavu a zároveň částí čtyřčlenného kloubového mechanismu, který zajišťuje příraz útku do tkaniny. Mechanismus se skládá z rámu 1, klik. hřídele 2, dvou ojníc 3, vahadla - bidlenu 4, nesoucího paprsek 4'. /obrázek 1/

Přímý pohon je naznačen na obrázku 2. Přenos energie z elektromotoru 5 je zprostředkován převodem klínovými řemeny 6 na řemenici 7, která je naklínována na klikovém hřídeli a plní funkci setrvačníku. Je konstruována tak, aby při brždění hřídele proklouzla. Na klikovém hřídeli je dále naklínováno menší ozubené kolo 8, zabírající do ozubeného kola 9 spodního hřídele 10 s převodovým poměrem $p_{89} = 1:2$. Protože jde o pomalý, široký tkací stav a tuhost dlouhého dvakrát zalomeného klik. hřídele v krutu je malá, byl by jednostranný pohon stavu nevyhovující. Proto je spodním hřídelem 10 přenášén kroutící moment na druhou stranu klikového hřídele pomocí ozubených kol 9, 8' a tím je dosaženo oboustranného pohonu. Aby tento oboustranný pohon plnil svou funkci, musí být zajištěn současný záběr ozubených kol 8 a 8'.



obr. 1 Přírazový mechanismus



obr. 2 Přímý pohon stavu

Klikový hřídel je uložen v okrajových částech v dvouřadých naklápěcích kuličkových ložiskách 11 a na vnějších stranách klik v kluzných litinových ložiskách 12.

Klikový hřídel tkacího stavu JLK 3500 je tedy hlavním elementem rozvodu energie a jak dokazují i časté lomy, je při provozu značně namáhán. K destrukcím klikových hřídelů dochází v krátké době jejich provozu a tím vznikají n.p. JUTA značné finanční ztráty.

2. ZÁKLADNÍ DATA

Výkon elektromotoru	$P_m = 2,2 \text{ kW}$
Otáčky "	$n_m = 720 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky klik. hřídele	$n_k = 100 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
Hmotnost "	$m_k \approx 160 \text{ kg}$
Dynamická síla v přírazu tkaniny	$F_p = 24\,000 \div 27\,000 / \text{N}$
Hmotnost bidlenu	$m_b \approx 140 \text{ kg}$
Moment setrvačnosti bidlenu	$I_{ob} \approx 74 \text{ kgm}^2$

SGO JUTA Dvůr Králové n.L. vyrábí ročně 20 kusů klikových hřídelů. Jde tedy o malosériovou výrobu. Cena jednoho klikového hřídele je 5.000,-- Kčs.

Tyto hlavní údaje byly převzaty z dokumentace tkacího stavu JLK 3500 v n.p. JUTA Dvůr Králové n.L.

3. SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE VÝROBY KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Klikové hřídele tkacího stavu JLK 3500 vyrábí n.p. JUTA SGO Dvůr Králové n.L.. SGO JUTA zajišťuje také výrobu veškerých náhradních dílů pro tyto stavy.

Současně vyráběný klikový hřídel / viz příloha 1 / tkacího stavu JLK 3500 má tyto parametry:

průměry krajních /ložiskových/ hřídelů	 $D_1 = 55$ mm
	$D_2 = 50$ mm
průměr ojnicních čepů	 $d = 50$ mm
poloměr kliky /vyložení/	 $r = 78$ mm
celková délka	 $L = 5910$ mm
hmotnost	 $m = 160$ kg

Jedná se o hřídel skládaný. Jednotlivé díly klikového hřídele jsou zhotoveny obráběním, za tepla sesazeny s přesahem a v místech spojů jednotlivých dílů svařeny. Výroba klikového hřídele vykazuje velkou pracnost, značnou spotřebu materiálu a energie a vzhledem k jeho délce i hmotnosti obtížnou manipulaci.

3.1 MATERIÁL KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Na klikový hřídel byl s ohledem na technologii výroby zvolen materiál 11 523.0, konstrukční, svařitelná ocel vyšší pevnosti, v nežíhaném stavu. V tomto stavu se na jednotlivé díly klikového hřídele používá dodnes. /S výjimkou spojovací trubky, pos. 6/

Jednotlivé díly	Pos.	Materiál - Polotovar
Ložiskové hřídele	1 , 2	11 523.0 ČSN 425510
Ojnicní čepy	3	11 523.0 ČSN 425510
Ramena	4	11 523.0 ČSN 425510
Příruby	5	11 523.0 ČSN 425510
Spojovací trubka	6	11353.0 ČSN 426710

SPOTŘEBA MATERIÁLU

Spotřeba materiálu, stanovená podle rozpisky /příloha 1/ jako součet hmotností výchozích polotovarů, činí 258 kg na jeden klikový hřídel.

3.2 OBRÁBĚNÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ

Polotovarem pro jednotlivé díly klikového hřídele jsou TYČE ČSN 425510, ocel válcovaná za tepla. Spojovací trubka /pos. 6/ je z polotovaru ČSN 426710.

Ložiskové hřídele / $\varnothing$ 55 - pos.1 a $\varnothing$ 50 - pos.2 / se zhotovují soustružením z tyče $\varnothing$ 90. Dále je u nich předepsáno broušení v místech ložiskových ploch, ploch s přesahem a v místech upevnění setrvačníků a ozubených kol.

Ojniční čep / $\varnothing$ 50 - pos. 3 / se zhotovuje soustružením z tyče $\varnothing$ 70. Čep se vrtá v ose / $\varnothing$ 17 /. Broušení je předepsáno na všech válcových plochách a na čelních plochách v místě vedení ojnice.

Ramena kliky / pos. 4 / se vyrábějí soustružením z tyče $\varnothing$ 200. Broušení vnitřních válcových ploch pro zalisování čepů se neprovádí. Tyto průchozí díry se poze vystružují na $\varnothing$ 45 H7. Konečnou operací je frézování boků ramen.

Příruba / pos. 5 / slouží k přechodu z $\varnothing$ 45 / spoj příruby s ramenem / na $\varnothing$ 108 / spoj příruby s trubicí /. Zhotovuje se soustružením z tyče $\varnothing$ 120. Broušení se provádí na ploše $\varnothing$ 45 před složením kliky, plocha $\varnothing$ 108 se jemně soustruží po složení kliky.

Spojovací trubka / pos. 6 /, ČSN 426710, se na vnitřním průměru jemně soustruží na $\varnothing$ 108 H7 a zarovnává se na předepsanou délku.

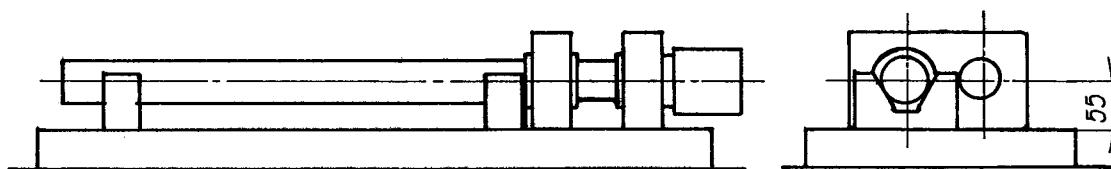
Velká spotřeba materiálu je při obrábění jednotlivých dílů klikového hřídele způsobena konstrukčním řešením kliky.

Vzhledem k malým výrobním možnostem SGO JUTA je do určité míry omezena možnost dosažení předepsané jakosti povrchu funkčních ploch a volba polotovarů. Například broušení je možno provádět jen u ojnicního čepu, ložiskových hřídelů a čepu příruby a to pouze na univerzální hrotové brusce.

3.3 SKLÁDÁNÍ KLIK V PŘÍPRAVKU

Kliky se skládají za tepla v jednoduchém přípravku. Uložením H7/u7 stykových ploch dílů se po ochlazení kliky na teplotu okolí vytváří pevné spojení dílů.

Přípravek / obrázek 3 / je tvořen rovinnou deskou, na níž jsou upevněny ve společné ose dvě výškově stavitelné podpěrky s klínovými drážkami. Při dosednutí ložiskového hřídele do klínových drážek podpěrek musí být podélná osa hřídele rovnoběžná s plochou rovinné desky. Kolmá vzdálenost osy hřídele od funkční plochy rovinné desky musí být rovna polovině šířky ramene $\frac{b}{2} = 55 \text{ mm}$.



obr. 3 Skládání kliky v přípravku

Klikový hřídel vznikne sesazením klik K_1 a K_2 se spojovací trubicou / pos. 6 /.

Složení kliky K_1 : - ložiskový hřídel $\varnothing 55$ / pos. 1 /
- ojniční čep / pos. 3 /
- 2 ramena / pos. 4 /
- příruba / pos. 5 /

Složení kliky K_2 : - ložiskový hřídel $\varnothing 50$ / pos. 2 /
- ojniční čep / pos. 3 /
- 2 ramena / pos. 4 /
- příruba / pos. 5 /

Postup skládání kliky K_1 a K_2 :

- ramena kliky se v elektrické odporové peci ohřejí na teplotu $T = 280 \pm 10^\circ\text{C}$
- do přípravku se vloží ložiskový hřídel $\varnothing 55$, $\varnothing 50$
- z pece se vyjme ohřáté rameno kliky a nasune se / popř. se narazí / na čep ložiskového hřídele
- do volného otvoru ramene se zasune jedna strana ojničního čepu
- druhé rameno kliky, vyjmuté z pece, se nasune na opačnou stranu ojničního čepu
- do volného otvoru v druhém rameni se zasune čep příruby
- složená klika se mírným poklepem kladívka srovná tak, aby boky ramen ležely na rovinné desce přípravku a byly rovnoběžné

Skládání kliky musí probíhat rychle, aby některý díl "nezatuhl" před ustavením do správné polohy.

3.4 SVAŘOVÁNÍ KLIK

Složené kliky se po ochlazení na teplotu okolí vkládají do otočného svařovacího přípravku - kladkového polohovadla, které umožňuje svařovat kliky v poloze - A1 ČSN 050024 / vodorovné shora/.

Používá se technologie ručního svařování elektrickým obloukem obalenými elektrodami E 52.33 ČSN 055030.

Svařovací zdroj	- usměrňovač KS 200
Elektrody	- E 52.33, $\varnothing d = 4$ mm
	- bazický obal, vhodné pro dynamické namáhání, pro svařování konstrukcí a součástí z oceli 11 523
	- předsušejí se v el. odporové pícce
Svařovací proud /ss/	- $I = 160 \pm 20$ A
Svařovací rychlost	- $v = 0,8 \div 1,0$ cm $\cdot$ s ⁻¹
Předepsané svary	- 5 / označené na výkrese sestavy - příloha 1 /
Prováděné svary	- 8, jednovrstvé

Svary jsou umístěny po obvodě v místech spojů jednotlivých dílů kliky /viz příloha 1 /.

Svarové spoje, vytvořené na vnějších plochách dílů, jsou kombinací koutového svaru se svarem 1/2 V. Svarové spoje na vnitřních plochách ramen mají charakter V svarů.

Kliky se svařují bez předehřevu a bez předepsaného technologického postupu svařování. Žíhání na snížení vnitřního pnutí po svařování není předepsáno. Kontrola přípravy svařování, jakosti svářeckých prací, vzhledu, rozměrů a jakosti provedených svarových spojů se neprovádí.

3.5 OBRÁBĚNÍ KLIK A KONEČNÉ SESAZENÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Vnitřní pnutí po svařování způsobí určitou deformaci kliky. Proto se $\varnothing 108$ u7 příruby na čisto obrátí /jemně soustruží/ až po svaření kliky.

Poslední obráběčskou operací je frézování drážek na ložiskových hřídelích klik. Svary se ponechávají neobrobené.

Konečné sesazení klikového hřídele se provádí složením klik K_1 a K_2 se spojovací trubicí, jejíž konce se nahřejí plamenem na teplotu $T = 280 \pm 10^\circ\text{C}$. Po složení se klikový hřídel svařuje v místech dosedu konců spojovací trubky na osazení přírub / viz příloha 1/.

Závěrečnou operací výroby klikového hřídele je rovnání hřídele plamenem. Rovnání se provádí na speciálním soustruhu, který je určen k obrábění dlouhých součástí a trubek.

Při rovnání hřídele plamenem dochází místním ohřevem k místní plastické deformaci, a tím se do materiálu svařované konstrukce vnáší nová vnitřní pnutí. Tím se poruší rovnováha vnitřních sil a součást se může vyrovnat.

Výhodou rovnání plamenem je nehlučnost, malá tělesná námaha a poměrně jednoduché vybavení. Závisí však ve značné míře na zručnosti a zkušenostech pracovníka.

4 ROZBOR PŘÍČIN HAVÁRIÍ KLIKOVÝCH HŘÍDELŮ

K haváriím klik. hřídelů dochází v krátké době jejich provozu. Jedná se především o únavové lomy / viz kapitola 6 /, které vznikají v časovém rozmezí mezi prvním až dvanáctým měsícem doby provozu klikových hřídelů. Vyskytují se však i náhlé, křehké lomy hřídelů za několik desítek hodin po jejich zabudování do tkacího stavu. Vzhledem k tomu, že tkací stavy pracují při nestejných podmínkách. jsou i jednotlivé klik. hřídele různě namáhány.

K lomům dochází v oblasti klik, nejčastěji v místech A, B a C / viz příloha 1 / spojů ojničního čepu a příruby s ramenem kliky.

Havárie klik. hřídelů, jejich obtížná montáž a demontáž z tkacích stavů, představují pro závod JUTA O6 Višňová i pro n.p. JUTA Dvůr Králové n.L. velké finanční ztráty.

4.1 VLIV KONSTRUKCE KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Svařovaná konstrukce skladaného klik. hřídele je z hlediska konstrukčně technologického sestavena z výrobně jednoduchých konstrukčních dílů / viz příloha 1 /. Je tvořena dvěma klikami, spojenými ve střední části vyztužovací silnostěnnou trubkou z důvodu velké vzdálenosti kluzných ložisek klikového hřídele.

Vzájemné spojení dílů je zajištěno mechanickým a metalurgickým způsobem. Mechanické předpětí vznikne sesazením dílů za tepla a jejich následujícím vychladnutím, metalurgického spojení je dosaženo svařováním.

Svary jsou umístěny v místech, při zatížení značně namáhaných za účelem zvýšení tuhosti a nosného průřezu /Jo/ spojů v těchto místech. Největší koncentrace svarů je v oblastech ramen kliky.

Přechod čepu do náboje ramene nalisovaného nebo za tepla sesazeného spoje představuje při zatížení stejný účinek jako vrub, tedy koncentraci napětí. Svařování v těchto místech sem vnáší další koncentrátoři napětí, jako jsou trhliny, přítomnost vnitřního pnutí, nedostatečná vrubová houževnatost v tepelně ovlivněné zóně a jiné vady ve svarovém spoji. [2]

Konstrukce klikového hřídele vzhledem k navržené kombinaci spojů a vzhledem k umístění svarů do míst koncentrace napětí při zatížení neodpovídá zásadám navrhování svařovaných konstrukcí a je nevhodná pro dynamické namáhání.

4.1.1 ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ V NALISOVANÉM SPOJI KLIKOVÉHO HŘÍDELE

U spoje sesazeného za tepla nedojde k zmenšení přesahu otěrem jako u spoje nalisovaného, ale uplatní se celý přesah d. Pro spoje sesazené za tepla bylo zvoleno uložení $\emptyset 45 \text{ H7/u7}$. Tomu by odpovídala tolerance

$$\begin{array}{lcl} \emptyset 45 \text{ H7} = 45 & \begin{array}{l} + 0,025 \\ 0,000 \end{array} & \emptyset 45 \text{ u7} = 45 \begin{array}{l} + 0,095 \\ + 0,070 \end{array} \end{array}$$

Ve skutečnosti se používá v případě $\emptyset 45 \text{ u7}$ tolerance pro rozsah $\emptyset 50 \div \emptyset 60$. Tomu odpovídá tolerance $\begin{array}{l} + 0,117 \\ + 0,087 \end{array}$

Při měření, prováděném 14.1. 1981 v SGO JUTA Dvůr Králové n.L., byly však naměřeny mikrometrem hodnoty přesahů podstatně vyšší. Maximální naměřený rozměr $\emptyset 45,150 \text{ mm}$. Zpracované výsledky naměřených rozměrů u 3 různých kusů jednotlivých součástí spoje jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1:

$\emptyset 45 \text{ u7 /pos.3/}$	$45,130 \pm 0,002$	$45,118 \pm 0,001$	$45,125 \pm 0,001$
$\emptyset 45 \text{ u7 /pos.1,2/}$	$45,138 \pm 0,001$	$45,150 \pm 0,002$	$45,135 \pm 0,002$
$\emptyset 45 \text{ u7 /pos.5/}$	$45,140 \pm 0,002$	$45,125 \pm 0,001$	$45,130 \pm 0,001$

Pro stejný materiál dílů platí:

$$E_1 = E_2 = E_3 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

a/ Pro spoje dílů 1 - 4 a 5 - 4 se určí přesah ze vztahu:

$$\Delta d = \frac{d_1 \cdot p}{E} / 1 + c_1 / ; \quad c_1 = \frac{1 + \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}^2}{\sqrt{\frac{d_2}{d_1}}^2 - 1} \quad (1)$$

kontaktní tlak ve spoji

$$p = \frac{\Delta d \cdot E}{d_1 / 1 + c_1 /} \quad (2)$$

V případě uložení H7/u7 a při rozměrech nalisovaného spoje

$$\begin{aligned} d_1 &= 45 \text{ mm} \\ d_2 &= 104 \text{ mm} \\ L &= 30 \text{ mm} \\ f &= 0,15 \text{ souč. tření} \end{aligned} \quad c_1 = \frac{1 + \sqrt{\frac{104}{45}}^2}{\sqrt{\frac{104}{45}}^2 - 1} = 1,46 \quad (3)$$

Pro přesah Δd je odpovídající kontaktní tlak ve spoji.

$$\begin{aligned} \Delta d_{\min} &= 0,065 \text{ mm} & p_{\min} &= 123,3 \text{ MPa} \\ \Delta d_{\text{stř}} &= 0,091 \text{ mm} & p_{\text{stř}} &= 172,6 \text{ MPa} \\ \Delta d_{\max} &= 0,117 \text{ mm} & p_{\max} &= 222 \text{ MPa} \\ \Delta d_{\max_n} &= 0,150 \text{ mm} & p_{\max_n} &= 284 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Spoj může při minimálním přesahu $p_{\min}$ přenést kroutící moment

$$M_k = \frac{p_{\min} \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot L \cdot f}{2} = \frac{123,3 \cdot 3,14 \cdot 20,25}{2} \cdot \frac{0,03 \cdot 0,15}{10^2} = 1 \, 765 \text{ Nm} \quad (4)$$

b/ Pro spoje dílů 3 - 4 platí : [8], [9]

$$d = \frac{d_1 \cdot p}{E} / c_2 + c_1 / , c_2 = \frac{1 + \sqrt{\frac{d_1}{d_3}}}{\sqrt{\frac{d_1}{d_3}} - 1} \quad (5)$$

Kontaktní tlak ve spoji:

$$p = \frac{\Delta d \cdot E}{d_1 / c_2 + c_1 /} \quad (6)$$

Rozměry spoje:

$$\begin{aligned} d_1 &= 45 \text{ mm} & c_2 &= \frac{1 + 7}{7 - 1} = 1,33 & (7) \\ d_2 &= 104 \text{ mm} \\ d_3 &= 17 \text{ mm} & c_1 &= 1,46 \text{ viz } (3) \\ L &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pro přesahy Δd jsou odpovídající kontaktní tlaky p:

$$\begin{aligned} \Delta d_{\min} &= 0,045 \text{ mm} & p_{\min} &= 75,3 \text{ MPa} \\ \Delta d_{\text{střed}} &= 0,070 \text{ mm} & p_{\text{stř}} &= 117 \text{ MPa} \\ \Delta d_{\max} &= 0,095 \text{ mm} & p_{\max} &= 159 \text{ MPa} \\ \Delta d_{\max_n} &= 0,130 \text{ mm} & p_{\max_n} &= 218,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Napětí v nalisovaném spoji: [8]

/r₁/

a/ dílů 1 - 4 a 5 - 4 /r₂/

$$\sigma_r^{\text{II}} = \sigma_t^{\text{II}} = -p \quad \sigma_{rr_2}^{\text{II}} = 0 \quad (8)$$

$$\sigma_o^{\text{II}} = A^{\text{I}} = -p \quad (9)$$

$$\sigma_r^{\text{II}} = -p \quad (10)$$

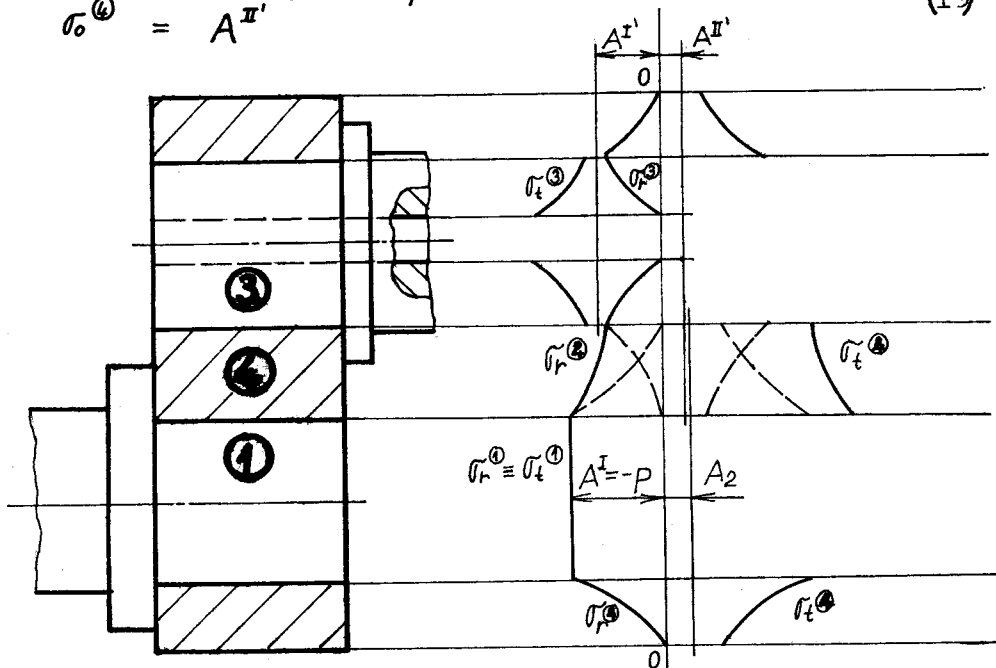
$$\sigma_t^{\text{II}} = 2A^{\text{II}} + p = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot p / 2 + p = p / 0,46 + 1 = c_1 p \quad (11)$$

$$\sigma_t^{\text{II}} = c_1 p \quad (12)$$

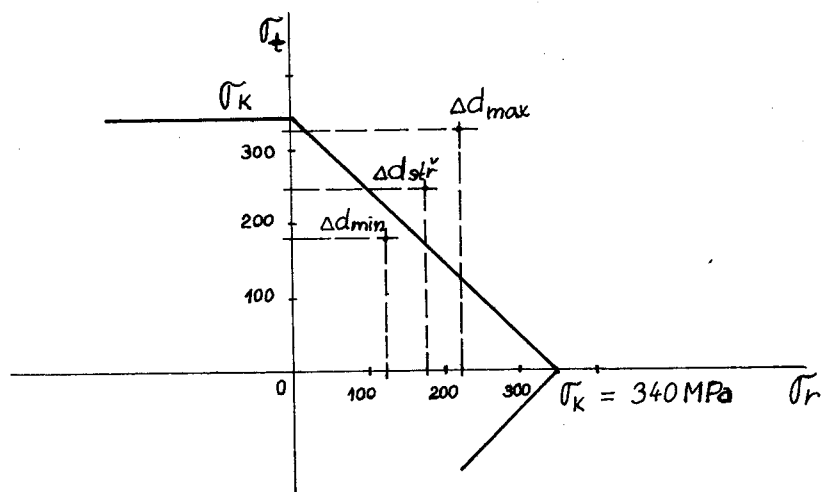
$$\sigma_o^{\text{II}} = A^{\text{II}} = 0,23 p \quad (13)$$

b/ dílů 3 - 4 /r₁/ /r₂/ /r₃/

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(3)} &= -P & \sigma_r^{(3)} &= 0 & (14) \\ \sigma_t^{(3)} &= -2A^{I'} + P & \sigma_t^{(3)} &= -2A^{I'} & (15) \\ \sigma_o^{(3)} &= -A^{I'} = \frac{r_3^2}{r_1^2 - r_3^2} \cdot \frac{P}{r_1} & & & (16) \\ \sigma_r^{(4)} &= -P & \sigma_r^{(4)} &= 0 & (17) \\ \sigma_t^{(4)} &= 2A^{II'} + P = c_2 \cdot P & & & (18) \\ \sigma_o^{(4)} &= A^{II'} & & & (19) \end{aligned}$$



Obr. 4a Rozložení napětí v nalisovaných spojích kliky



Obr. 4b Kontrola napětí podle Haighova diagramu. Jak ukazuje Haigův diagram, přesáhnou napětí při hodnotách $\Delta d_{\max}$ a $\Delta d_{\text{stř}}$ mez kluzu a v oblasti spoje může dojít k určité plastické deformaci.

4.2 VLIV TECHNOLOGIE VÝROBY KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Při výrobě /viz kapitola 3/, nebo při renovaci klikového hřídele dochází k výraznému ovlivnění výsledných vlastností hřídele. Závisí zde na tom, zda je použit vhodný polotovar, jestli je při obrábění dosaženo předepsaných rozměrů a jakostí povrchu, zda je dodržován určitý technologický postup svařování a použit některý způsob snížení vnitřního pnutí svařované konstrukce.

4.2.1 OBRÁBĚNÍ DÍLŮ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Při obrábění není u některých ploch dílů dosaženo předepsané jakosti povrchu, hlavně u nábojů ramen kliky / $\varnothing$ 45 H7/, u vnitřního průměru / $\varnothing$ 108 H7/ příruby.

Proto se provádějí příliš velké přesahy, aby se za tepla sesazené spoje při zatížení neuvolnily.

Nevhodně velké přesahy způsobují vysoký stav napjatosti v sesazených dílech. /viz kapitola 4.1/

Vysoké mechanické předpětí snižuje mez únavy složených dílů na jednu polovinu až jednu třetinu hodnoty meze únavy hladkých, nenalisovaných součástí [7].

Při frézování boků ramen kliky vznikají ostré hrany, které se nesrážejí. V místech ostrých vnějších hran dochází při ohybovém namáhání ramen ke koncentraci napětí, která může způsobit vznik trhlin a jejich šíření i z těchto míst.

4.2.2 RUČNÍ SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

Technologie ručního svařování elektrickým obloukem obalenými elektrodami je pro svou rychlou operativnost ve výrobě, nízké investiční náklady a malé nároky na údržbu stále nejpoužívanějším způsobem svařování.

Rozhodující vliv na jakost svarů prováděných ručně a hospodárnost svařovacího procesu má správná volba svařovacích hodnot / druh a průměr elektrody, svařovací proud, délka oblouku a rychlost svařování /. [2]

Průměr elektrody se volí podle tloušťky svařovaného materiálu, tvaru, rozměru a polohy svaru. Do kořene svaru se používá elektrod menšího průměru / $d=2,5$ mm, 3,15 mm /. Při použití většího průměru elektrody se neprovaří kořen svaru a dochází také k většímu tepelně deformačnímu/tenzotermickému/ ovlivnění základního materiálu, které má za následek zhoršení mechanických vlastností svarového spoje.

Pro vícevrstvé svary je důležité dodržovat předepsaný sled používaných průměrů elektrod.

Svařovací proud se volí podle druhu elektrody a jejího průměru, přihlíží se i k poloze svaru, tloušťce a teplotě materiálu při svařování. Zkušený svářeč pozná správně nastavený proud podle způsobu odtavování elektrody, tvaru a chování lázně, tvaru a povrchu housenky.

Udržování vhodné a stálé délky oblouku je další základní podmínkou pro vytvoření jakostního svaru. Při příliš velké délce oblouku není tavná lázeň dostatečně chráněna před škodlivými účinky vzduchu a výsledkem

je svar s horšími mechanickými vlastnostmi.

Tvar a jakost svarové housenky závisí také na rychlosti svařování. Při vysoké rychlosti vznikne úzká housenka, natavení základního materiálu je malé a je nebezpečí studeného spoje, pórovitosti svaru, protože tavná lázeň rychle chladne a rozpuštěné plyny nemohou z roztaveného kovu uniknout. Nízká svařovací rychlost způsobuje přehřívání materiálu, předbíhání strusky před tavnou lázní a tím nebezpečí struskových vměstků ve svarovém kovu. Také tenzotermické ovlivnění základního materiálu je větší. [2]

Svařovací parametry, používané při svařování klik, jsou uvedeny v kapitole 3.4.

Pro malosériovou výrobu klikových hřídelů /20 ks/rok/ je technologie ručního svařování výhodná z hlediska nákladů na svařování, není však vhodná pro velkou tloušťku svařovaných dílů. / $s=40$ mm /

Nejmenší doporučená tloušťka koutových svarů pro ocel 11 523 a tloušťku svařovaných částí $s = 30$ až 50 mm je $t = 12$ mm. Při svařování konstrukcí, u kterých se požaduje tuhost v uzlovém spojení jednotlivých dílů je pro daný materiál a tloušťku svařovaných dílů doporučena tloušťka koutového svaru $t = 20$ mm.

Přitom je nutné volit minimální velikost koutových svarů, a to se zřetelem na skutečné provozní namáhání. Úprava svarových ploch by měla přinášet minimální množství navařeného kovu, aby tenzotermický vliv na základní materiál svařované konstrukce byl co nejmenší. [2]

Tvary a rozměry svarových ploch kliky /mimo koutových svarů na ojnicím čepu/ neodpovídají ČSN 050025. Jsou navrženy podle výrobních podmínek, protože se díly nesvařují přes celý průřez. /viz příloha 1/

Tvary a rozměry vnějších svarových ploch kliky jsou navrženy tak, že umožňují pouhé vyplňování drážky svarovým kovem. Množství naneseného svarového kovu je velké, zatímco provaření kořene svarů na straně ramen je nedostatečné. Mohou tak vznikat jednostranně zavařené svary s vrubovým účinkem v kořeni svaru.

Vzhledem ke značné koncentraci svarů a k velkému množství naneseného svarového kovu v oblasti kliky dojde k výraznému tenzotermickému ovlivnění základního materiálu kliky a v místech spojů budou vznikat špičky vnitřních pnutí.

4.2.2.1 VLIV SVÁŘEČE PŘI RUČNÍM SVAŘOVÁNÍ

Svařování klik probíhá bez předepsaného technologického postupu, svářeč volí sám svařovací parametry i postup svařování a má tedy rozhodující vliv na jakost vytvořených svarů. Záleží na tom, zda správně zvolí svařovací proud, délku oblouku, rychlost svařování, zda používá předepsaných elektrod, které mají být před svařováním předsoušeny.

Z prohlídky svarů na havarovaných klikových hřídelích /viz kapitola 4.8/ lze poznat, že svářeč často volil vysoký svařovací proud a velkou rychlost svařování. Podél okrajů některých svarů jsou zápaly /obr.30 /, kresba některých housenek má protáhlý charakter. Svary obsahují plynové dutiny a struskové vměstky / obr.26 /, povrch svarů je nepravidelný, provaření kořene koutových svarů je nedostatečné / obr.27 /, v některých místech koutových svarů vznikly studené spoje / obr.29 /.

Obvodové svary jsou prováděny po částech, počátek svařování je volen v libovolném místě na obvodu. Největší dutiny se struskovými vměstky jsou v místech spojů jedno-

tlivých housenek / obr.26 /.

Svářeč používá elektrod, které nejsou předsoušeny těsně před svařováním. Většina svarových ploch je zoxidovaná a před svařováním se nečistí.

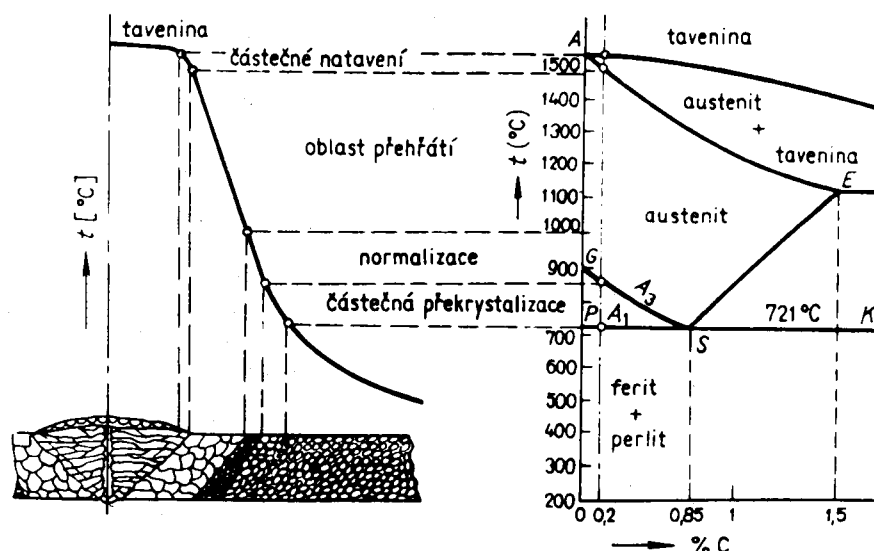
4.2.2.2 VLIV TEPELNĚ DEFORMAČNÍHO ÚČINKU SVAŘOVÁNÍ

Při posuzování vlastností svařované konstrukce je nutno kromě vlivu zvláštností metalurgických dějů při tavném svařování brát v úvahu ještě vliv tepelně deformačního / tenzotermického / účinku svařování na vlastnosti základního materiálu. Proto je nutno uvažovat vlastnosti všech jednotlivých částí vytvořeného svarového spoje: základního materiálu - ovlivněné oblasti základního materiálu - přechodové oblasti - svarového kovu.

V oblasti mezi svarem a základním materiálem jsou kritická místa, ve kterých se mění vlastnosti, v závislosti na vlivu svařovacího procesu /struktura, vrubová houževnatost, plasticita/.

Tepelný účinek svařování, vyvolaný zdrojem tepla, má za následek deformační účinek, jehož původ je v tuhosti konstrukce, v nerovnoměrném rozložení teplot ve svařované konstrukci, tloušťce materiálu apod.

Působení tepelného účinku svařovacího procesu na změnu struktury základního materiálu v různé vzdálenosti od středu svaru je znázorněno na obrázku 5. Pro názornost je do obrázku zakreslen rovnovážný diagram železo - uhlík [27].



obr. 5 Vliv tepelného účinku svařovacího procesu na strukturu svarového spoje.

V oblasti, kde došlo k úplnému natavení kovu /svarových ploch a přídavného materiálu/ se svarový kov skládá z poměrně dlouhých krystalů, které narůstají od svarových ploch do středu svaru. Krystaly jsou hrubé, protože se tvořily za vysoké teploty.

V oblasti částečného natavení - rozhraní svarový kov - základní materiál nemůže dojít v důsledku rychlého ochlazení k řádnému a pravidelnému rozložení jednotlivých složek taveniny, která je potom na některé složky s nižší teplotou tavení bohatší vlivem právě jen částečného natavení materiálu v této oblasti. Vzniká zde oblast chemicky velmi nestejnorodá, obsahující řadu nečistot, která má podstatný vliv na vlastnosti svarového spoje.

V oblasti přehřátí základního materiálu /teplota vyšší než 1000 $^{\circ}\text{C}$ / se zvětšuje velikost zrna v důsledku přehřátí, a vznikne tzv. Widmannstattenova struktura s výrazným poklesem mechanických vlastností.

Struktura vzniklá přehřátím je dána současným působením tří vlivů: chemickým složením ocele, hlavně obsahem uhlíku / C, C_e /, velikostí austenitového zrna a rychlostí ochlazování.

Ferit se nevylučuje jen po rozhraní austenitových zrn, ale také uvnitř jednotlivých krystalů austenitu v krystalografických rovinách obsazených nejhustěji atomy, v podobě sítě jehlic nebo destiček. Tento způsob vylučování je tím výraznější, čím rychlejší bylo ochlazování a čím hrubší bylo primární zrno.

Tato struktura se tvoří zvláště snadno při obsahu uhlíku pod 0,4 %. V důsledku značného zhrubnutí zrna dojde k poklesu vrubové houževnatosti a kontrakce v této oblasti.

V oblasti normalizace dochází k normalizačnímu vyžehání materiálu, přičemž při teplotách těsně nad A_3 /kolem 950 °C/ je zrno nejjemnější a stejnoměrné, vzrůstá směrem k vyšším teplotám.

V oblasti částečné překrystalizace, t.j. v rozmezí teplot A_1 a A_3 , dochází k tzv. rozdrobování zrna. V další oblasti u uhlíkových ocelí se struktura ani jejich zrno nemění, může dojít jen k určitým změnám ve vlastnostech materiálu a k tzv. stárnutí oceli.

Stárnutí oceli lze charakterizovat jako časovou změnu mechanických vlastností materiálu. Tento jev je výsledkem vlivu volných intersticiálních přísad, hlavně dusíku a uhlíku, rozpuštěných ve feritu / $Fe \alpha$ /. Už při obsahu nad 0,003 % intersticiálního dusíku v oceli může rychlým ochlazením z teplot A_1 vzniknout přesycený tuhý roztok náchylný na stárnutí. Tento typ stárnutí se nazývá teplotní stárnutí, nastává při něm změna fyzikálních i mechanických vlastností ocele, zvyšuje se hodnota tvrdosti, mez zkluzu, ale zhoršují se plastické vlastnosti a především hodnoty vrubové houževnatosti.

Druhý způsob přivedení oceli do vystárnutého stavu je kombinace určitého přesycení a deformace ocele - deformační stárnutí. Mechanismus stárnutí má v tomto případě tyto etapy:

V první nastává interakce intersticiálních atomů dusíku a uhlíku s dislokacemi, nastává jejich "zakotvení". Zvýší se mez zkluzu, tvrdosti, ale poklesnou plastické vlastnosti.

V druhé etapě nastává precipitace nitridů na dislokacích. Tyto precipitáty výrazně znemožní pohyb dislokací.

V třetí etapě nastává precipitace v celém objemu Fe_α . V tepelně ovlivněné oblasti s teplotami okolo A_1 nastává většinou nejen přesycení Fe_α , ale také přetvoření zóny, tak že stárnutí má vždy charakter deformačního stárnutí. Nejnepříznivějším následkem stárnutí tepelně ovlivněné oblasti je výrazný pokles vrubové houževnatosti [1].

Deformační cyklus je vyvolaný působením tepelného cyklu [1]. Účinkem teplotní roztažnosti a nestacionárního teplotního pole vznikají v oblasti svarového spoje proměnlivá napětí. Na velikost a charakter těchto napětí má velký vliv tuhost svařeného uzlu, tloušťka stěny. V tepelně ovlivněné oblasti vznikají po dobu ohřevu tlaková napětí, která do teploty přibližně 300°C vyvolávají deformace podle lineární závislosti. Při dalším vzrůstu teploty pevnost kovu klesá a vlivem napětí dojde k větší deformaci. Při ochlazování se tlaková napětí mění na tahová. Tato zbytková tahová pnutí způsobí elastickou deformaci.

Vlivem anisotropie vlastností, která je především u konstrukčních ocelí závislá na směru válcování, na různé velikosti zrn, na obsahu nečistot a pod., není šíření

deformačního cyklu svařování v celém objemu stejné. Existují vedle sebe oblasti /mikrooblasti/ s různou schopností plastické deformace. V určitém případě může být deformační schopnost oblasti svarového spoje tak lokálně vyčerpána, že mohou vzniknout trhliny. Deformační cyklus svařování může mít vliv i na průběh fázových transformací, precipitačních procesů a na stárnutí svarových spojů.

4.2.2.3 HODNOCENÍ NÁCHYLNOSTI SVAROVÝCH SPOJŮ NA VZNIK TRHLIN

Při analýze reálných případů výskytu trhlín ve svarových spojkách je většinou těžké určit rozhodující mechanismus vzniku trhlín. [1]

Velká část defektů typu trhlín za studena vzniká jen díky tomu, že se oblasti primárních zrn poškodily při vysokých teplotách. V tom je určitá spojitost mezi trhlina-
mi za tepla a za studena. Oba dva typy trhlín mají mezikrystalický charakter. Zatímco trhliny za tepla bývají více rozvětvené a zasahují větší objem mají trhliny za studena zpravidla plošný charakter, trhlínová mezera je širší a výrazně orientovaná v jednom směru. Souvisí to s tím, že v okamžiku vzniku trhlíny jsou kontrakční napětí v teplotní oblasti studených trhlín neporovnatelně vyšší.

Každý svarový spoj prochází nejprve teplotní oblastí náchylnosti na trhliny za tepla. Trhliny za tepla vznikají ve svarovém kovu nebo v tepelně ovlivněné oblasti při vysokých teplotách. Příčinou vzniku trhlín ve svarovém kovu může být segregace nečistot, jako je síra, fosfor, kyslík, oxidy, sulfidy, nebo reakce prvků, úmyslně přidávaných do svarového kovu. Segregující nečistoty /většina z nich má nižší teplotu tání než základní kovová matrice-např. FeS/ mohou tvořit tenké filmy pevné fáze, která snižuje kohésní pevnost hranic zrn.

Mechanismus vzniku trhlin za tepla v tepelně ovlivněné oblasti je rozmanitější a souvisí s obsahem a segregací nečistot v základním materiálu při teplotách okolo 1000°C . Se zřetelem na to, že v teplotní oblasti vzniku trhlin za tepla nedosahují kontrakční napětí příliš velkých hodnot, bývají tyto trhliny krátké a více členité.

Studené trhliny / opožděné/ jsou defekty, které vznikají po skončení svařování ve svarovém spoji, když teplota oblasti svarového spoje poklesne pod 250 až 200°C . Tyto trhliny se mohou vyskytovat ve svarovém kovu a v tepelně ovlivněné oblasti, v zóně s teplotami nad A_3 , charakterizované určitým stupněm přehřátí. Trhliny ve svarovém kovu mohou být podélné nebo příčné. Pro vznik studených vln musí být v oblasti svarového spoje splněny tyto předpoklady:

- 1/ Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti nebo svarového kovu musí být citlivá na účinek vodíku. Takovou strukturou je martenzitická nebo dolnobainitická struktura, která vzniká při velkých rychlostech ochlazování, zejména při svařování ocelí vyšších pevností.
- 2/ V oblasti svarového spoje musí být určité minimum difuzního vodíku, jehož zdrojem je většinou svarový kov.
- 3/ V oblasti svarového spoje musí působit určité kontrakční napětí.

Vodík se do svarového kovu dostává z obalové hmoty elektrod, vlhkostí okolního prostředí, z nečistých plynů ochranné atmosféry, nebo z nedostatečně očištěných svarových ploch. Svarové plochy, pokryté rzí jsou velmi silným zdrojem vodíku ve svarovém kovu.

Rozpustnost a rozložení vodíku ve svarovém kovu závisí na koncentraci a typu nečistot, mikropórů a dislokací, makropórů a rychlosti ochlazování. Vodík ze svarového kovu difunduje do tepelně ovlivněné oblasti zejména v době přeměny $\gamma \rightarrow \alpha$ ve svarovém kovu /rozpustnost vodíků ve svarovém kovu se prudce snižuje při přeměně $\gamma \rightarrow \alpha$ /, zatímco tepelně ovlivněná oblast svarového spoje je ještě austenitická.

Vodík, který zůstal v oblasti svarového spoje, se nachází při vyšších teplotách v atomárním stavu. Při poklesu teploty asi pod 200 °C může přecházet v určitých volných prostorách svarového spoje z atomárního do molekulového stavu, přičemž vznikají vysoké asociační tlaky. Všeobecně ale vodík difunduje i na volný povrch svarového spoje a odtud do atmosféry.

Rozhodujícím faktorem, který je zodpovědný za vznik studených trhlin, je však působení tahových napětí po skončení svařování. Velikost těchto napětí závisí na tloušťce svařovaných dílů a zejména na tuhosti svařované části konstrukce.

Studené trhliny se mohou vyskytovat v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje, zejména v oblasti zhrublé struktury vlivem přehřátí, kde se mohou uplatňovat asociační tlaky difusního vodíku. Oblasti hranic primárních zrn mohou být před samotným rozvojem trhlin, indukovaných vodíkem, poškozeny také jiným mechanismem, probíhajícím při vysokých teplotách. Tímto mechanismem může být rozpouštění části sulfidů nebo karbidů a následující precipitace sulfo-nitridů nebo jiných fází, které snižují kohésní pevnost hranic zrn.

Trhliny mohou vycházet z přechodové zóny spodní části kořene svaru a mohou se šířit do tepelně ovlivněné oblasti.

Druhou možností je výskyt studených trhlin ve svařovém kovu. I když je struktura svařového kovu, se zřetelem na nižší obsah uhlíku, většinou měkčí než struktura a tvrdost tepelně ovlivněné oblasti, hranice primárních zrn jsou většinou více zeslabené a množství difusního vodíku je zde větší než tepelně ovlivněné oblasti. U jednovrstvých svarů není koncentrace vodíku po celé délce svaru stejná, ale zvyšuje se v místě zakončovacích kráterů. Nepříznivý vliv vodíku znásobují napětí, která ve svařovém kovu působí podélně i příčně. Zbytková napětí ve svařovém kovu ve spojích konstrukčních ocelí mohou být na hranici meze kluzu. Studené trhliny ve svařovém kovu mohou mít velikost makroskopické povahy nebo může jít o sítě mikrotrhlin, které ovlivňují zejména plastické vlastnosti /tažnost/ svařového kovu, nebo jeho únavovou pevnost.

a/ hodnocení náchylnosti svařového spoje na vznik trhlin za tepla [1]

1. Náchylnost svařového kovu na vznik trhlin za tepla při obloukovém svařování se dá charakterizovat číslem H.C.S.

$$\text{H.C.S.} = \frac{\text{C} / \text{S} + \text{P} + \frac{\text{Si}}{25} + \frac{\text{Ni}}{100} + / \cdot 10^3}{3 \text{ Mn} + \text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}} \quad (20)$$

Chemické složení svařového kovu podle ČSN 055030
/tabulka 2/

Tabulka 2:

C	Mn	Si	P	S
max	1,10	0,3	max	max
0,12%	1,80%	0,8%	0,05%	0,04%

$$H.C.S. = \frac{0,12 / 0,04 + 0,05 + 0,032 / \cdot 10^3}{3 \cdot 1,8} = \frac{0,01465 \cdot 10^3}{5,4} =$$

H.C.S. = 2,71 /pro maximální obsah prvků dle tab. 2/

Pro měkké ocele při H.C.S. < 4 trhliny za tepla ve svarovém spoji nevznikají, ale pro vysokopevnostní ocele velkých tloušťek je požadavek H.C.S. < 1,6 až 2.

Základní materiál svařovaných dílů klikového hřídele - 11523.0 - ČSN 411523 je ocel vyšší pevnosti a tloušťka svařovaných dílů s = 40 mm.

V přechodové oblasti svarového spoje dochází k natavení základního materiálu /svarových ploch/, který obsahuje podle ČSN 411523 větší množství uhlíku a nečistot /především síry/ než svarový kov ČSN 055030.

Také zoxidované svarové plochy vnášejí do přechodové oblasti svarového spoje mnoho nečistot.

Proto nelze vznik trhlín za tepla ve svarovém kovu ČSN 055030 ani v přechodové oblasti svarových spojů zanedbat.

b/ hodnocení náchylnosti svarových spojů klikového hřídele na vznik trhlín za studena [1]

Ve většině konstrukčních svařitelných ocelí probíhají fázové přeměny v teplotní oblasti 800÷500°C. Rychlost ochlazování tepelně ovlivněné oblasti se dá nejlépe vyjádřit časem chladnutí Δt /800÷500/ v sekundách [1].

Pro ruční obloukové svařování se hodnoty t /800÷500/ pohybují v rozmezí 1 ÷ 10 sekund. Určení informativní hodnoty Δt /800÷500/ pro konkrétní /střední/ hodnoty svařovacích parametrů při svařování klikového hřídele:

d = 4 mm ČSN 055030

v = 0,9 cm · s⁻¹

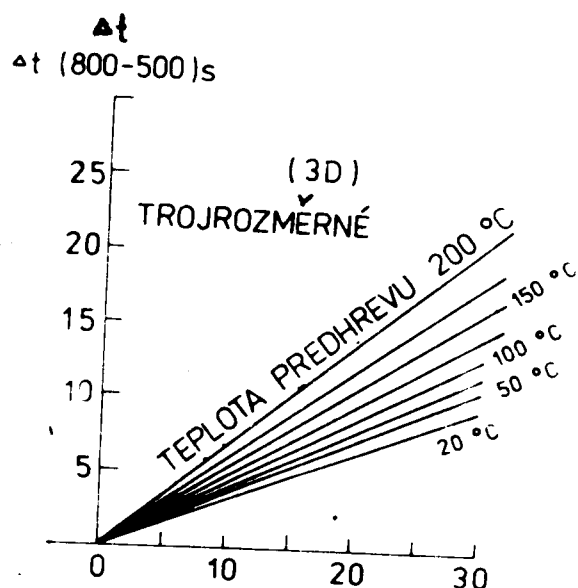
I = 160 A

s = 40 mm

E = 26,4 V

$$\text{Specifický tepelný příkon svařování } Q = \frac{q}{v} = \frac{E \cdot I}{v} = \frac{26,4 \cdot 160}{0,9} = 4\,690 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-1} = 4,69 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-1} \quad (21)$$

Z diagramů [1] pro ruční obloukové svařování, koutové svary /trojrozměrný odvod tepla/, tepelný příkon $Q = 4,69 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$ a tloušťku svařovaného materiálu $s = 40 \text{ mm}$ vychází hodnota $\Delta t / 800 \div 500 / \approx 1,8$ až $2,4$ sekundy. Snadné informativní zjištění časů chlazení $\Delta t : 800 \div 500 /$ v závislosti na technologických podmínkách obloukového svařování pro trojrozměrný odvod tepla ukazuje obr. 6 [1].



obrázek 6

Vnesené teplo / kJ · cm⁻¹/

Z hlediska difuze vodíku a tedy i náchylnosti svarových spojů na vodíkem indukované trhliny je důležitá rychlost ochlazování při 300 °C [1].

$$v_r 300^{\circ}\text{C} = / \frac{122 \text{ g}}{10^6 \text{ N}} + 0,05 /^{-2} /^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1} / \quad (22)$$

$$\text{Pro koutové svary je hodnota } N = \frac{12 \text{ s}}{25,4} = \frac{12 \cdot 40}{25,4}$$

$$N = 18,9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} v_r 300^{\circ}\text{C} &= / \frac{122 \cdot 160 \cdot 26,4}{10^6 \cdot 18,9} + 0,05 /^{-2} = / 0,0269 + 0,05 /^{-2} = \\ &= / 0,077 /^{-2} = \frac{1}{/ 0,077 /^2} = \frac{1}{5,929 \cdot 10^{-3}} = 189^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Pro určené náchylnosti svarových spojů na studené trhliny je vhodný parametr praskavosti Ps [1].

$$Ps = \log \frac{v_r}{v_1} + \frac{H}{10} + \frac{K}{5000} \quad (23)$$

v_r ... je reálná rychlost ochlazování při 300°C

v_1 ... kritická rychlost ochlazování, při níž vzniká v tepelně ovlivněné oblasti martenzitická struktura

$$\log v_1 = 3,00 - / 4,62 \text{ C} + 1,05 \text{ Mn} + 0,54 \text{ Ni} + 0,50 \text{ Cr} + 0,66 \text{ Mo} / \quad (24)$$

H množství difusního vodíku / ml/100 g / ve svar. kovu

$K = 66 \cdot \text{s} / \text{Nmm}^{-1} /$... intenzita tuhosti spoje

$$K = 66 \cdot 40 = 2\,640 \text{ N mm}^{-1}$$

$$\log v_1 = 3,00 - / 1,015 + 1,575 + 0,15 / = 0,260$$

$$v_1 = 1,82^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1} / \text{hodnoty obsahu jednotlivých prvků}$$

- dle materiálních listů ČSN 411523/

$$\frac{v_r}{v_1} = \frac{1,89}{1,82} = 104 \quad \log \frac{v_r}{v_1} = 2,017$$

$$P_s = 2,017 + \frac{H}{10} + 0,545 > 1$$

V případě, že hodnota $P_s > 1$, potom se trhliny za studena vyskytují vždy [1].

Při svařování uhlíkových ocelí s vyšším obsahem manganu Mn /0,8 až 2,5 %/ je pro posouzení náchylnosti svarových spojů klikového hřídele na vznik trhlín za studena možno použít vztah [1].

$$P_{NB} = C + \frac{Si}{20} + \frac{Mn}{10} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{30} + \frac{Mo}{20} \quad (25)$$

Trhliny vznikají při obsahu $P_{NB} > 0,25 \%$

Pro ocel 11 523 ČSN 411523 je obsah P_{NB} max:

$$P_{NB \max} = C + \frac{Si}{20} + \frac{Mn}{10} + \frac{Cr}{30} = 0,22 + \frac{0,55}{20} + \frac{1,5}{10} + \frac{0,3}{30} = 0,4075 \% > 0,25 \%$$

Z vypočtených hodnot $\log \frac{v_r}{v_1} > 1$, parametru praskavosti $P_s > 1$ a obsahu $P_{NB} > 0,25 \%$ vyplývá, že se trhliny za studena při svařování klikového hřídele / bez předehřevu/ budou vyskytovat vždy.

4.2.2.4 HODNOCENÍ SVAŘITELNOSTI POUŽÍVANÉHO ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU

Svařitelnost oceli se posuzuje [2]:

a/ podle vhodnosti oceli pro svařování, která závisí na vstupních ukazatelích svařitelnosti / chemické složení oceli, ekvivalentní obsah uhlíku, tloušťka svařované oceli, mechanické vlastnosti oceli.../

b/ podle možnosti svařování oceli / stupeň technologické náročnosti svařování/, což udávají ukazatelé technologické svařitelnosti / použitá technologie svařování, mezní tepelný příkon, předepsaná teplota a doba předehřevu, dohřevu, tepelné nebo mechanické zpracování svařového spoje/ - všeobecné podmínky svařování, které jsou potřebné pro dosažení svařového spoje požadovaných vlastností.

c/ podle účelu využití spoje ve svařenci - soubor vlastností, které se od svařového spoje požadují.

Polotovarem pro svařované díly klikového hřídele je ocel 11 523.0 ČSN 425510 / viz kapitola 3.1 /, konstrukční, jemnozrná ocel, uklidněná hliníkem. Tloušťka svařovaných dílů $s = 40$ mm.

Chemické složení oceli 11 523 / z ČSN 411523/ tabulka 3.

Tabulka 3:

C _{max}	Mn _{max}	Si _{max}	Cr _{max}	Al	P _{max}	S _{max}
0,22 %	1,5 %	0,55 %	0,3 %	stopy	0,05 %	0,05 %

Ocel určená pro svařování, jejíž svařitelnost nebyla stanovena, má mít pro svařování bez zvláštních opatření obsah uhlíku $C = 0,22 \%$ a ekvivalentní obsah uhlíku $C_e \leq 0,50 \%$, který se stanoví ze vztahu [2].

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot S \quad (26)$$

Obsah P a S se doporučuje kontrolovat s tím, že obsah každého z prvků nemá překročit $0,030 \%$, což v případě oceli 11 523 není dodrženo.

$$\begin{aligned} C_e \text{ 11 523} &= 0,22 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,05}{2} + 0,0024 \cdot 40 = \\ &= 0,22 + 0,25 + 0,06 + 0,025 + 0,096 = \end{aligned}$$

$$C_e = 0,631 \% > 0,50 \%$$

Také hodnota C_e pro ocel 11 523 je větší než maximální hodnota dovolená.

Proto u tyčí $\varnothing 40 \div 100$ mm, široké oceli tloušťky $s = 26 \div 50$ materiálu 11 523 je svařitelnost zaručená, podmíněna předehřevem $T_p = 200$ až 250°C po celou dobu svařování [2].

Pro ocel 11 523.0 není v ČSN 411523 svařitelnost stanovena. Předpokladem svařitelnosti je, že základní materiál bude před svařováním normalizačně vyžihán.

Základní materiál 11 523.0 dílů klikového hřídele se svařuje ve stavu přírodním, nežiháném. Při svařování se nedodrжуje stanovený předehřev, svařuje se za studena.

Vzhledem k tomu, že se při svařování nedodrжují podmínky svařování /předehřev po celou dobu svařování/, stanovené ze vstupních ukazatelů, základní materiál není normalizačně žihán / maximální přípustný obsah P a S podle ČSN 411523

převyšuje doporučené hodnoty [2], svarové plochy se před svařováním nečistí a svarové spoje jsou náchylné na vznik trhlin, není zatímto podmínek svařitelnost dílů klikového hřídele zaručena.

4.3 VLIV ULOŽENÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Klikový hřídel je uložen ve dvou kluzných trubkových ložiskách 1 a ve dvou kuličkových dvouřadých naklápěcích ložiskách 2 na okrajích. Schéma uložení klikového hřídele je na obrázku 7.



Obr. 7 Schéma uložení klikového hřídele

Nejvíce jsou při zatížení namáhána kluzná ložiska. Musí odolávat rázům od mechanismu přírazu tkaniny a provozního mechanismu.

Vlivem nepříznivých provozních podmínek jsou v krátké době značně opotřebovaná. Materiálem kluzných ložisek je šedá litina ČSN 422456.

Ze směrnic pro použití ložiskových materiálů kluzných ložisek ČSN 023092 vyplývá, že kluzná ložiska z šedé litiny ČSN 422456 by měla vyhovovat při těchto provozních podmínkách:

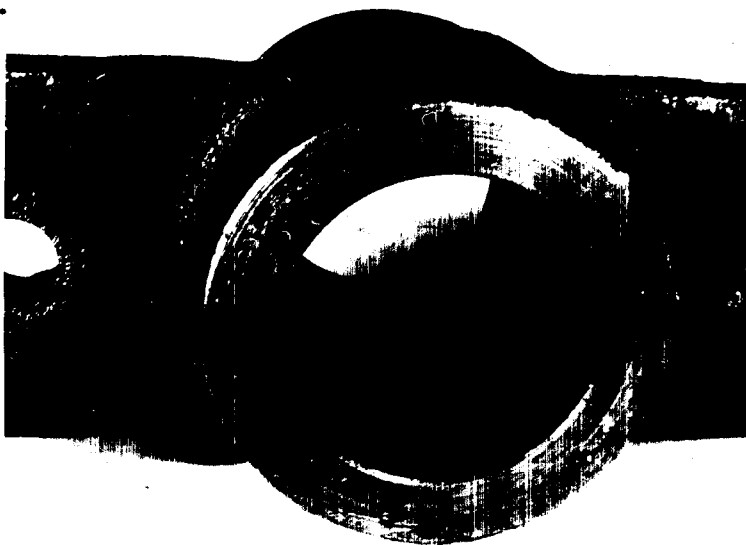
- součet drsností povrchů pouzdra a čepu má být
 $Ra < 0,5$

Maximální možné zatížení ložiskového pozdra z šedé litiny, odpovídající obvodové rychlosti čepu $v = 0,3$ a oběhovému mazání je podle diagramu [9] $p_{\max} = 2,5$ MPa, pro případ mezního tření je hodnota p podstatně nižší - poměr délky a průměru ložisek l/d je:

$$\begin{aligned} \text{a/ } l/d_1 &= 115/55 = 2,1 \\ \text{b/ } l/d_2 &= 115/50 = 2,3 \end{aligned} > 1$$

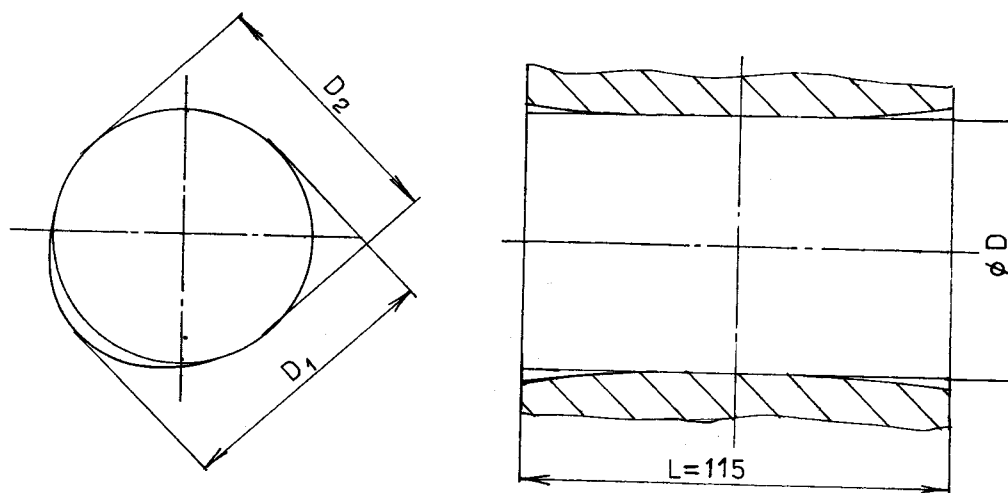
Vzhledem k častým výskytuům zadírání kluzných ložisek klikového hřídele se v provozním závodě JUTA O6 Višňová kluzná ložiska upravují z původního rozměru pouzdra $\varnothing 55$ H8 / $\varnothing 50$ H8/ na $\varnothing 55,2$ / $\varnothing 50,2$ mm. Původní předepsané uložení ložiskových hřídelů v kluzných ložiskách bylo H8/h8.

Také délka kluzných ložisek se v závodě JUTA O6 Višňová upravovala z hodnoty $l_{\text{pův.}} = 150$ mm na $l = 115$ mm. Tím vznikly na okrajích ložisek v místech označených N,S / obr. 7 / jednostranně otevřené mazací drážky, takže mazivo může z ložisek volně vytékat a neplní tak svou funkci - viz obr. 8.



Obr. 8 Otevřená mazací drážka u kluzného ložiska $\varnothing 55/$

Při měření opotřebení u dvou kluzných ložisek / $\emptyset 55, \emptyset 50$ / používaných pro uložení klikového hřídele bylo zjištěno, že opotřebení má na okrajích oválný charakter a směrem ke středu ložiska klesá na hodnotu $\emptyset D$ / obr. 9 /. Zpracované výsledky naměřených rozměrů D_1 a D_2 podle obr. 9 jsou uvedeny v tabulce 4



Obr. 9 Charakter opotřebení kluzných ložisek

Tabulka 4:

$\emptyset D / \text{mm} /$ Rozměr	$\emptyset 55,2$	$\emptyset 50,2$
$D_1 / \text{mm} /$	$55,61 \pm 0,03$	$51,10 \pm 0,02$
$D_2 / \text{mm} /$	$55,26 \pm 0,02$	$50,82 \pm 0,02$

Z naměřených hodnot vyplývá, že ložisko $\emptyset 50,2$ mm, které je více opotřeбенé a má vydrčené okraje, sloužilo v uložení klikového hřídele podstatně déle než ložisko $\emptyset 55,2$ mm.

Opotřebení ložisek se tedy nekontrolovalo a klikové hřídele mohly být montovány do opotřeбенých ložisek.

Opotřebení okrajů ložisek je značné, na kluzné ploše jsou zřetelné rýhy a stopy po zadírání, jak ukazuje obr. 10.



Obr. 10 Opotřebení kluzných ložisek

4.4 VLIV MONTÁŽE KLIKOVÉHO HŘÍDELE DO TKACÍHO STAVU

Montáž klikového hřídele do tkacího stavu je obtížná, jak vzhledem k hmotnosti, tak i k délce klikového hřídele. Při usazování hřídele do ložisek se hřídel vlastní vahou prohne. Protože se souosost uložení hřídele při montáži nekontroluje, může se utažením šroubů při upevňování ložisek k rámu tkacího stavu vnést do klikového hřídele značné předpětí. V případě, že se při montáži nekontroluje opotřebení kluzných ložisek a klikový hřídel je zabudován do opotřeбенých ložisek, bude namáhání klikového hřídele podstatně větší /viz kapitola 4.6.1/.

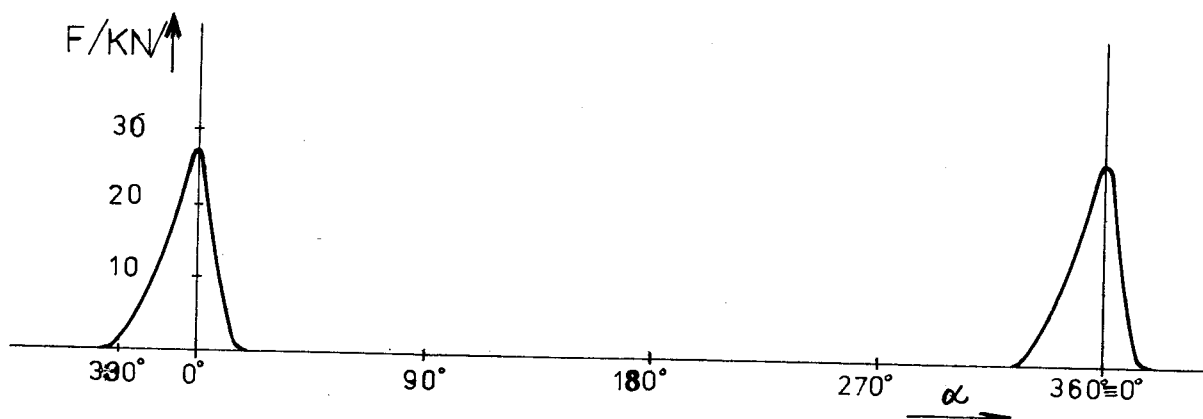
4.5 ZATÍŽENÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Klikový hřídel, jako hlavní element rozvodu energie u přímého pohonu tkacího stavu a jako součást přírazového mechanismu je zatížen časově proměnlivými silami a kroutícími momenty.

Při normálním provozu tkacího stavu není úhlová rychlost klikového hřídele konstantní. Pokles rychlosti je způsoben náhlým odběrem energie pro prohoz člunku a pro rozběh mechanismu k přírazu útku. Naopak při doběhu parprsku do druhé krajní polohy předává mechanismus přírazu svoji pohybovou energii klikovému hřídeli, a tím se úhlová rychlost zvyšuje. Celková nerovnoměrnost chodu klikového hřídele je přibližně 8%.

Klikový hřídel je uložen staticky neurčitě ve čtyřech ložiskách /viz obr. 7, kapitola 4.3/. Je zatěžován rázovými silami od mechanismu přírazu a časově proměnlivým kroutícím momentem, který je dán superponováním /sečtením/ všech působících momentů od jednotlivých mechanismů tkacího stavu.

Pro oblast výskytu lomů klikového hřídele, v místech A, B a C - nejčastěji na straně náhonu /viz příloha 1/, je nejnejpříznivější zatížení v krajní přírazové poloze čtyřkloubového mechanismu přírazu. Jde o opakované rázy při maximální hodnotě přírazové síly $F_{p \max} = 27\ 000\ \text{N}$. Průběh přírazové síly [11], [12] je zobrazen na obr. 11. Přírazová síla začíná přibližně 30° před krajní přírazovou polohou strmě vzrůstat. Po dosažení maximální hodnoty opět prudce klesá.



Obr. 11 Průběh přírazové síly F_p v závislosti na úhlu pootočení α klikového hřídele

4.5.1 KINETOSTATICKÉ ŘEŠENÍ ČTYŘKLOUBOVÉHO PŘÍRAZOVÉHO MECHANISMU

Vyšetřování čtyřkloubového přírazového mechanismu kinetostatickou metodou podle literatury [12] bylo provedeno pro 12 poloh mechanismu. Vzhledem k tomu, že počátek působení přírazové síly je přibližně v poloze $11/30^\circ$ před krajní přírazovou polohou $12 \equiv 0/$ je mezi polohami 11 a 12 vyšetření podrobnější. Řešení je znázorněno na obr. 12.

hmotnost bidlenu /4/

$$m_b = 140 \text{ kg}$$

moment setrvačnosti bidlenu

$$I_{ob} = 74 \text{ kg m}^2$$

otáčky klikového hřídele

$$n_k = 100 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

poloměr kliky

$$r_k = 78 \text{ mm}$$

$$\text{úhlová rychlost } \omega_k = \frac{\pi \cdot n_k}{30} = \frac{\pi \cdot 100}{30} = 10,5 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_{21} = \omega_k = 10,5 \text{ s}^{-1}$$

$$d = \overline{O_A O_B} = 0,77 \text{ m}$$

$$\omega_{41} = \frac{x}{x+d} \cdot \omega_{21} \quad x = \overline{P_{42} O_A} \quad (27)$$

$$\omega_{41} = \mu \cdot \omega_{21} \quad \mu = \frac{x}{x+d} \quad (28)$$

ÚHLOVÉ ZRYCHLENÍ BIDLENU:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{41} &= \omega_{21}^2 \cdot x / \frac{1}{x+d} - \frac{x}{(x+d)^2} / \cdot \cotg \psi \\ \varepsilon_{41} &= \omega_{21} \cdot \mu / 1 - \mu / \cdot \cotg \psi \end{aligned} \quad (29)$$

Setrvačné síly v bidlenu :

$$\text{Tečná dynamická síla } T_D = m_b \cdot \overline{O_B S_4} \cdot \varepsilon_{41} \quad /N/ \quad (30)$$

$$\text{Odstředivá síla } O = m_b \cdot \overline{O_B S_4} \cdot \omega_{21}^2 \quad /N/ \quad (31)$$

$$G = m_b \cdot g = 1400 \text{ N} \quad (32)$$

Síly přenášené ojnicemi na klikový hřídel :

$$A_{TD} = T_D \cdot \frac{\overline{O_B S_P}}{R_4} \cdot \cos \beta \quad /N/ \quad (33)$$

$$A_{FP} = F_P \cdot \frac{\overline{O_B S}}{R_4} \cdot \cos \beta \quad /N/ \quad (34)$$

Základní rozměry přírazového mechanismu / $\overline{O_A O_B}$, $\overline{O_B S_4}$, $\overline{O_B S}$, R_4 , H , r_k , l / byly zjištěny z výkresové dokumentace tkacího stavu JLK 3500.

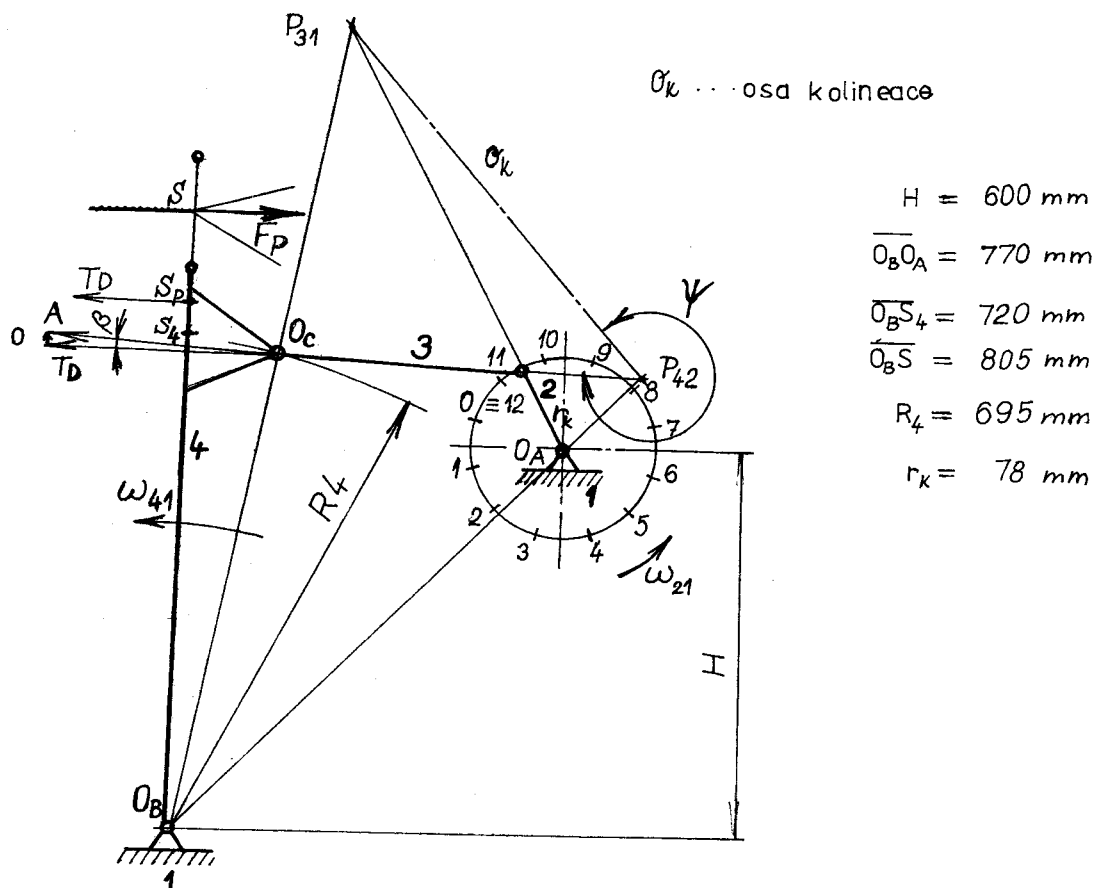
$$\text{vzdálenost } \overline{O_B S_P} = p = \frac{I_{ob}}{m_b \cdot \overline{O_B S_4}} = \frac{74}{140 \cdot 0,72} = 0,735 \text{ m}$$

Rozklad sil $\vec{A}_k = \vec{T}_k + \vec{R}_k$ na klikovém hřídeli
byl proveden graficky. (35)

Kroutící moment na klikovém hřídeli:

$$M_k = T_k \cdot r_k \quad /N.m/ \quad (36)$$

Průběh M_k v závislosti na úhlu pootočení kliky α je uveden v diagramu na obr. 13. Kinetostatické řešení přírazového mechanismu bylo provedeno graficky v měřítku M 1:5. Průběh a výsledky řešení mechanismu v závislosti na úhlu pootočení kliky α jsou uvedeny v tabulce 5.



Obr. 12 Kinetostatické řešení přírazového mechanismu

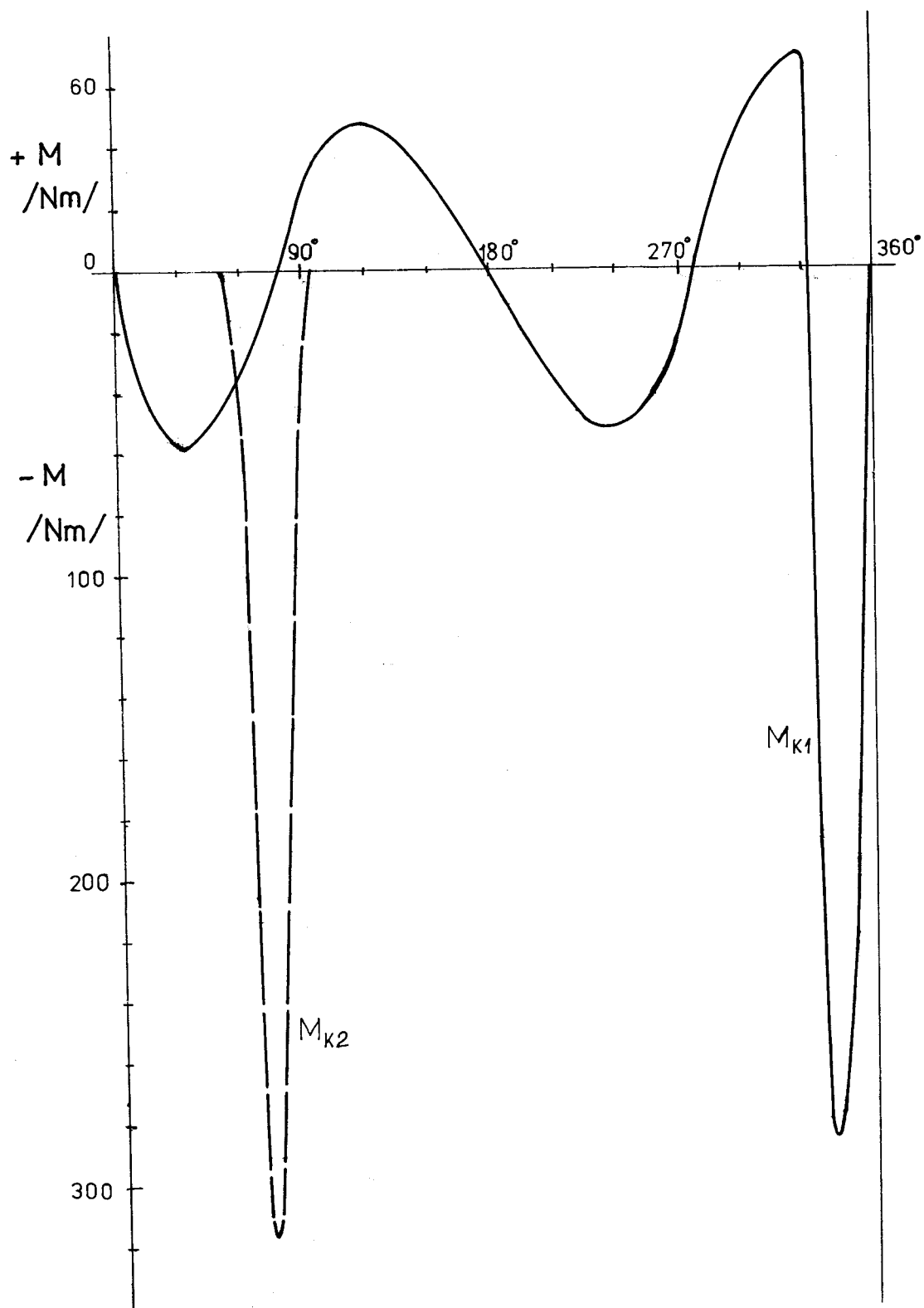
Tabulka 5: Výsledky kinetostatického řešení pro 12 poloh
přírazového mechanismu

P_{0L}	α /°/	β /°/	γ /°/	X /mm/	ω	ω_{41} /s ⁻¹ /	ε_{41} /s ⁻² /	T_D /N/	A_{TD} /N/
0	0	11,2	0,0	0,0	0,00	0,00	-22,0	-1650	-1740
1	30	18,5	34,5	-50,0	-0,070	-0,74	-12,2	-1230	-1186
2	60	19,8	72,5	-74,0	-0,012	-1,12	-4,3	-432	-435
3	90	18,6	283,5	-75,0	-0,110	-1,14	3,2	324	330
4	120	13,6	307,5	-60,0	-0,080	-0,89	7,9	794	826
5	150	6,4	330,0	-33,5	-0,050	-0,48	9,2	930	990
6	180	0,9	359,0	-1,5	-0,002	-0,02	13,9	1402	1500
7	210	8,2	27,0	39,0	0,050	0,51	10,7	1075	1138
8	240	10,2	47,5	75,0	0,090	0,94	8,3	835	880
9	270	8,9	25,70	102,0	0,120	1,24	2,7	270	285
10	300	3,6	269,0	97,0	0,112	1,18	-5,6	559	-597
11	330	4,5	331,0	57,0	0,070	0,73	-13,1	-1324	-1412
$11\frac{1}{4}$	337,5	6,3	339,0	44,0	0,054	0,57	-14,9	-1502	-1598
$11\frac{1}{2}$	345	8,1	347,0	27,5	0,035	0,37	-16,0	-1614	-1700
$11\frac{3}{4}$	352,5	10,4	354,0	12,5	0,016	0,17	-18,9	-1635	-1720
12	360	11,2	359,5	1,0	0,001	0,01	-22,0	-1650	-1740

Tabulka 6: Přehled zatížení klikového hřídele od přírazového mechanismu v závislosti na úhlu pootočení α .

α /°/	A_{TD} /N/	A_{Fp} /N/	A_K /N/	R_K /N/	T_K /N/	M_K /Nm/
0	-1740	27000	25260	25260	0	0
30	-1186	0	- 1186	- 940	- 725	- 56,6
60	- 435	0	- 435	- 130	- 415	- 32,4
90	330	0	330	- 80	320	25,3
120	826	0	826	- 540	620	48,4
150	990	0	990	- 1000	400	31,5
180	1500	0	1500	- 1500	0	0
210	1138	0	1138	- 1060	- 434	- 34,5
240	880	0	880	- 595	- 650	- 50,7
270	285	0	285	- 70	- 275	- 21,5
300	- 597	0	- 597	- 190	570	44,6
330	-1412	0	-1412	- 1130	830	65,0
337,5	-1598	6980	5382	4370	-2360	- 184,0
345	-1700	13650	11950	10920	-3660	- 283,8
352,5	-1720	20150	18430	17950	-2900	- 226,0
360	-1740	27000	25260	25260	0	0

Maximální dynamická síla od setrvačných účinků bidlenu $/A_{TD}/$ je, v porovnání se silou od přírazu tkaniny $/A_{Fp}^{max}/$ přibližně o řád menší, což je obvyklé, jako u jiných tkacích stavů [12].



Obr. 13 Průběhy kroutících momentů na klikovém hřídeli
v závislosti na úhlu pootočení α

4.6 ÚNAVOVÁ PEVNOST KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Při vysvětlování vzniku únavového lomu je třeba chápat materiál jako nehomogenní celek, jehož struktura je tvořena z krystalických zrn nepravidelných tvarů, případně je narušena nepravidelně rozptýlenými nečistotami a prostoupena dislokacemi nebo jinými poruchami krystalické mřížky. Napětí se nepřenáší všemi zrny rovnoměrně. Je-li překročena lokální mez kluzu více namáhaného zrna nebo skupiny zrn, dojde při střídavě působícím napětí ke střídavému přesouvání dislokací podél kluzných rovin. Tím se změní mechanické vlastnosti zrna za současného poklesu deformační schopnosti. Není-li zrno schopno podstoupit vynucené deformaci, vznikne v něm mikroskopická trhлина a napjatost v sousedních zrnech se změní. Při nepříznivém namáhání se děj opakuje a trhлина se začne šířit, a to kolmo ke směru největších hlavních napětí. Počátek trhliny je obvykle na povrchu, v kořeni vrubu nebo defektu. Dosáhne-li trhлина makroskopické velikosti, je její šíření již velmi rychlé. [8]

Maximální jmenovité napětí cyklu, při kterém ještě nevzniká únavový lom ani při nekonečném počtu cyklů se nazývá mez únavy.

Velikost meze únavy klikového hřídele ovlivňuje mnoho činitelů:

- způsob namáhání a velikost amplitud napětí
- mechanické vlastnosti použitého materiálu 11523.0
- náhlé změny tvaru a průřezu klikového hřídele
- přítomnost konstrukčních a technologických vrubů
- druh a umístění spojů jednotlivých dílů
- jakost povrchu dílů
- přítomnost vlastních pnutí

Konstrukční vruby /náhlá změna tvaru a průřezu, nalisované spoje/ a technologické vruby /případné defekty ve svarových spojích, nedostatečná jakost povrchu dílů /způsobují koncentraci napětí, která vytváří podmínky pro vznik únavových trhlin.

Mez únavy hřídele s nalisovanou částí se snižuje na jednu polovinu až jednu třetinu původní hodnoty, v ojedinělých případech i více. [7] Mez únavy svarových spojů závisí na jakosti svaru, jeho umístění, na svařovaném materiálu, svarovém kovu a použité technologii. Vyšší mez únavy mají svary stykové, dobře provařené a obrobené, než svary koutové a neobrobené [2].

Přítomnost tlakových vlastních pnutí působí příznivě, tahová vlastní pnutí mez únavy snižují [7].

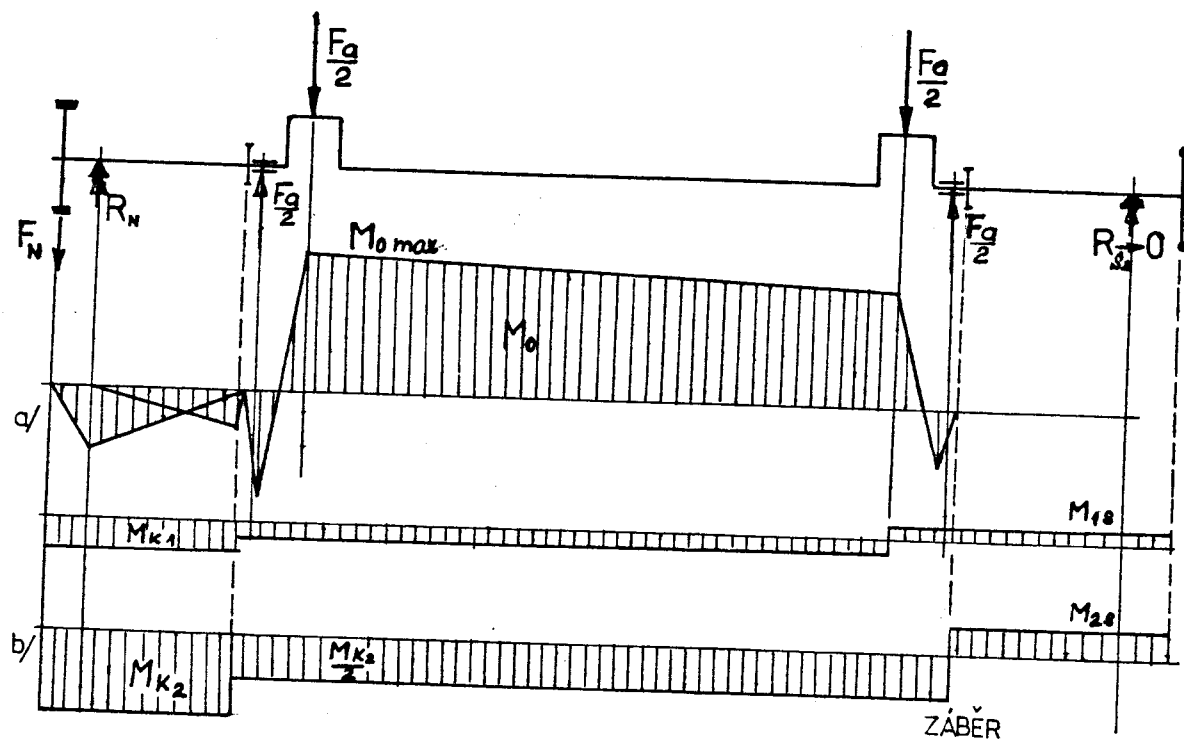
4.6.1 NAMÁHÁNÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

Klikový hřídel je při normálním provozu tkacího stavu namáhán míjivým ohybem a střídavým nesouměrným krutem. Amplitudy momentů M_o a M_k , způsobené rázem od přírazového mechanismu v krajní přírazové poloze jsou fázově posunuty o hodnotu $\alpha = 15^\circ$. Amplituda M_k , způsobená rázem od prohozního mechanismu je fázově posunuta za krajní přírazovou polohou hřídele o hodnotu $\alpha = 80^\circ$. /Viz obr. 13, kapitola 4.5/

Klikový hřídel je uložen staticky neurčitě ve čtyřech ložiskách. Teoretické řešení /Maxwellovou poučkou, třímomentovou větou, Castiliánovou větou apod./ předpokládá nepoddajné podpory a bodový styk v opěrných místech. Jelikož rám stroje vykazuje jistou poddajnost a podpory nejsou bodové, nesplňují se tím nutné předpoklady pro teoretické řešení. Proto se staticky neurčitě uložené klikové hřídele řeší jako řada nosníků staticky určitých, každé pole o dvou podporách se počítá samostatně.

Mimoto se hřídel nekontroluje v každém poli, ale jen v oblasti největších ohybových a kroutících momentů, pro případ nejnepříznivějšího namáhání. [10]

Namáhání klikového hřídele v rovině krajní přírazové polohy a při záběru prohozního mechanismu znázorňuje obr.14a,b.



Obr. 14 Namáhání klikového hřídele v rovině krajní přírazové polohy 12 /a/ a při záběru prohozního mechanismu /b/.

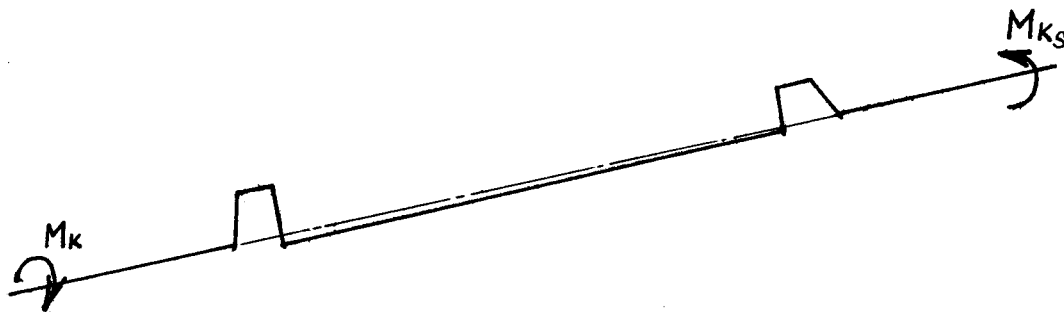
Vzhledem k tomu, že tuhost v krutu dlouhého dvakrát založeného klikového hřídele je malá, bude mít klika K_2 snahu se v době přírazu tkaniny fázově zpožďovat za klikou K_1 . V krajní přírazové poloze bude tedy nejvíce namáhanou částí klika K_1 /strana náhonu/, která bude přenášet větší část přírazové síly.

NAMÁHÁNÍ KLIKOVÉHO HŘÍDELE PŘI NÁHLÉM ZASTAVENÍ TKACÍHO STAVU

Široký tkací stav JLK 3500 má přímý pohon se spojkou a brzdou v elektromotoru. Přímý pohon je schematicky znázorněn na obr. 2, kapitola 1. Poháněná klínová řemenice 7, sloužící jako setrvačnick, je spojena s diskem pojistné třecí spojky, naklínovaném na klikovém hřídeli. Na rozdíl od uspořádání přímého pohonu, uváděného v literatuře [12] /brzda je umístěna na bubnu spojeném s diskem třecí spojky a klínová řemenice - setrvačnick - může při brždění proklouznout/ je uspořádání vazby - brzda + třecí spojka - klínová řemenice na tkacím stavu JLK 3500 zcela opačné: brzda + klínová řemenice /setrvačnick/ - pojistná třecí spojka /viz kapitola 1/.

Při jednostranném brždění proklouzne disk třecí spojky až po překročení třecího momentu spojky M_T účinkem ostatních volně rotujících hmot /setrvačnicku na straně S a ozubených kol K9/. Velikost momentu závisí na seřízení předpětí pružin pojistné třecí spojky.

V důsledku malé tuhosti v krutu dlouhého klikového hřídele bude při jednostranném brždění docházet k deformaci klikového hřídele a jeho namáhání kroutícím momentem M_{Ks} , jak to obrazně znázorňuje obr. 15.



Obr. 15 Namáhání a deformace klikového hřídele při jednostranném brždění

Kinetická energie volně rotujících hmot:

$$W = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (37)$$

- hmotný moment setrvačnosti setrvačníku S na klikovém hřídeli

$$I_S = m_S \cdot i_S^2 = 38 \cdot 0,18^2 = 1,23 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- hmotný moment setrvačnosti ozubeného kola K9, (38)
redukovaný na klikový hřídel :

$$I_{K9} = m_{K9} \cdot i_{K9}^2 \cdot p_{89}^2 \quad \text{převod kol } p_{89} = 1:2 \quad (39)$$

$$I_{K9} = 60 \cdot 0,2^2 \cdot \frac{1}{4} = 0,6 \text{ kgm}^2 \text{ /viz kapitola 1/}$$

- hmotný moment setrvačnosti klikového hřídele se může zanedbat

Při jednostranném brždění a velkém předpětí pružin pojistné třecí spojky může nastat krajní případ, že se veškerá uvolněná kinetická energie = napjatosti U [8].

$$W = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{M_K^2 \cdot l}{2G J_P} = U \quad (40)$$

$$W_S = \frac{1}{2} I_S \omega_S^2 = \frac{1}{2} I_S \cdot \left/ \frac{\pi \cdot n}{30} \right/ ^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,23 \cdot \left/ \frac{\pi \cdot 100}{30} \right/ ^2$$

$$= 64,4 \text{ J}$$

$$W_{K9} = \frac{1}{2} I_{red_{K9}} \cdot \omega_S^2 = \frac{0,6 \cdot 104,76}{2} = 31,5 \text{ J}$$

Uvolněná kinetická energie W vyvolá v nejvíce namáhaném článku klikového hřídele - tj. v ojnicím čepu / $\varnothing$ 50/ napětí

$$\tau_k = \sqrt{\frac{U_s \cdot 2G \cdot J_k}{l_1 \cdot W_k^2}} + \sqrt{\frac{U_{kg} \cdot 2G \cdot J_k}{l_2 \cdot W_k^2}} \quad (41)$$

Hodnoty W_k a J_p ojnicího čepu: $W_k = 24,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

$$J_k = 60,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$G = 0,8 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} \tau_k &= \sqrt{\frac{64,4 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{11} \cdot 60,5 \cdot 10^{-8}}{4,9 \cdot 584 \cdot 10^{-12}}} + \\ &+ \sqrt{\frac{31,5 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{11} \cdot 60,5 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 584 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt{2180 \cdot 10^{12}} + \\ &+ \sqrt{1310 \cdot 10^{12}} = 46,8 + 36,2 = 83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Při namáhání klikového hřídele opakovanými rázy se zmenšuje základní časovaná pevnost v únavě, ale mez únavy se téměř nemění. V konstrukci hřídele však vzniká odraz a interference napěťových vln, jejichž velikost a šíření nejde jednoduchou teorií vystihnout. Ani měření tenzotermickými snímači není jednoduché, neboť je třeba zachytit velmi krátkodobé děje [2]. Vzhledem k nízkým otáčkám klikového hřídele je možno vliv rázů vyjádřit součinitelem $\varphi = 1,5$. Průběh rázového namáhání klikového hřídele je znázorněn na obr. 13, kapitola 4.5.

Vlivem rázů a nadměrných vůlí v opotřebovaných ložiskách bude docházet k velmi složitému ohybovému a torsnímu kmitání klikového hřídele. V takovém případě by se mělo volit dovolené namáhání přibližně třikrát menší než při stejném namáhání bez rázů [9].

Namáhání střední části klikového hřídele v krajní přírazové poloze při uložení v opotřeбенých ložiskách je znázorněno na obrázku 16. Zvýšené namáhání klikového hřídele bude i v případě náhlého zastavení nebo rozběhu stroje.

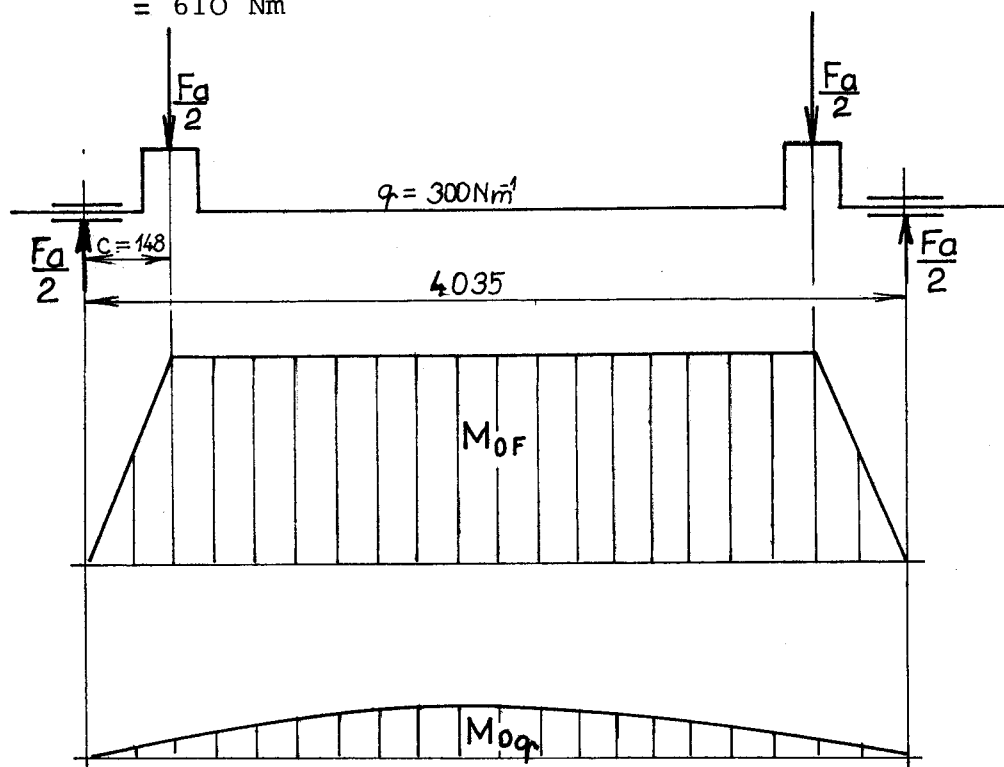
Maximální amplituda rázu: $F_a = \varphi \cdot R_K \max$

$$F_a = 1,5 \cdot 25260 = 38000 \text{ N} \quad (42)$$

$$M_{oF \max} = \frac{F_a}{2} \cdot c = 19000 \cdot 0,148 = 2810 \text{ Nm} \quad (43)$$

$$M_k \rightarrow 0$$

$$M_{oG \max} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \cdot 300 \cdot 4,035^2 = \frac{1}{8} \cdot 300 \cdot 16,215 = 610 \text{ Nm} \quad (44)$$



Obr. 16 Namáhání střední části klikového hřídele v krajní přírazové poloze. /momenty M_{oF} a M_{oq} jsou sčítány graficky/.

4.6.2 PEVNOSTNÍ KONTROLA KLIKY

Základní mechanické hodnoty materiálu 11523.0 [6],[9]

$$\sigma_p = 520 \text{ MPa}$$

$$\sigma_k = 340 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{co} = 0,4 \sigma_p = 208 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = 0,34 \sigma_p = 177 \text{ MPa}$$

$$\tau_c = 0,25 \sigma_p = 130 \text{ MPa}$$

Kontrola ojnicního čepu 3

a/ kontrola v průřezu A-

$$d = 50 \text{ mm}$$

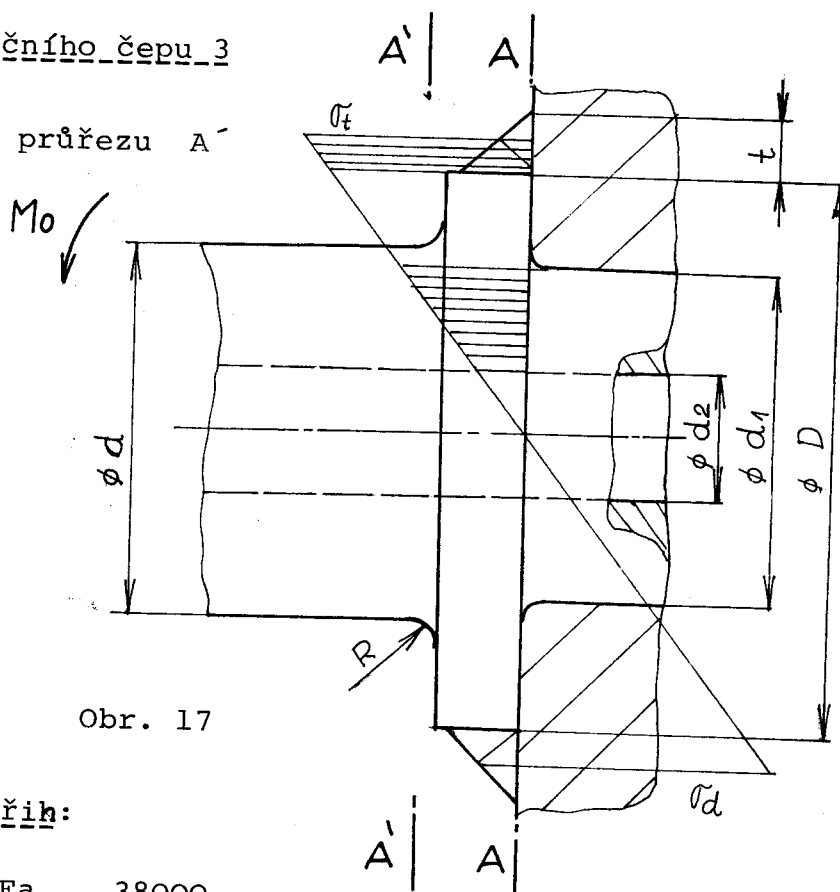
$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

$$d_2 = 17 \text{ mm}$$

$$D = 70 \text{ mm}$$

$$R = 3 \text{ mm}$$

$$t_{sv} = 8 \text{ mm}$$



Obr. 17

kontrola na střih:

$$\tau = \frac{\frac{F_a}{2}}{2S} = \frac{F_a}{4S} = \frac{38000}{4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,05^2 - 0,017^2)} = 5,55 \text{ MPa}$$

kontrola na únavu: / v krajní přírazové poloze/

$$\sigma_o = \frac{M_o \max}{W_o} = \frac{M_o \max}{\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d^4 - d_2^4}{d}} = \frac{2,845 \cdot 3,2 \cdot 5}{\pi \cdot 6,1665} \cdot 10^8 = 235 \text{ MPa}$$

$$M_o \max = 2\,845 \text{ Nm}$$

$$M_K = 0$$

ν_r ... součinitel velikosti součásti

η ... součinitel jakosti povrchu součásti

β ... vrubový součinitel

Hodnoty ν_r , η , β určeny podle diagramů v literatuře [6].

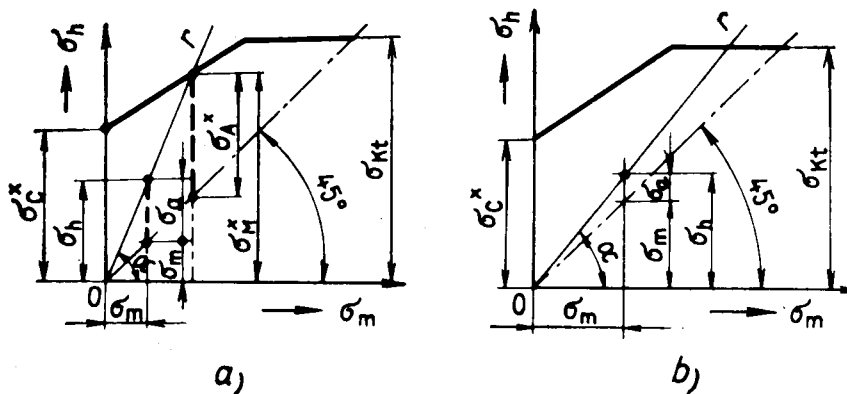
$$\sigma_{Co}^* = \sigma_{Co} \cdot \frac{\nu_r \cdot \eta}{\beta} \quad (45)$$

$$\nu_r = 0,92 \quad \sigma_{Co}^* = 208 \cdot \frac{0,92 \cdot 0,95}{1,641}$$

$$\eta = 0,95$$

$$\beta = 1,641 \quad \sigma_{Co}^* = 110,5 \text{ MPa}$$

Pro mívivý cyklus $r=0$ a $\sigma_{Co}^* = 110,5 \text{ MPa}$ bude podle Smithova diagramu oceli o pevnosti 520 MPa $\sigma_H^* = 190 \text{ MPa}$ /obr. 18, obr. 19./



Obr. 18 Kontrola součinitele bezpečnosti podle Smithova diagramu

$$a/ k = \frac{\tilde{\sigma}_A^*}{\tilde{\sigma}_a} = \frac{\tilde{\sigma}_H^*}{\tilde{\sigma}_h} \quad b/ k = \frac{\tilde{\sigma}_{kt}}{\tilde{\sigma}_h}$$

Pro dynamicky namáhané součásti nemá být hodnota součinitele bezpečnosti $k < 1,5$.

$$k_{\tau} = \frac{\tilde{\sigma}_H^*}{\tilde{\sigma}_0} = \frac{190}{235} = 0,81$$

$$k_r = 0,81 < 1,5$$

Kontrola na opakovaný krut: /při zastavení tkacího stavu/

$$\begin{aligned} \tau_k &= 83 \text{ MPa} & \tau_c^* &= \tau_c \cdot \frac{\sqrt{\tau} \cdot \eta_k}{\beta_k} & (46) \\ \sqrt{\tau} &= 0,9 \\ \eta_k &= 0,975 & \tau_c^* &= 130 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,975}{1,412} = 80,7 \text{ MPa} \\ \beta_k &= 1,412 \end{aligned}$$

Pro míjivý cyklus je $\tau_M^* = 135 \text{ MPa}$

$$\text{bezpečnost } k_{\tau} = \frac{\tau_M^*}{\tau_k} = \frac{135}{83} = 1,63$$

$$k_{\tau} = 1,63 > 1,5$$

b/ kontrola v průřezu A /v krajní přírazové poloze/

$$M_{O \text{ max}} = 2 \ 845 \text{ Nm}$$

$$M_K = 0$$

Pro složený průřez platí:

$$D_{sv} = d + 2 \cdot 0,7 \text{ t} \quad J_C = \frac{\pi}{64} \cdot \left[\frac{D_{sv}^4}{4} - \frac{d^4}{4} + \frac{d_1^4}{4} - \frac{d_2^4}{4} \right] \quad (47)$$

$$D_{sv} = 81,2 \text{ mm}$$

$$e = \frac{D_{sv}}{2} = 40,6 \text{ mm}$$

$$J_c = \frac{\pi}{64} / 8,12^4 - 7,0^4 + 4,5^4 - 1,7^4 / \cdot 10^{-8} = \frac{\pi}{64} \cdot 2348,055$$

$$\cdot 10^{-8} = 115,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{oc} = \frac{J_c}{e} = \frac{115,2 \cdot 10^{-8}}{4,06 \cdot 10^{-2}} = 28,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (48)$$

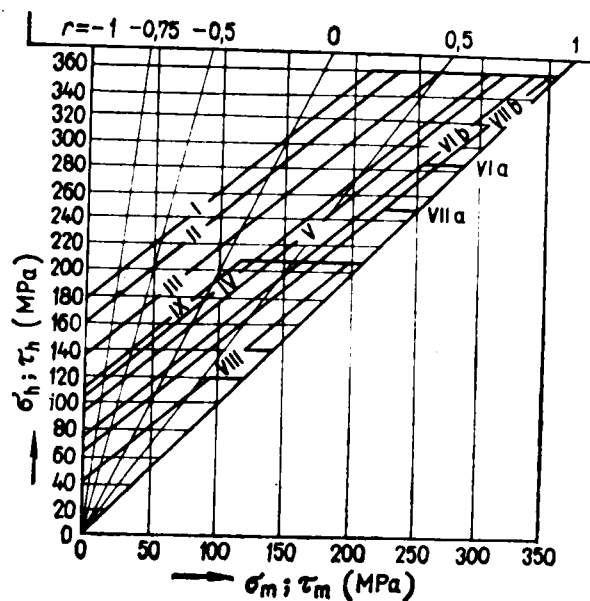
$$\tilde{\sigma}_0 \doteq \tau_{\perp sv} = \frac{M_o \max}{W_{oc}} = \frac{2845}{28,37} \cdot 10^6 = 100,4 \text{ MPa}$$

Maximální napětí $\tilde{\sigma}_0$ bude v nosném průřezu svaru. Bezpečnost svarů k_σ se bude kontrolovat podle ČSN 050120. Pro průřez svaru C, křivka VIII ar = 0 je podle Smithova diagramu pro ocel pevnosti 520 MPa/obr. 19/ $\tau_A^{VIII} = 72 \text{ MPa}$.

$$n_{sr} = \frac{\tau_A^{VIII}}{\tau_{\perp sv}} = \frac{72}{100,4} = 0,716 < 1,5 \quad (49)$$

$$\tau_{sv} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau_{\perp}}}\right)^2} = \left(\frac{100,4}{0,75}\right) = 133,2 > \beta \cdot \frac{\sigma_{kt}}{n} = 1,06 \cdot \frac{340}{3} = 120 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{\tau_{\perp}} &= 0,75 \quad \dots \text{převodní součinitel svaru} \\ \beta &= 1,06 \quad \dots \text{součinitel tloušťky koutového svaru} \\ n &= 3 \end{aligned} \quad (50)$$



Obr. 19 Smithův diagram oceli o pevnosti 520 MPa

Bezpečnost/k/průřezu A po destrukci svarového spoje

$$k = \frac{\sigma_H}{\sigma_o'}$$

$$\sigma_o' = \frac{M_o \max}{W_o} = \frac{2 \cdot 845 \cdot 32 \cdot 4,5 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 401,65 \cdot 10^{-8}} = 324 \text{ MPa}$$

$$\nu_r = 0,94$$

$$\eta = 0,95$$

$$\beta = 1,581$$

$$\sigma_{co}^* = 208 \cdot \frac{0,95 \cdot 0,94}{1,581} \cdot 0,5 = 62 \text{ MPa}$$

vliv nalisovaného
spoje 0,5

$$\sigma_H = 108 \text{ /ze Smithova diagramu/}$$

$$\text{bezpečnost } k = \frac{\sigma_H}{\sigma_o'} = \frac{108}{324} = 0,334$$

$$k = 0,334$$

Ojniční čep i spoj v místě A jsou pevnostně nevyhovující.
b/ kontrola spoje kliky v průřezu B /viz příloha 1/

$$M_o \max = 2 \cdot 845 \text{ Nm}$$

$$D_{sv} = 104,2 \text{ mm}$$

$$d = 93 \text{ mm}$$

$$e = 52,1 \text{ mm}$$

$$t_{sv} = 8 \text{ mm}$$

$$D_{sv} = d + 2 \cdot 0,7 t_{sv} \quad (51)$$

$$D_{sv} = 104,2 \text{ mm}$$

$$J_c = \frac{\pi}{64} / D_{sv}^4 - d^4 + d_l^4 / = \quad (52)$$

$$J_c = \frac{\pi}{64} / 4 \cdot 718,375 \cdot 10^{-8} / =$$

$$J_c = 231,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_{oc} = \frac{J_c}{e} = 44,43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o \max}{W_{oc}} = \frac{2 \cdot 845}{44,43} \cdot 10^6 = 64,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o \doteq \tau_{sv}$$

Podle Smithova diagramu /obr. 19/ pro skupinu zatížení VIII, $r = 0$ a průřez svaru C je

$$\tau_A^{VIII} = 72 \text{ MPa}$$

$$n_{sv} = \frac{\tau_A^{VIII}}{\tau_{\perp sv}} = \frac{72}{64,4} = 1,12$$

$n_{sv} = 1,12 < 1,5$ Spoj je nevyhovující

c/ kontrola ramene kliky v průřezu C /viz příloha 1/

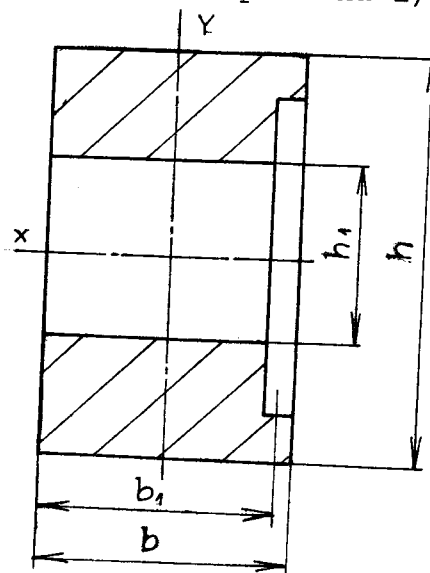
$$M_{O \text{ max}} = 2 \ 845 \text{ Nm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$b_1 = 38 \text{ mm}$$

$$h = 110 \text{ mm}$$

$$h_1 = 45 \text{ mm}$$



Obr. 20

$$J_Y = \frac{b_1^3 h}{12} - \frac{b_1^3 h_1}{12} = \frac{b_1^3}{12} / h - h_1 / \quad (53)$$

$$W_{Oy} = \frac{b_1^3 / h - h_1 /}{12 \cdot \frac{b_1}{2}} = \frac{b_1^2}{6} / h - h_1 / = \quad (54)$$

$$= \frac{14,4 \cdot 10^{-4}}{6} / 0,11 - 0,045 / = \frac{14,4}{6} \cdot 0,065 \cdot 10^{-4} =$$

$$W_{Oy} = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_{O \text{ max}}}{W_{Oy}} = \frac{2 \ 845}{15,6} \cdot 10^6 = 182,5 \text{ MPa}$$

Přičte-li se k σ_0 tečné napětí v rameni σ_t /viz kapitola 4.1.1/, pak napětí v krajních vláknech může dosáhnout hodnoty

$$\sigma'_0 = \sigma_0 + \sigma_{tmin} = 182,5 + 180 = 362,5 \text{ MPa} \quad (55)$$

$$\sigma_{co}^* = 208 \cdot \frac{0,88 \cdot 0,95}{1,8} = 96,5 \text{ MPa}$$

$\nu_r = 0,95$ Ze Smithova diagramu / obr. 19/
 $\eta = 0,88$ pro $r = 0$ a $\sigma_{co}^* = 96,5$ je $\sigma_H^* = 162 \text{ MPa}$
 $\beta = 1,8$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_H^*}{\sigma_0} = \frac{162}{182,5} = 0,79 < 1,5$$

$$k = \frac{\sigma_H^*}{\sigma'_0} = \frac{162}{362,5} = 0,444$$

Ramena kliky jsou v průřezu C pevnostně nevyhovující.

Z pevnostní kontroly vyplývá, že svarové spoje i díly kliky jsou v označených průřezích A, A', B, C nevyhovující, což také dokazují lomy v těchto místech / viz kapitola 4.8/. Z výsledků pevnostní kontroly dále vyplývá, že se pevnost spojů a částí klikového hřídele v průřezích označených A, A' a C nachází při maximální hodnotě přírazové síly v oblasti nízkocyklové únavy, kde počet cyklů do lomu je 10^2 až 10^4 [2]. V provozu klikového hřídele se vyskytují ojedinělé případy, kdy k havárii klikového hřídele dojde za několik hodin provozu. Protože většina tkacích stavů JLK 3500 při normálním provozu nepracuje při maximálních hodnotách přírazové síly, bude se pevnost označených míst a spojů nacházet v oblasti vysokocyklové únavy /počet cyklů do porušení $n > 1 \cdot 10^5$ /.

4.6.3 ÚNAVOVÉ PROCESY A KŘEHKÝ LOM SVAROVÝCH SPOJŮ

Procesy probíhající při únavě svarových spojů lze rozdělit do tří stádií, která se odlišují svou podstatou [2]:

- a/ V prvním stádiu se mění mechanické vlastnosti v celém objemu při amplitudě napětí vyšší než mez pružnosti σ_E , ležící pod mezí únavy σ_C .
- b/ Ve druhém stádiu dochází na povrchu k lokalizované plastické deformaci v mikroobjemech za současné nukleace mikroskopických poruch soudržnosti.
- c/ Ve třetím stádiu se šíří únavové trhliny. Plastická deformace je omezena na mikroplastickou zónu před čelem trhliny, jejíž vlastnosti ovlivňují šíření nebo zastavení růstu únavové trhliny.

Důležitá je nukleace únavových trhlin. Únavové trhliny vznikají v pásmu jemných skluzových čar, přednostně ve členitém povrchovém reliéfu svaru, obsahujícím velmi ostré vruby. Mikroskopická trhlina vzniká tehdy, jestliže koncentrace napětí kolem pásma skluzových čar v místě povrchového vrubu nemůže být spotřebována skluzovými procesy v okolní základní hmotě. V prvním stádiu vzniku únavové trhliny se trhlina šíří ve skluzovém pásmu, tj. přes zrna.

Na čele trhliny lze zjistit důsledkem vysoké koncentrace napětí místní plastickou deformaci, tj. plastickou zónu únavové trhliny.

Ve druhém stádiu trhlina probíhá kolmo k vektoru hlavního napětí a šíří se nekrytalografickými rovinami. Oblast je makroskopicky jemně žebrovaná, což je způsobeno náhodným přetěžováním a zvýšenou rychlostí šíření trhliny.

Třetí oblast vzniká náhlým lomem zbývajícího nosného průřezu v okamžiku jeho zeslabení šířící se trhlinou a má vzhled křehkého lomu.

Vliv vnitřních pnutí po svařování na únavovou pevnost svarových spojů je uveden v kapitolách 4.2.2.3 a 4.6.

Při hodnocení vlastností svařované konstrukce je důležité, aby svarové spoje a tedy i tepelně ovlivněná oblast, měly určitou odolnost proti křehkému porušení. Křehký lom porušuje svarový spoj, aniž může vzniknout plastická deformace. Nastává u nízkouhlíkových svařitelných ocelí a jejich svarových spojů při nominálním napětí, které je nižší, než makroskopická mez kluzu. V mikroskopickém měřítku je lom štěpné povahy / je charakterizován štěpením zrn kovu/, lomová plocha má krystalický charakter.

Křehký lom je nestabilní, tj. porušení je náhlé, nekontrolovatelné a nastává účinkem elastické energie, nahromaděné ve svarovém spoji, aniž je třeba další vnější energie.

Křehký lom je u nízkouhlíkových ocelí rovinný a jeho výskyt je spojen s tranzitním chováním spoje / s poklesem teploty nebo růstem rychlosti zatěžování/, kdy se mění tvárný lom ve štěpný. /obr.21/.

Současné představy o vzniku křehkého lomu jsou založeny na experimentálně prokázaných skutečnostech [2]:

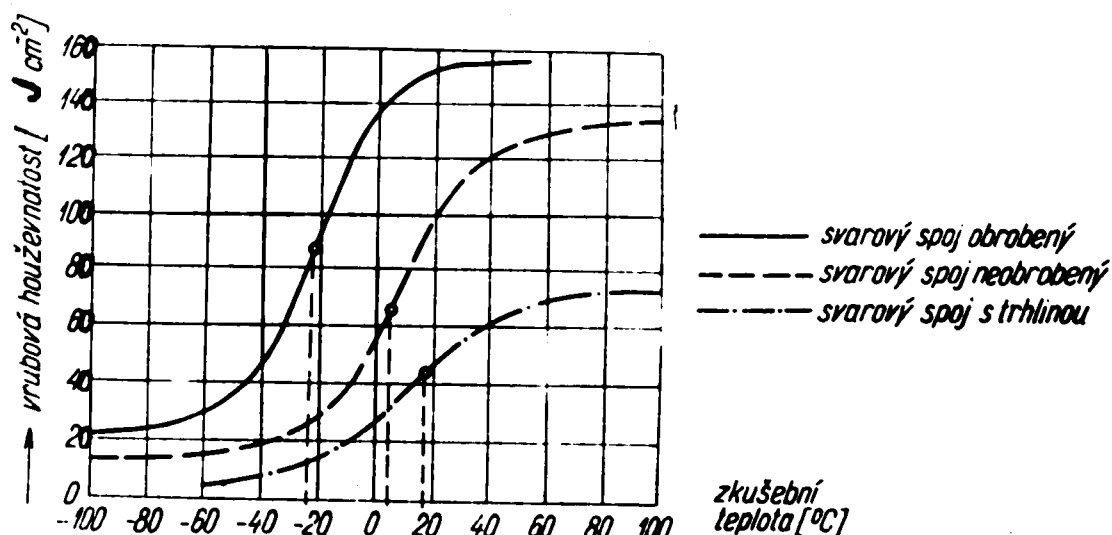
- a/ Křehkému lomu předchází vždy malá plastická deformace.
- b/ Hodnota kritického napětí vzniku křehkého lomu je podstatně nižší než teoretická pevnost svařované konstrukce.

Průběh křehkého lomu je možno rozložit do tří stádií [2]:

- a/ Nukleace submikrotrhlin nehomogenní plastickou deformací v důsledku sňkového napětí /koncentrace dislokací a jiných poruch/.
- b/ Růst mikrotrhliny podél štěpných rovin krystalu přes zrno.
- c/ Přejchod mikrotrhliny přes silovou bariéru, tj. přes hranici zrna, precipitát nebo jinou fázi.

Většina křehkých lomů [1] se iniciuje z vad /trhlin/, které v konstrukci vznikly z nedokonalé technologie výroby, z koncentrátoru napětí /vrubu/, nebo z vad, jež vznikly za provozu svařované konstrukce.

Koncentrátorem napětí / vrubem/ mohou být vnější geometrické faktory/ jako je nevhodně volené konstrukční řešení svarového spoje, neprovařené kořeny svarů, ostré přechody /propaly/ v povrchových částech svaru/ výrazné pevnostní heterogenity jednotlivých oblastí svarového spoje nebo zavařené části strusky a pod.



Obr. 21 Vliv vrubového účinku svarového spoje na výši střední přechodové teploty. Přítomnost vady způsobuje značnou koncentraci napětí v plastické zóně na čele vady [2]. Vada posouvá přechodovou teplotu od tvárného lomu ke křehkému ke značně vyšším teplotám [5].

4.7 VYHODNOCENÍ STRUKTURY A MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ SVAROVÝCH SPOJŮ KLIKOVÉHO HŘÍDELE

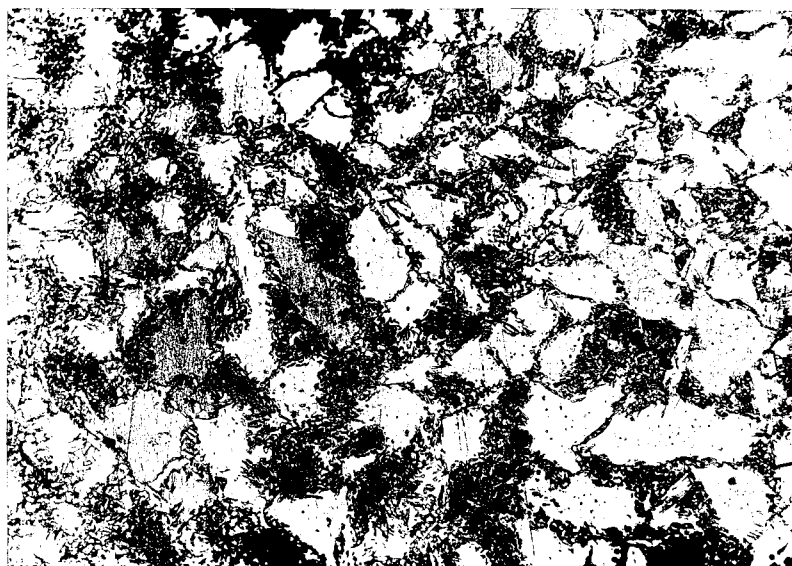
Pro posouzení vlastností a struktury svarových spojů byly pro metalografický výbrus odebrány vzorky z libovolných míst svarového spoje. Tato místa jsou označena na obrázku 29 /kapitola 4.8/ symbolem M.

Metalografický výbrus byl proveden v příčném řezu svarovým spojem ve směru válcování základního materiálu 11 523.0.

Strukturu základního materiálu 11 523.0 svařovaných dílů ukazuje obrázek 22.

200 x

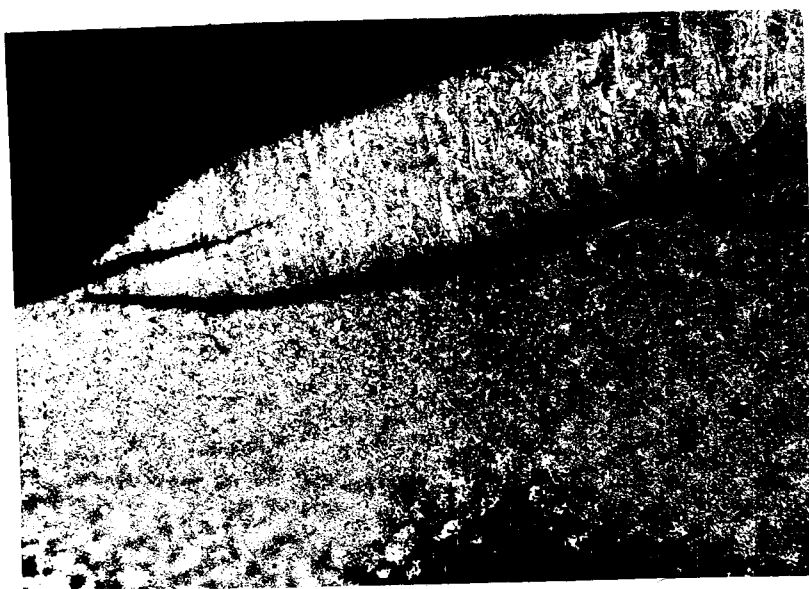
Nital 3 %



Obr. 22 Struktura základního materiálu 11 523.0

Jde o poměrně hrubozrnnou strukturu nízkouhlíkové oceli s převládajícím feritem a s menšími ostrovy perlitu, které na sebe místy navazují.

Celkový pohled na strukturu svarového spoje v oblasti kořene svaru ukazuje obr. 23. Obrázek dokazuje, že v přehřáté oblasti svarového spoje vznikly studené trhliny. Trhliny se šířily také z kořene svaru do svarového kovu a do přechodové oblasti, kde se navzájem spojovaly s trhlinami, vzniklými v přehřáté zóně tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje.



50 x

Nital 3 %

Obr. 23 Celkový pohled na strukturu svarového spoje v oblasti kořene svaru

Obrázek znázorňuje strukturu svarového kovu s dlouhými krystaly, orientovanými směrem do středu svarového kovu, strukturu přechodové oblasti, /hranici ztavení/ a oblasti přehřáté struktury. Dále je zde patrné zjemnění přetransformované struktury a přechod tepelně ovlivněné oblasti do základního materiálu.

Na obrázku 24 je detailně zachycena přehřátá oblast svarového spoje se zhrublou Vidmannstätténovou strukturou, kterou procházejí studené trhliny.



200 x

Nital 3 %

Obr. 24 Přehřátá oblast svarového spoje se studenými trhlinami

Hrubozrnná struktura je tvořena jemným síťovým feritu, vyloučeným v podobě jehlic v perlitové hmotě. Ferit je vyloučen také po hranicích primárních zrn, kde tvoří téměř souvislé řetězce.

Tato oblast svarového spoje má výrazně nižší hodnotu vrubové houževnatosti účinkem transformačního zkřehnutí.

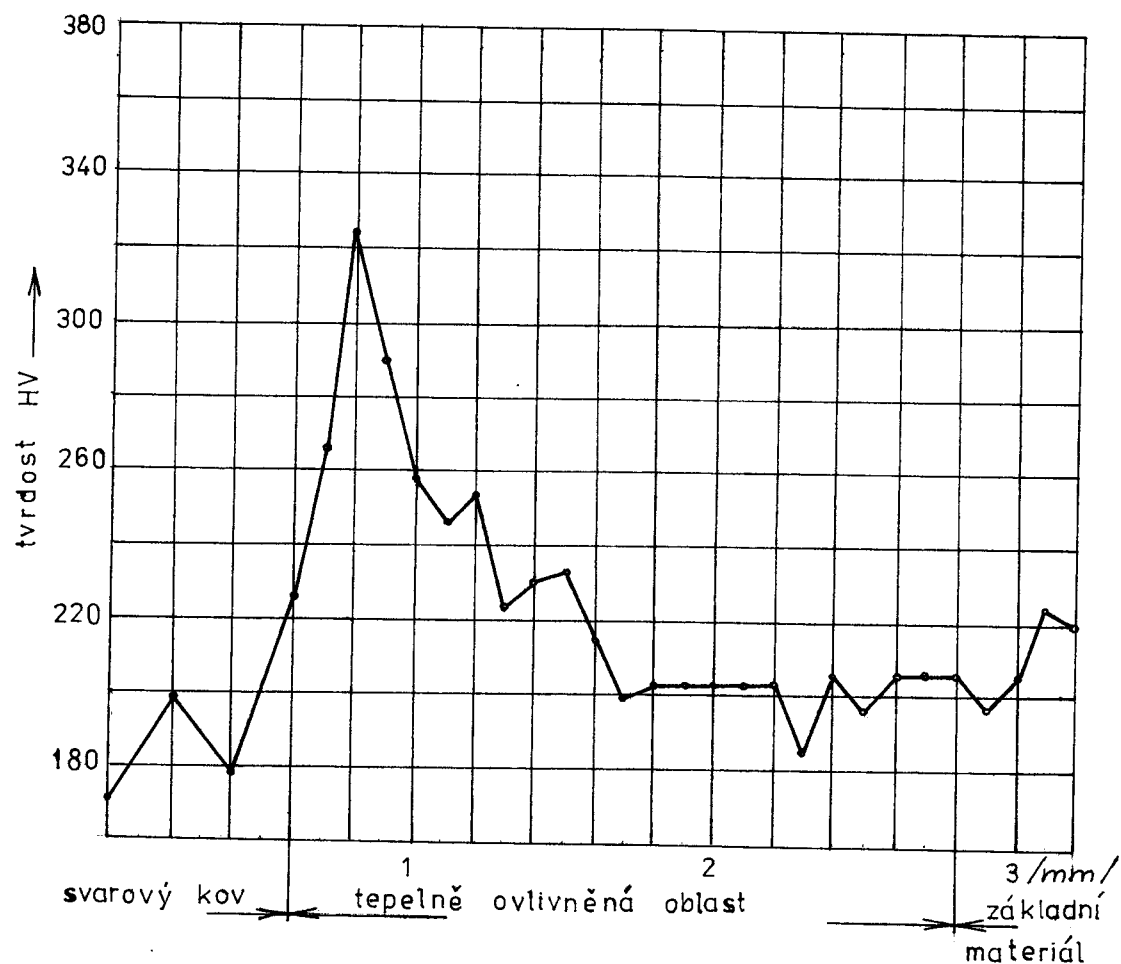
Nepřímo se dají určit mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné oblasti měřením tvrdosti.

Měření tvrdosti bylo provedeno v rovině příčného řezu svarovým spojem /na vzorcích, na nichž se sledovala mikrostruktura svarového spoje/ metodou HV 2.

K měření byl použit mikrotvrdoměr ZP 5/5/395.

Síla, působící na jehlan $F = 200 \text{ g} \pm 2 \text{ N}$

Průběh tvrdosti napříč svarovým spojem materiálu 11 523.0 je vyneseno v diagramu na obr. 25.



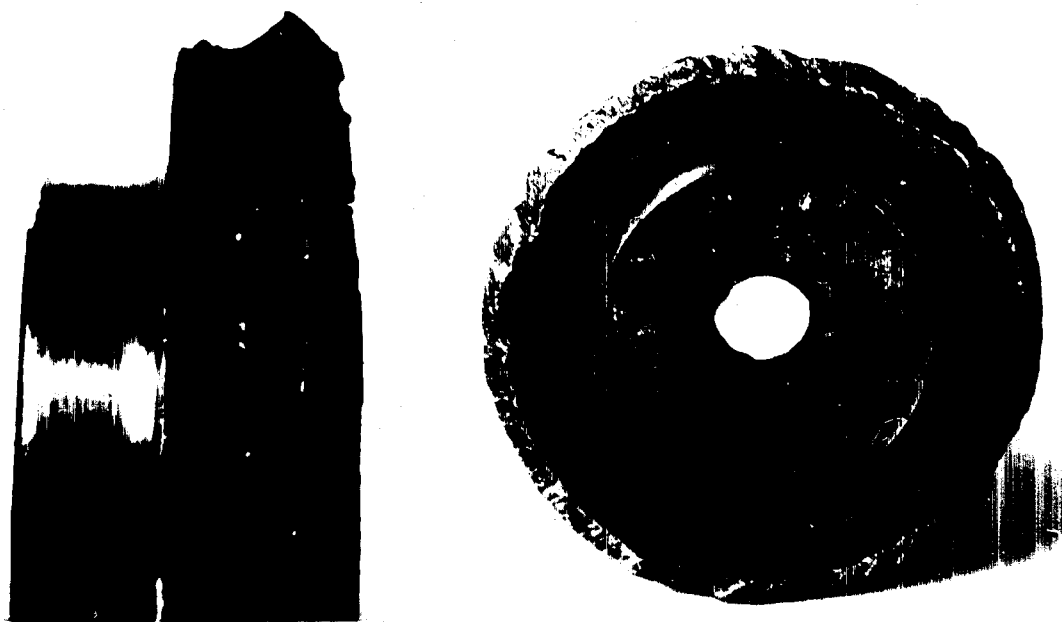
Obr. 25 Průběh tvrdosti napříč svarovým spojem

Jak je zřejmé z průběhu tvrdosti, vykazuje struktura přehřáté oblasti svarového spoje transformační zkřehnutí. Takováto struktura není příznivá pro dynamické namáhání pro svou nízkou hodnotu vrubové houževnatosti a velkou náchylnost k tvorbě trhlin za studena.

4.8 UKÁZKY LOMŮ KLIKOVÝCH HŘÍDELŮ

Prohlídka havarovaných klikových hřídelů potvrdila, že k lomům dochází v nejvíce namáhaných místech A, A', B a C klikového hřídele. Tato místa jsou označena na výkrese /příloha 1/. Jak vyplývá též z pevnostní kontroly kliky, jsou označená místa pevnostně nevyhovující.

Na obrázku 26 je ukázka lomu v místě /A/ svarového spoje ojničního čepu a ramene kliky na straně náhonu. Svarový spoj byl porušen po celém obvodu svaru podélnou trhlinou, vycházející z vady ve svarovém kovu /vada označena šipkou/.



Obr.26 Lom ojničního čepu v místě A

Lom pokračoval únavovou trhlinou z vnějšího povrchu zalisovaného spoje z jedné strany průřezu, která je při ohybu vystavena takovému namáhání. Vzhled a tvar únavové

plochy a poměr ploch křehkého a únavového lomu ukazují na charakter namáhání [7] - velká počáteční koncentrace napětí a vysoké nominální napětí. Boční pohled ukazuje šířem podélné trhliny členitým reliéfem svaru s ostrým vruby a nepravidelný povrch svaru.

Mírně odlišný lom ojničního čepu v místě A je zobrazen na obr. 27. Tentokrát se únavové trhliny šířily z více míst. Po destrukci nábojem nalisovaného čepu A'/přechod z $\varnothing 50$ na osazení $\varnothing 70$ /.



Obr. 27 Lom ojničního čepu v místě A

Snímek dobře znázorňuje neprovařený kořen koutového svaru po obvodě osazení / $\varnothing 70$ /, studené spoje a plynové dutiny v povrchových částech svaru.

Spirálovitý lom ojničního čepu, od opakovaného krutu je ukázán na obrázku 28. Únavové trhliny vycházely z více míst: pod nábojem nalisovaného čepu, z vnitřní vady materiálu čepu, /dutina na $\varnothing 17$ vrtaného čepu/ a z místa vnějšího vrubu /osazení čepu/. Lomová plocha je skloněna pod úhlem přibližně 45° k ose čepu, což odpovídá směru největšího normálního napětí, u čistě smykové napjatosti.

[7] Smysl působení kroutícího momentu je naznačen vedle obrázku.



Obr. 28 Lom ojničního čepu od opakovaného krutu

Velký povrch křehkého lomu a smysl působení kroutícího momentu odpovídají smyslu a velikosti namáhání čepu, smyslovým napětím, které vznikne při častém zastavení chodu tkacího stavu. Tento případ namáhání je popsán v kapitole 4.6.1.

Ukázka křehkého lomu v místě B /spoj ramene kliky s přírubou/ je na obrázku 29. Lomové plochy svarového spoje a čepu příruby nevykazují téměř žádné příznaky šíření únavových trhlin.



Obr. 29 Křehký lom spoje ramene kliky s přírubou
/průřez B/

Lomová plocha svaru obsahuje místa studených spojů /označená šipkami/, která mohla být spolu s vysokou koncentrací napětí v tomto průřezu hlavními iniciátory křehkého lomu.

Lom ramene kliky v průřezu C ukazuje obrázek 30. Rázové namáhání ramene ohybem vyvolalo šíření únavových trhlin ze svarového spoje a ostrých vnějších hran na vnější straně ramene.

Obrázek také názorně ukazuje špatnou kvalitu svařového spoje a svařování při vysoké hodnotě svařovacího proudu.



Obr. 30 Lom ramene kliky v průřezu C

Jde o únavové i křehké lomy, které se šířily z vad ve svarových spojích, neprovařených kořenů svarů, studených spojů, trhlin. Další příčinou byla i malá vrubová houževnatost svarového kovu, způsobená vysokým stavem vnitřního tahového pnutí ve svarech a nepravidelným povrchem svarů, obsahujícím ostré vruby.

Ukázky lomů tedy názorně dokazují, jak se projevovaly jednotlivé dílčí vlivy, rozebrané v předcházejících kapitolách.

4.9 ZHODNOCENÍ ROZBORU PŘÍČIN HAVÁRIÍ KLIKOVÝCH HŘÍDELŮ

Z jednotlivých kapitol provedeného rozboru vyplývá, že na havárie klikových hřídelů má vliv působení těchto faktorů:

- vysoký stav vnitřního pnutí v místech spojů svařované konstrukce klikového hřídele
- nevhodné umístění a velká koncentrace svarových spojů v oblasti kliky
- nedodržování podmínek svažitelnosti základního materiálu dílů klikového hřídele v technologii výroby, vznik a přítomnost vad ve svarových spojích
- vysoké nominální napětí při nepříznivém provozním namáhání
- nedokonalé uložení klikového hřídele, dané konstrukcí širokého tkacího stavu a používaným druhem kluzných ložisek

Protože tyto faktory působí současně, není možné vy-
zdvihovat pouze některý z nich a zanedbávat přitom vliv
ostatních, ale je nutno je uvažovat komplexně.
Snížení vlivu pouze některého z těchto faktorů neznamena-
vá úplné odstranění nebezpečí havárie, ale pouze oddálení.
Proto musí návrh opatření k odstranění nebezpečí havárií
vycházet ze snížení nebo úplného odstranění většiny z těchto
faktorů současně.

5 NÁVRHY K ODSTRANĚNÍ PŘÍČIN HAVÁRIÍ

5.1 NÁVRH 1

Tento návrh je určen pro klikové hřídele v určitém stavu rozpracovanosti /jednotlivé díly ještě nejsou sesazeny/, návrh určuje tyto požadavky:

- 1/ upravit hodnoty přesahů za tepla sesazovaných dílů z uložení $\varnothing 45 \text{ H7/u7}$ na uložení $\varnothing 45 \text{ H7/t6}$
- 2/ Ojniční čep /pos.3/, ramena /pos.4/ a přírubu /pos.5/ normalizačně žíhat v peci při teplotě $T = 850 \pm 870 \text{ }^{\circ}\text{C}$ /9/, po dobu $t = 1 \text{ h}$ s ochlazením na vzduchu.

Aby byla zaručena svařitelnost dílů klikového hřídele, je nutno dodržovat tento postup:

- 3 a/ Svarové plochy před svařováním očistit /příp. odmastit/
- b/ Svařovat s předehřevem $T = 200 \text{ až } 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ po celou dobu svařování /je možno využít ohřev při skládání klik za tepla/.
- c/ Používat elektrody E 52.33, předsoušené těsně před svařováním
- d/ Kořenové svary provádět elektrodou $\varnothing 2,5$, $\varnothing 3,15$, dokončovací svary provádět elektrodou $\varnothing 4$.
- e/ Svary začínat a končit v místech nejmenšího namáhání kliky /viz kapitoly 4.6.1, 4.6.2 a příloha 1/.
- f/ Každý provedený svar ihned temovat /prokovat/
- g/ Svařené kliky nechat chladnout v zábalu.
- h/ Koutové svary obrábět s velkým poloměrem /stykové svary a koutové svary ojničního čepu vybrousit ruční bruskou/

Stejný postup je nutno dodržovat po konečném sesazení klikového hřídele.

- 4 Při montáži usazovat klikové hřídele do nepotřebných ložisek / s maximální vůlí $v = 0,1 \text{ mm}$ /, u nichž není otevřená mazací drážka.

Rovněž kontrolovat souosost uložení

- 5 Při provozu klikových hřídelů zajistit a kontrolovat dostatečné mazání ložisek.

- 6 Seřídít předpětí pružin u pojistné třecí spojky, aby při rozběhu a zastavení tkacího stavu mohla mírně proklouznout.

- 7 Seřídít záběr ozubených kol 8 - 9, 8' - 9', / viz obr. 2 /, aby nedocházelo k přetěžování klikového hřídele na straně náhonu kroutícím momentem.

5. 2 NÁVRH 2

Jedná se o návrh / příloha 2/ skládaného a svařovaného klikového hřídele.

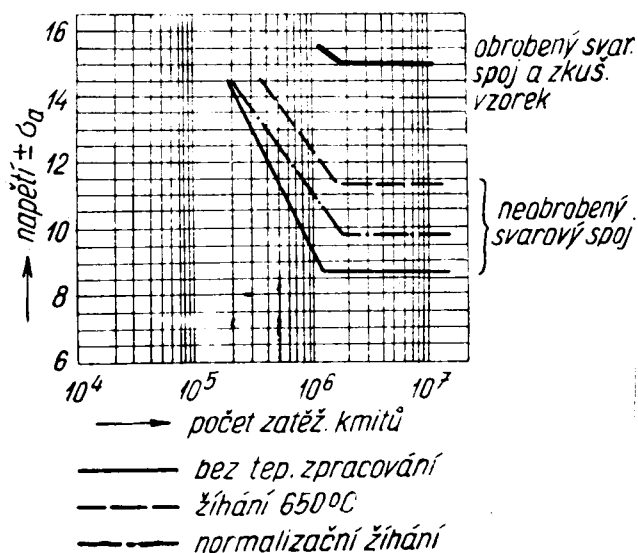
Návrh spočívá v provedení konstrukčních úprav všech dílů klikového hřídele, změny materiálu a tepelného zpracování ojnicového čepu a v odstranění svarů z nejvíce namáhaných částí klikového hřídele. Tím se odstraní místa značné koncentrace napětí.

Konstrukční úprava klikového hřídele vychází z výrobních a materiálových možností SGO JUTA Dvůr Králové n.L. Zvýšení provozní bezpečnosti / podle výsledků pevnostní kontroly kapitola 4.6.2/ je zajištěno následujícími úpravami:

- odstranění svarových spojů z nejvíce namáhaných částí klikového hřídele

- ojnicní čepy z materiálu 12 O50.1, ČSN 425515 povrchově kalené plamenem /jednorázově/ a popuštěné na $T = 450^{\circ}\text{C}$ uložení čepů v ramenech $\phi 52 \text{ H7/t6}$
- tloušťka stěn ramen kliky zvětšena na hodnotu $t_1 = 45 \text{ min.}$
- silnostěnná příruba nahrazena trubkou $\phi 110$ ČSN 426710 z materiálu 11 353.1, což představuje značnou úsporu materiálu
- ložiskové hřídele z polotovaru $\phi 68$ ČSN 425510, budou mít také nižší spotřebu materiálu než hřídele původní.

Na obrázku 31 je znázorněno zvýšení meze únavy svařovaných spojů v případě obrobených svarů.



Obr. 31 Mez únavy svařových spojů obrobených a neobrobených s různým tepelným zpracováním.

Postup sestavení klikového hřídele podle návrhu 2 :

Operace	Popis operace	Pracoviště
1	Ramena / pos 4, pos. 5/ ohřát na $T = 250^{\circ}\text{C}$	pec
2	Rameno /pos. 5/ vyjmout z pece a na osazení $\varnothing 94 \text{ H8}$ nasunout trubku $\varnothing 110/94 \text{ n6}$ /pos. 6/	zámečnick ruční /svařovna/
3	Sestavené díly /pos. 5, pos. 6/ svařovat s předehřevem 200 až 250°C po celou dobu svařování provedené svary ihned temovat /prokovat/.	svařovna
4	Do otvoru $\varnothing 52 \text{ H7}$ chladnoucího ramene /svařence/ narazit ojnic- ní čep /pos.3/	zámečnick
5	Rameno /pos.4/ vyjmout z pece a nasunout na čep ložiskového hříde- le $\varnothing 45 \text{ t6}$ otvorem $\varnothing 45 \text{ H7}$ /pos.1,2/	přípravek /obr.3/
6	Složené díly /pos.4, pos.1,2/ svařovat s předehřevem $T = 200$ až 250°C po celou dobu svařování, provedené svary ihned temovat.	svařovna /polokovadlo/
7	Do otvoru $\varnothing 52 \text{ H7}$ chladnoucího ramene /pos.4/ narazit čep $\varnothing 52 \text{ t6}$ svařence /pos. 5,6 + 3/	zámečnick přípravek /obr.3/
8	Na vychladlé klice obrábět svary, trubku /pos.6/ na $\varnothing 108 \text{ H8}$	soustruh
9	Obrábět drážky	frézka
10	Kliky K_1, K_2 složit za tepla s trubicí /pos. 7/	zámečnick

Sesazené a obrobené kliky se mohou s vyztužovací trubicí pos. 7, skládat až v provozním závodě Višňová, takže obtížná manipulace s klikovým hřídelem odpadá.

Klikový hřídel se nemusí rovnat plamenem.

NÁVRH ULOŽENÍ

Konstrukce tkacího stavu nedovoluje příliš velké změny v uložení. Proto návrh uložení spočívá pouze ve zlepšení funkce kluzných ložisek.

Návrh vychází z patentu n.p. Technometra Semily, kde mají již zkušenosti s dynamickým válečkováním tenkostěnných ložiskových pouzder v kluzných ložiskách.

Princip zhotovení ložiskového pouzdra:

Vnitřní průměr litinového kluzného ložiska se obrobí s drsností $Ra = 6,3$ až $12,5$.

Do předobrobeného otvoru ložiska se vloží stočený plech Cu - Sn 6 ČSN 42 30 16. Konečný stav ložiskového pouzdra se vytvoří dynamickým zaválečkováním plechu Cu-SN6 do litinového tělesa ložiska pomocí válečkovacího nástroje. Tyto válečkovací nástroje jsou k dispozici v n.p. Technometra Semily.

Vytvořené tenkostěnné ložiskové pouzdro má velkou soudržnost se základním materiálem tělesa ložiska a vynikající drsnost $/Ra \approx 0,2 \text{ } \mu\text{m} /$. Kluzné vlastnosti takto vytvořeného ložiska jsou velmi dobré, jeho trvanlivost je několikanásobně vyšší, než u ložiskové litiny, ložisko lépe snáší rázy, má velkou odolnost proti zadíráání. Přitom se kvalitním uložením s menší ložiskovou vůlí sníží hodnota maximálního Mo o 30 %.

Technologie dynamického válečkování tenkostěnných ložiskových pouzder je velmi produktivní, ekonomicky výhodná, nevzniká při ní téměř žádný odpad / bronzový plech je využit bezezbytku/. Proto je tento způsob úpravy kluzných ložisek vhodný i pro uložení střední části klikového hřídele.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo objasnění příčin častých havárií klikových hřídelů tkacích stavů JLK 3500. Jak vyplývá z jednotlivých kapitol provedeného rozboru, je původ příčin jak v konstrukci a technologii výroby, tak i v nedokonalém uložení a nepříznivém provozním namáhání klikového hřídele. Proto jsou jednotlivé návrhy zaměřeny především na snížení vlivů těchto hlavních faktorů.

Přitom tyto návrhy vycházejí z výrobních a materiálových možností výrobce klikových hřídelů SGO JUTA Dvůr Králové n/L a jsou pro n.p. JUTA Dvůr Králové n/L reálným řešením.

Při hodnocení společenského prospěchu návrhů má zvláště výrazný společenský prospěch návrh 2. Tento návrh přináší následující výhody:

- zvýšení provozní bezpečnosti klikového hřídele na hodnotu $k_{min} = 2,1$ /ojničního čepu/
- snížení spotřeby materiálu z původní hodnoty 258 kg na jeden klikový hřídel na hodnotu 216 kg
- snížení pracnosti a pracovních sil odstraněním těchto operací
 - rovnání hřídele plamenem
 - obtížná manipulace s dlouhým hřídelem
- skládání klik je možno provádět v dosud používaném přípravku
- hladina vnitřního pnutí po svařování se podstatně sníží, aniž je nutno svařenec žíhat
- jednoduchá doprava a manipulace s hřídelem
- snížení celkové hmotnosti klikového hřídele o 10 kg
- možnost využití polotovarů určených pro současnou výrobu svařovaného klikového hřídele

ZHODNOCENÍ SPOLEČENSKÉHO PROSPĚCHU NÁVRHU 2:

Dosavadní výdaje na klikové hřídele za 1 rok v závodě JUTA 06 Višňová:

- dodávka svařovaných klikových hřídelů z SGO JUTA min.	
20 ks za rok	100 000,--
/1 klikový hřídel ...	5000,--/
- demontáž prasklých hřídelů a opravy	50 000,--
- Ztráty nevyužívaných tkacích stavů při opravách ..	20 000,--
Celkové výdaje /V _{celk} /	170 000,--

Tyto údaje byly převzaty v závodě JUTA 06 Višňová.

Náklady na nový návrh /N/ budou vzhledem k uvedeným úsporám pracovních sil /pracnosti/ a materiálu nižší a mohly by dosahovat hodnoty 4 500,--.

Při postupné realizaci návrhu /20 ks/rok/ by se za $2\frac{1}{2}$ roku v závodě JUTA 06 Višňová vyměnily klikové hřídele na všech tkacích stavech. Největší společenský prospěch by vznikl první rok realizace návrhu. Tento předpokládaný společenský prospěch by činil:

$$SP = V_{\text{celk}} - \frac{N}{t} = 170\,000 - \frac{90\,000}{4} = 148\,000 \text{ Kčs/rok}$$

Rozbor namáhání klikového hřídele potvrdil, že při provozu takcího stavu dochází k častému přetěžování klikového hřídele na straně náhonu. Z tohoto hlediska by byl výhodnější oboustranný náhon klikového hřídele se setrvačníky a brzdami na obou stranách. Nedocházelo by k torznímu kmitání ani k jednostrannému přetěžování hřídele, ale kroutící moment by se rozložil rovnoměrně na obě strany hřídele.

Zajištění oboustranného náhonu u dlouhého klikového hřídele tkacího stavu JLK 3500 je obtížné.

Při použití dvou asynchronních motorů se v důsledku skluzu otáček nedají otáčky přesně seřídít a docházelo by k rázům pohonu. Použití dvojice synchronních elektromotorů znamená vyšší náklady a složité seřízení jejich chodu.

Další možnost zajištění oboustranného náhonu spočívá v použití elektrického hřídele. Toto řešení však předpokládá více elektromotorů o vyšším výkonu a s tím souvisejí i vysoké pořizovací náklady. Snad nejjednodušším řešením by byl pohon asynchronním elektromotorem uprostřed, s rozvodem krouticího momentu na obě strany hřídele pomocí ozubených kol. Na toto řešení však konstrukce rámu tkacího stavu JLK 3500 není vhodná.

Jak je zřejmé, jsou všechny alternativy řešení oboustranného pohonu velmi nákladné a pro tkací stav JLK 3500 těžko realizovatelné. Proto je snad ekonomicky nejvýhodnější zaměřit se na zlepšení funkčních vlastností a zjednodušení konstrukce klikového hřídele, na dostatečné a přitom efektivní dimenzování kritických míst a průřezů klikového hřídele a na zlepšení jeho uložení.

V tom také spočívá hlavní myšlenka návrhů, vyplývajících z výsledků diplomové práce.

V závěru bych chtěl poděkovat především vedoucímu diplomové práce s. ing. Neumanovi, konzultantovi s. Broučkovi, dipl. technikovi a všem, kteří mně poskytovali cenné rady a všestrannou pomoc při zjišťování důležitých informací ohledně řešené problematiky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] HRIVŇÁK, J. : Zvaritelnost ocelí. ALFA-VTEL BRATISLAVA 1979
- [2] KUNCIPÁL, J.: Svařování pro konstruktéry a technology. SNTL Praha 1980
- [3] - ČSN 050120 - Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí
- [4] JECH, J. : Tepelné zpracování oceli. Metalografická příručka. SNTL Praha 1977
- [5] PILOUS, V. : Konstrukter a tavné svařování oceli. SNTL Praha 1964
- [6] KVAPILOVÁ, J., MEVALD, J., PRÁŠIL, L., STRÍŽ, B., :
Příručka tvarové pevnosti. VŠST Liberec, /skripta/, 1976
- [7] NĚMEC, J., PUNCHER, O., :
Tvarová pevnost kovových těles. SNTL Alfa, Praha 1971
- [8] HÖSCHL, C. : Pružnost a pevnost ve strojnictví. SNTL Alfa Praha 1971
- [9] ČERNOCH, S. : Strojně technická příručka 1,2, SNTL Praha 1977
- [10] BOLEK, A., , JANATKA, J. :
Části strojů IV. NČAV Praha 1956
- [11] TALAVÁŠEK, O.: Tkalcovská příručka. SNTL Praha 1980
- [12] CHARVÁT, J. : Teorie mechanismů /skripta/. Liberec 1967

SEZNAM PŘÍLOH /VÝKRESŮ/ :

- 1 Svařovaný klikový hřídel tkacího stavu JLK 3500 v n.p. JUTA SGO Dvůr Králové n.L.
- 2 Návrh skládaného svařovaného klikového hřídele pro tkací stav JLK 3500.

SEZNAM TABULEK :

- 1 Zpracované výsledky naměřených rozměrů /přesahů/ u čepů za tepla sesazovaných spojů..... 20
- 2 Chemické složení svarového kovu podle ČSN 05 50 30 35
- 3 Chemické složení oceli 11 523 podle ČSN 41 15 23 40
- 4 Zpracované výsledky měření okrajového opotřebení kluzných ložisek ČSN 42 24 5645
- 5 Průběh a výsledky kinetostatického řešení čtyřkloubového přírazového mechanismu51
- 6 Přehled zatížení klikového hřídele od přírazového mechanismu52