

1 NÁVRH VÝROBY HRIADEĽA PRIEČNYM KLINOVÝM VALCOVANÍM A ZÁPUSTKOVÝM KOVANÍM

BÍLIK, J. – LUDROVCOVÁ, B.

Úvod

Technológia tvárnenia priečnym klinovým valcovaním (PKV) patrí v súčasnosti medzi progresívne metódy tvárnenia materiálov. Výhodou technológie je zníženie spotreby materiálu a skrátenie výrobných časov, a teda vysoká produktivita výroby.

V porovnaní s inými výrobnými technológiami (obrábanie, kovanie), sa priečne klinové valcovanie vyznačuje viacerými výhodami, ako sú (Pater, 2014):

- Vysoká produktivita – počas jedného pracovného cyklu (rotácia valcov alebo posun plochých klinov) je vyrobený minimálne jeden produkt. Frekvencia otáčania valcov pri PKV sa pohybuje v rozmedzí 10 až 30 min⁻¹, pričom výkonnosť procesu je v rozsahu 10 až 30 kusov za minútu. Teda možno konštatovať, že proces PKV je 5 až 20-krát výkonnejší ako kovanie, či obrábanie.
- Lepšie využitie materiálu – materiálové straty, vznikajúce v procese PKV, nepresahujú zvyčajne 10 %. Oproti tomu materiálové straty pri kovaní sú približne (15 až 30) %, zatiaľ čo pri obrábaní môžu dokonca nadobudnúť hodnotu až 40 %.
- Zlepšenie pevnostných charakteristík materiálu – pri PKV sa tvar výrobku získa ako výsledok plastickeho pretvorenia materiálu, kde sú typické neporušené vlákna, koncentrujúce sa na povrchu výrobku, čo sa prejavuje zlepšením pevnostných vlastností vývalkov v porovnaní so súčiastkami vyrobených obrábaním.
- Šetrnosť k životnému prostrediu – v porovnaní so zápusťkovým kovaním sa proces PKV vyznačuje výrazne nižšou produkciou emisií a aj nižšou úrovňou hluku. Navyše proces nevyžaduje aplikáciu ďalších procesných látok, ako sú chladiace, alebo mazacie látky.
- Nižšia spotreba energie – v procese PKV je polotovar vo forme odrezkov z kruhových tyčí, ktoré sú priebežne privádzané do pracovného prostredia, medzi tvárniace valce, t. j. nie sú potrebné žiadne ďalšie prípravné operácie pred valcovaním polotovaru metódou PKV.
- Zavádzanie automatizácie a nízke výrobné náklady – pri PKV je finálny produkt vyrobený v rámci jednej operácie, čo umožňuje podnikom znížiť počet ľudí a výrobných zariadení, a tým aj veľkosť výrobných plochy, potrebných na zabezpečenie výrobného procesu.
- Vysoká životnosť nástrojov (valcovacích segmentov) – PKV sa vyrábajú polotovary, ktoré sú najčastejšie následne spracovávané zápusťkovým kovaním, obrábaním, prípadne sú ako hotový výrobok. Kombináciou týchto metód sa vyrábajú napríklad stupňovité hriadele, alebo ojnice.
- Uplatnenie v automobilovom priemysle – komponenty, vyrábané PKV, do svojich automobilov aplikuje Ford Motor Company (napr. ojnice alebo kľukové hriadele).

Proces PKV, napr. pri výrobe osadeného hriadeľa, v dôsledku stavu napätosti vytvoreného pôsobením segmentov v tvare klina, upevnených na valcoch za určitých podmienok, je sprevádzaný vznikom tzv. Mannesmannovho efektu v osi valca, čo má za následok vznik vnútorných chýb. Vzhľadom na pôsobenie striedavých ťahových a tlakových napätí dochádza k nehomogénnej deformácii materiálu, z ktorej sa môžu vyvinúť dutiny v stredovej časti valcovaného materiálu. So zvýšením frekvencie otáčania valcov sa mení rýchlosť deformácie materiálu, pretvorenie je väčšie a narastá aj šmykové napätie. Ak

veľkosť šmykového napätia prekročí hodnotu medze klzu valcovaného materiálu, vytvorí sa vnútorná dutina. (Li a kol., 2002) Preto je potrebné riešiť aj kontrolu hriadeľov pri ich výrobe priechnym klinovým valcovaním, aplikáciou nedeštruktívnych metód merania.

Prípadová štúdia opisuje návrh výroby, vo firme HKS Forge, spol. s r. o., Trnava, viacnásobne osadeného hriadeľa, a to dvoma postupmi: priečnym klinovým valcovaním a kovaním v otvorenej zápustke ako náhradnou technológiou v prípade vzniku poruchy valcovačky, resp. poškodenia valcovacích segmentov, nakoľko vyrábaný produkt bol určený pre automobilový priemysel.

1.1 Výroba hriadeľa priečnym klinovým valcovaním

Priečne klinové valcovanie medzi dvoma valcami so upevnenými segmentami v tvare klinov s definovanou geometriou je technológia využívaná na prípravu predkoviek na zápustkové kovanie výkovkov s pozdĺžnou osou. Je však vhodná aj na výrobu hotových výtvarkov tvárnením za tepla v tvare rôznych osadených hriadeľov. Preto bola aplikovaná aj na výrobu daného viacnásobne osadeného hriadeľa.

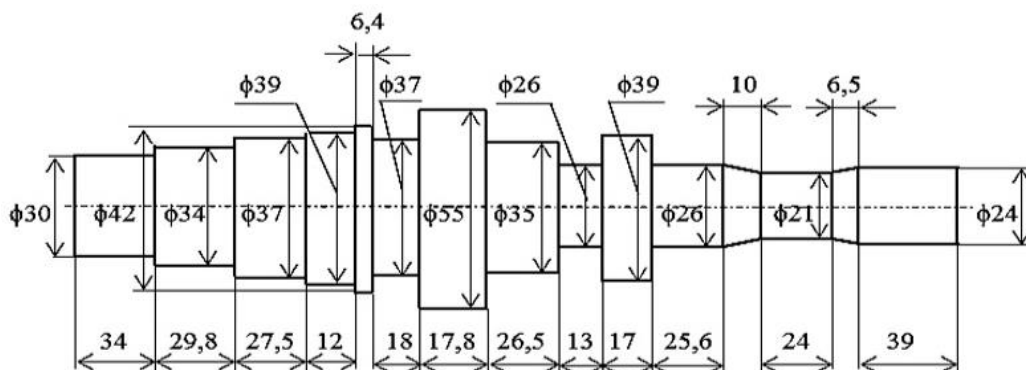
1.1.1 Návrh polotovaru pre priečne klinové valcovanie

Na Obr. 1.1 je osadený hriadeľ, výroba ktorého bola navrhnutá použitím technológie PKV najmä z dôvodu zníženia výrobných nákladov. Materiál hriadeľa: 16MnCr5 (STN 41 4220, 1.7131) – je to nízko legovaná ušľachtilá konštrukčná mangán-chrómová oceľ s pevnosťou v ťahu (500 až 700) MPa. Na Obr. 1.2 sú uvedené rozmery hriadeľa, ktoré boli východiskom pri návrhu tvaru a rozmerov polotovaru pre PKV. Prechodové polomery medzi jednotlivými priermi sú R5.



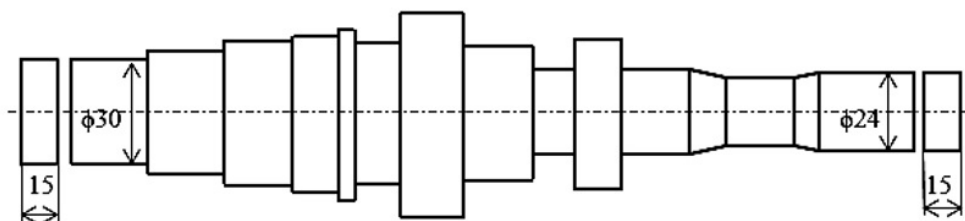
Obr. 1.1. Osadený hriadeľ

Na základe objemu hriadeľa ($V_{hriadeľ} = 266\,166,2 \text{ mm}^3$) a z definovaného priemeru polotovaru (d_0), ktorý zodpovedá najväčšiemu priemeru na hriadeľi (Obr. 1.2) ($d_{max} = 55 \text{ mm}$), aplikáciou zákona konštantnosti objemu, základná dĺžka polotovaru (l_0) bez prídavku na odstrihnutie koncov po valcovaní je 112,1 mm. Prídavok na odstrihnutie koncov je 7,4 mm, z čoho vyplýva, že dĺžka polotovaru bez uvažovania prídavku na opal je 119,5 mm.

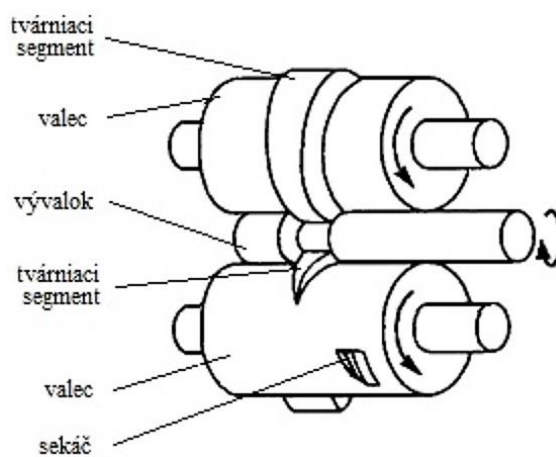


Obr. 1.2. Rozmery hriadeľa po valcovaní

Na Obr. 1.3 sú znázornené konce vývalku (15 mm na tenšom a aj hrubšom konci), ktoré sa odstrihnú pomocou výstupkov na segmente v tvare strižných hrán, ktorý je upevnený na valci (Obr. 1.4).



Obr. 1.3. Odstrihované konce vývalku



Obr. 1.4. Princíp priečného klinového valcovania (Šugár, 2009)

Objem odstrihovaných koncov po vyvalcovaní (V_{ok}) je 17 379,9 mm³.

Prídavok na opal: 2 % z objemu vývalku (objem hriadeľa a koncov na odstrihnutie).

$$V_{opal} = 0,02 \cdot (266\,166,2 + 17\,379,9) = 5\,670,9 \text{ mm}^3$$

Celkový objem polotovaru $V_{polotovaru}$:

$$V_{polotovaru} = V_{hriadeľ} + V_{opal} = 266\,166,2 + 17\,379,9 + 5\,670,9 = 289\,217 \text{ mm}^3$$

Hmotnosť polotovaru: 2,25 kg.

Konečné rozmery polotovaru : $\varnothing 55 \times 122 \text{ mm}$.

1.1.2 Postup výroby hriadeľa priečnym klinovým valcovaním

Rámcový technologický postup výroby hriadeľa PKV pozostáva z týchto operácií:

1. Príprava polotovaru rezaním na kotúčovej píle.
2. Indukčný ohrev polotovaru na hornú tvárniacu teplotu.
3. Priečne klinové valcovanie.
4. Kontrola rozmerov vývalku.
5. Tepelné spracovanie vývalku – normalizačné žíhanie.
6. Čistenie vývalku otryskávaním.
7. Kontrola vnútorných chýb pomocou ultrazvuku.
8. Konečná kontrola vývalku.

Ohrev polotovaru na hornú tvárniacu teplotu pred valcovaním bol realizovaný pomocou indukčného ohrievacieho zariadenia, ktoré je súčasťou pracoviska na PKV. Samotné PKV bolo realizované na valcovačke UL 45 A (fa Šmeral), uvedenej na Obr. 1.5a. Nástroje (segmenty) v tvare klina, upevnené na valce pomocou skrutiek sú znázornené na Obr. 1.5b.



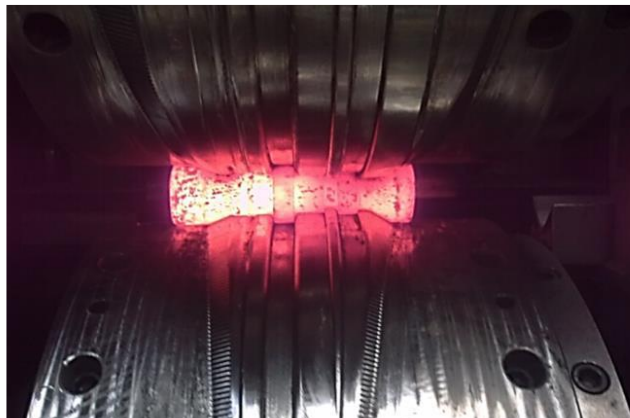
Obr. 1.5. Valcovačka UL 45 A na priečne klinové valcovanie (Ludrovcová, 2017)
a – celkový pohľad na valcovačku,
b – pohľad na valce s pripevnenými segmentmi na valcovanie hriadeľa

Pri valcovaní jednotlivých hriadeľov sa menili podmienky valcovania, ako je to uvedené v Tab. 1.1, potom sa jednotlivé hriadele analyzovali tomografom a ťahovou skúškou.

Tabuľka 1.1. Parametre experimentálneho valcovania

<i>Hriadeľ</i>	<i>Nastavená teplota ohrevu (°C)</i>	<i>Nameraná teplota valcovania (°C)</i>	<i>Čas valcovania (s)</i>	<i>Krútiaci moment (N.m)</i>
1	1 180 ± 20	1 175	5,55	95
2	1 230 ± 30	1 258	5,45	90
3	1 280 ± 20	1 300	5,56	80
4	1 230 ± 30	1 260	5,46	95
5	1 280 ± 20	1 265	5,78	100
6	1 230 ± 30	1 252	5,68	85

Na Obr. 1.6 je pohľad na valcovanie hriadeľa, kde jednotlivé časti tvarového segmentu počas otáčania valca postupne vnikajú do ohriateho materiálu a redukujú prierez na požadovaný rozmer. Valcovací segment je na dĺžke približne $\frac{3}{4}$ obvodu valca. Priemer tvárniacich valcov je 600 mm.



Obr. 1.6. Výroba hriadeľa priečnym klinovým valcovaním (Ludrovcová, 2017)

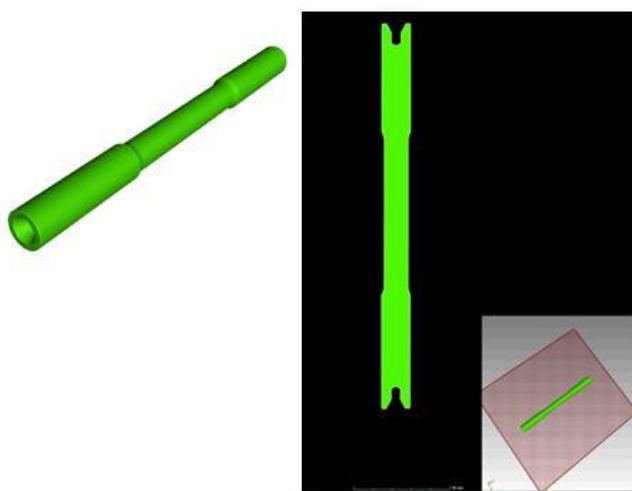
1.1.3 Kontrola hriadeľa z pohľadu vnútorných chýb

Na analýzu vnútorných chýb bol použitý tomograf Metrotom 1 500 (fa Carl Zeiss), uvedený na Obr. 1.7. Analýza bola robená na vzorkách, ktoré boli pripravené z jednotlivých analyzovaných hriadeľov, ktoré boli potom použité aj pri analýze mechanických vlastností pomocou ťahovej skúšky.

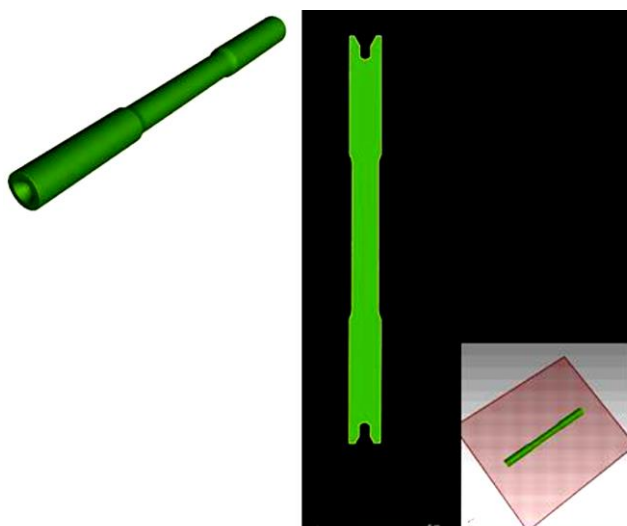
Z každého hriadeľa sa vyhotovili dve vzorky, s tvarmi a rozmermi uvedenými na Obr. 1.10, a to z hrubšieho a tenšieho konca hriadeľa, ktoré sú vyznačené na Obr. 1.11. Označenie T znamená, že vzorka bola vyhotovená z tenšieho konca, označenie H znamená, že sa vzorka vyhotovila z hrubšieho konca analyzovaného hriadeľa. Výsledky boli vyhodnocované v programe VG Studio MAX 3.0. Prípadová štúdia uvádza výsledok merania na vzorke z hriadeľa č. 1 (Tab. 1.1) z tenkej časti (1T) (Obr. 1.8) a z hrubej časti (1H) (Obr. 1.9) nakoľko ani pri jednej z testovaných vzoriek neboli zistené žiadne vnútorné chyby.



Obr. 1.7. Tomograf METROTOM 1 500



Obr. 1.8. Analýza vnútorných chýb pre vzorku 1T



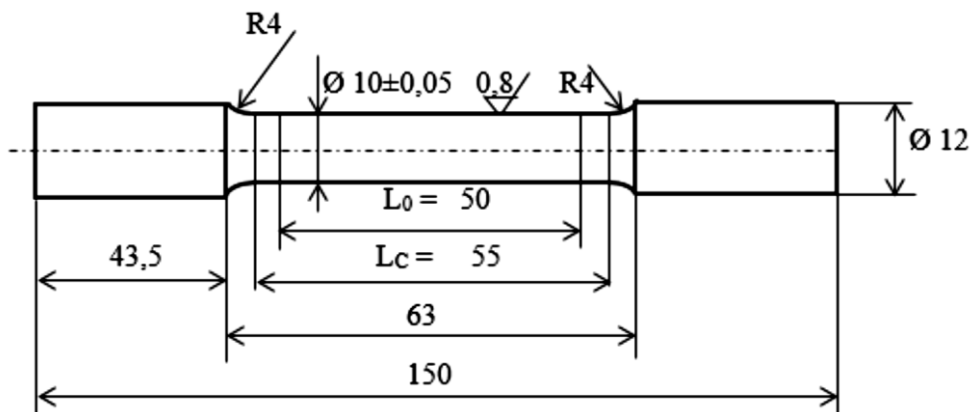
Obr. 1.9. Analýza vnútorných chýb pre vzorku 1H

Nakoľko pri výrobe hriadeľa technológiou PKV bola požadovaná od zákazníka 100 % kontrola z hľadiska vnútorných chýb, na kontrolu v prevádzkových podmienkach bola

navrhnutá a použitá kontrola pomocou ultrazvuku. Princíp ultrazvukových skúšok je založený na priamočiarom šírení ultrazvukových vln v skúšanom materiáli a na ich odraze na vytvorených chybách v materiáli. Za vnútornou chybou môže nastať čiastočný, alebo úplný ultrazvukový tieň. Dajú sa však zistiť len tie chyby, ktorých priečne rozmery (rozmery v rovine kolmej na smer šírenia ultrazvuku) sú väčšie ako $\frac{1}{2}$ vlnovej dĺžky ultrazvukových vln.

1.1.4 Kontrola mechanických vlastností

Mechanické vlastnosti boli kontrolované na základe ťahovej skúšky na vzorkách pripravených z polotovaru a aj z valcovaných hriadeľov podľa Obr.1.10.



Obr. 1.10. Tvar a rozmery skúšobných vzoriek použitých na ťahové skúšky

Ťahové skúšky boli realizované na univerzálnom skúšobnom zariadení EU 40 (fa VEB). Skúšobné vzorky boli vyrobené z polotovaru a z vyvalcovaných hriadeľov, konkrétne z hrubšieho a tenšieho konca každého hriadeľa, ktoré sú vyznačené na Obr. 1.11. Ťahové skúšky sa realizovali v súlade s normou STN EN ISO 6892-1.



Obr. 1.11. Oblasti hriadeľov, z ktorých boli vyrobené skúšobné vzorky na ťahové skúšky

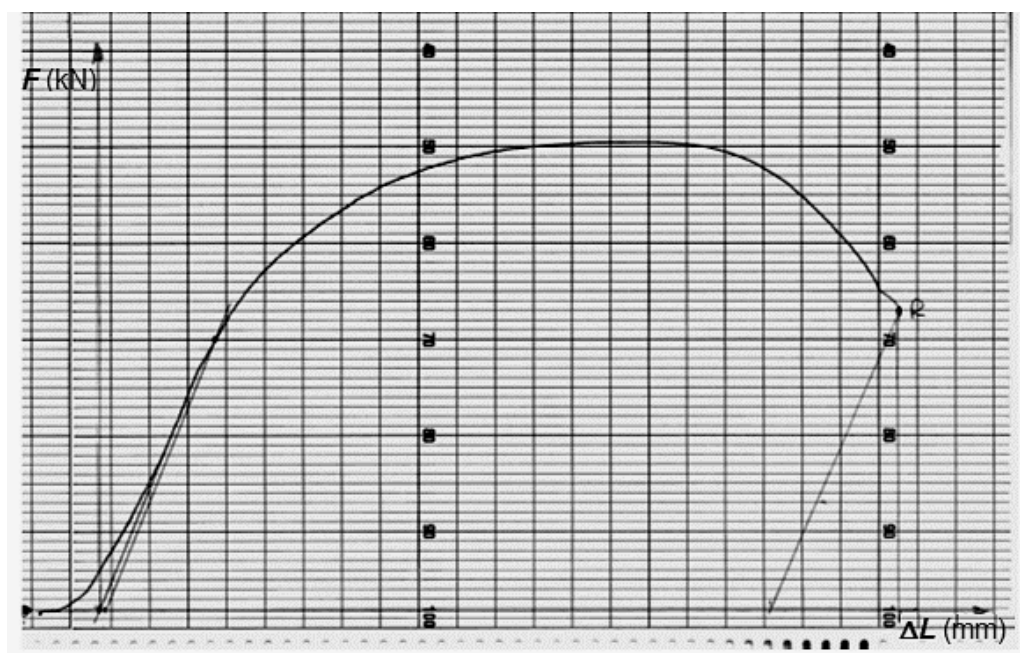
Ťahové skúšky boli realizované na 3 skúšobných vzorkách, pripravených zo základného materiálu (polotovaru). Stredné hodnoty nameraných veličín pre základný materiál sú: medza klzu $R_{p0,2} = 360$ MPa, pevnosť v ťahu $R_m = 615$ MPa, ťažnosť $A_{50} = 35$ % a kontrakcia $Z = 65$ %.

Potom bola realizovaná ťahová skúška na vzorkách pripravených z vývalkov. Ťahovou skúškou na vzorkách po valcovaní sa sledoval vplyv valcovania za tepla na zmenu mechanických vlastností materiálu po valcovaní. Na základe výsledkov bol zistený pokles

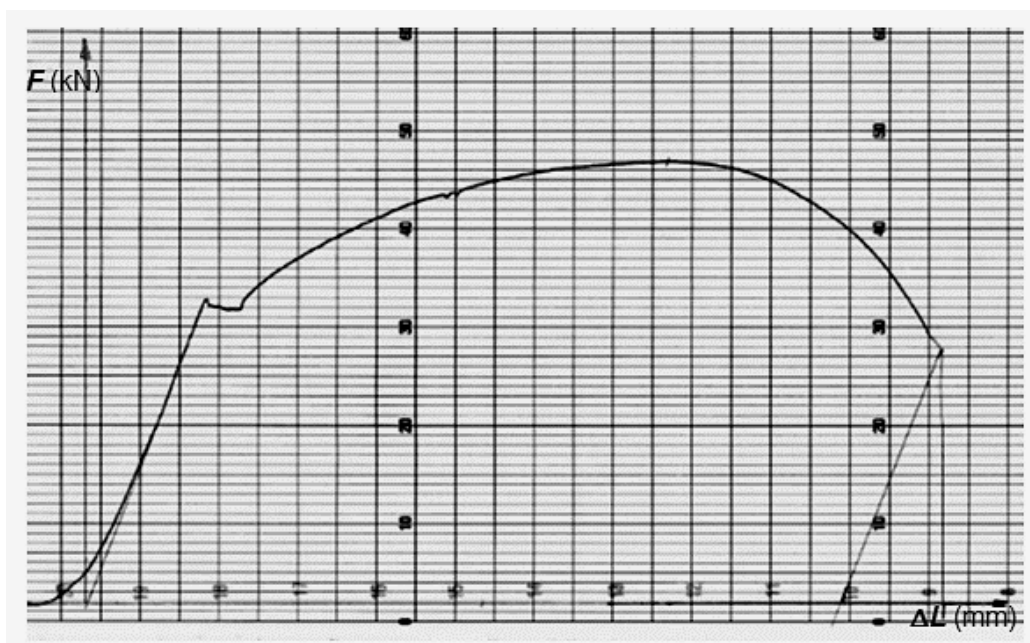
pevnosti v ťahu (R_m) a nárast charakteristík plasticity (A , Z). Zaujímavým zistením bola tiež skutočnosť, že vstupný materiál pred valcovaním nevykazoval výraznú medzu klzu (Obr. 1.12), avšak po valcovaní materiál výraznú medzu klzu vykazoval (Obr. 1.13). Výsledky ťahovej skúšky na vzorkách po valcovaní sú uvedené v Tab. 1.2.

Tabuľka 1.2. Výsledky ťahovej skúšky na vzorkách po valcovaní

Vzorka	Medza klzu horná R_{eH} (MPa)	Medza klzu dolná R_{eL} (MPa)	Pevnosť v ťahu R_m (MPa)	Ťažnosť A_{50} (%)	Kontrakcia Z (%)
1T	391	372	565	41	74
1H	396	374	560	42	74
2T	388	376	565	39	74
2H	396	370	552	41	73
3T	397	385	577	38	73
3H	397	372	563	41	73
4H	359	359	551	41	73



Obr. 1.12. Diagram z ťahovej skúšky základného materiálu v súradniciach sila F a predĺženie ΔL



Obr. 1.13. Diagram z ťahovej skúšky vzorky 3T v súradniciach sila F a predĺženie ΔL

1.1.5 Určenie veľkosti pretvorenia

Z hľadiska procesu tvárnenia bolo potrebné určiť aj veľkosť pretvorenia aj stupeň pretvorenia materiálu. Výpočet veľkosti pretvorenia bol realizovaný v mieste najmenšieho priemeru hriadeľa, kde je maximálne skutočné pretvorenie $\varphi_{max} = 1,97$, kde sa vychádzalo zo zmeny prierezov pri PKV podľa vzťahu (1.1):

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S} \quad (1.1)$$

kde S_0 je prierez polotovaru v mm,

S – prierez v najmenšom priemere hriadeľa v mm.

Stupeň pretvorenia (K_{max}) bol určovaný v mieste najmenšieho priemeru hriadeľa a jeho hodnota je 7,2, kde sa vychádzalo zo vzťahu (1.2):

$$K = \frac{S_0}{S} \quad (1.2)$$

kde S_0 je prierez polotovaru v mm,

S – prierez v najmenšom priemere hriadeľa v mm.

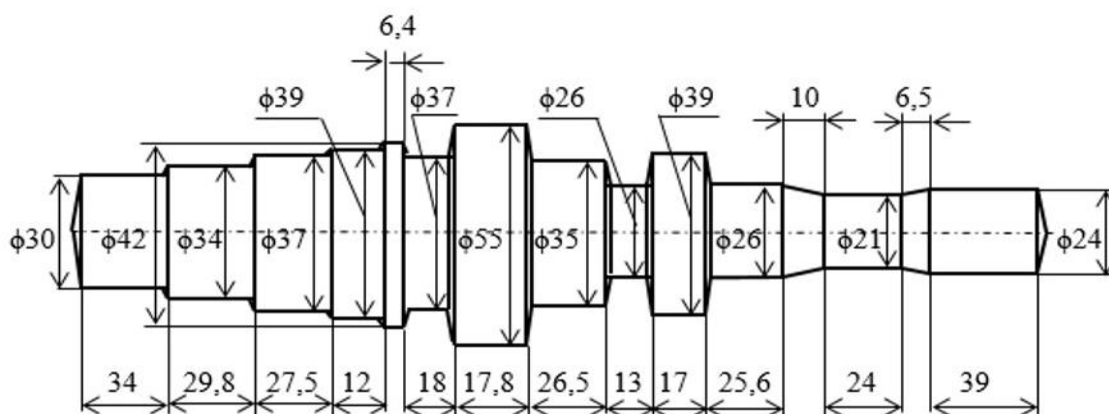
Tieto hodnoty veľkosti pretvorenia sú dôležité z hľadiska predikcie vývoja štruktúry materiálu valcovaného hriadeľa.

1.2 Výroba hriadeľa zápustkovým kovaním

Výroba hriadeľa zápustkovým kovaním v otvorenej zápustke (s výronkom) na zvislom kľukovom kovacom lise je alternatívou k výrobe daného hriadeľa priečnym klinovým valcovaním v prípade ak by došlo k poruche valcovačky alebo v prípade poškodenia valcovacích segmentov, či nutnosti ich renovácie.

1.2.1 Návrh polotovaru na kovanie v otvorenej zápustke

Na Obr. 1.14 je hriadeľ, ktorý bol navrhnutý ako alternatíva k výrobe vývalku technológiou PKV, rovnako z materiálu 16MnCr5, STN 41 4220 (1.7131). Na obrázku sú uvedené rozmery a tvar výkovku, ktorý bude kovaný v otvorenej zápustke, a ktorého nekótované úkosity sú 3° prechodové polomery medzi jednotlivými priermi sú R5 a vonkajšie polomery na výkovku sú R2.



Obr. 1.14. Rozmery a tvar výkovku kovaného v otvorenej zápustke

Objem výkovku: $V_{výk} = 271\,657,3 \text{ mm}^3$.

Objem výronku: $V_{výr} = 0,7 \cdot S_{výr} \cdot [O_v + 4 \cdot (b + b_1)]$.

Výška mostíka výronkovej drážky: $h_{výr} = 0,017 \cdot \sqrt{S_{výk}}$.

Pôdorysná plocha výkovku: $S_{výk} = 9\,847,9 \text{ mm}^2$.

Výška mostíka výronkovej drážky: $h_{výr} = 1,687 \text{ mm}$, z čoho finálny rozmer je $h_{výr} = 1,6 \text{ mm}$.

Rozmery výronkovej drážky: $b = 6 \text{ mm}$, $b_1 = 25 \text{ mm}$, $h_1 = 4 \text{ mm}$.

Prierez výronkovej drážky: $S_{výr} = 109 \text{ mm}^2$.

Obvod výkovku: $O_v = 758,2 \text{ mm}$.

Objem výronku: $V_{výr} = 0,7 \cdot 109 \cdot [758,2 + 4 \cdot (6 + 25)] = 67\,311,9 \text{ mm}^3$.

Objem opalu: $V_{opal} = 0,02 \cdot (271\,657,3 + 67\,311,9) = 6\,779,4 \text{ mm}^3$.

Objem polotovaru: $V_{polotovaru} = 271\,657,3 + 67\,311,9 + 6\,779,4 = 345\,748,6 \text{ mm}^3$.

Hmotnosť polotovaru (vsádzková hmotnosť): 2,7 kg.

Rozmery polotovaru: $\varnothing 55 \times 145,6 \text{ mm}$.

1.2.2 Postup výroby hriadeľa zápustkovým kovaním

Rámcový technologický postup výroby hriadeľa zápustkovým kovaním pozostáva z týchto operácií:

1. Príprava polotovaru rezaním na kotúčovej pile.
2. Indukčný ohrev polotovaru na hornú kovaciu teplotu.
3. Predkovanie polotovaru v predlžovacej a tvarovacej dutine.
4. Dokovanie v dokončovacej dutine.
5. Ostrihnutie výronku.
6. Kontrola rozmerov výkovku.
7. Tepelné spracovanie výkovku – normalizačné žihanie.
8. Čistenie výkovku otryskávaním.
9. Konečná kontrola tvaru a rozmerov.

1.2.3 Výpočet sily na kovanie a návrh výrobného zariadenia

Výpočet kovacej sily bol realizovaný dvoma spôsobmi, a to: podľa Storoževa a podľa Rebelského (Bílik a kol., 2004, Bača, 2005, Kostka a kol., 1995). Tvárniaca sila podľa Storoževa sa vypočíta podľa vzťahu (1.3):

$$F = F_1 + F_2 = k_{ps} \cdot m_1 \cdot S_1 + k_{ps} \cdot m_2 \cdot S_2 \quad (1.3)$$

kde $S_1 = S_{výk}$ je pôdorysná plocha výkovku v mm^2 ($S_1 = 9\,847,9 \text{ mm}^2$),

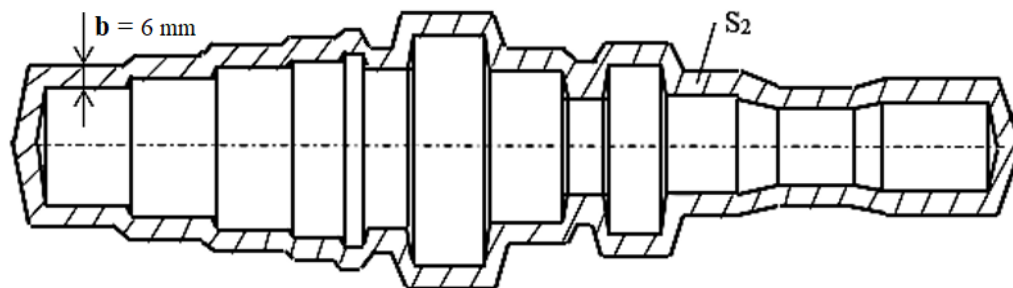
S_2 – pôdorysná plocha mostíka výronkovej drážky v mm^2 (Obr. 1.15) ($S_2 = 4\,153,2 \text{ mm}^2$),

k_{ps} – stredná pretvárna pevnosť kovaného materiálu v MPa, v závislosti od kovacích teplôt (pre oceľ s pevnosťou v ťahu 600 MPa a pre hornú kovaciu teplotu 1 150 °C ($k_{pHKT} = 36 \text{ MPa}$) a dolnú kovaciu teplotu 800 °C ($k_{pDKT} = 111 \text{ MPa}$), z čoho vyplýva, že $k_{ps} = \frac{36+111}{2} = 73,5 \text{ MPa}$),

m_1, m_2 – súčinitele vonkajších vplyvov zápustkového kovania (pre daný výkovok je:

$$m_1 = 1,15 \cdot \left(1 + \frac{b}{h_{výr}} + 0,15 \cdot \frac{A_v}{h_{výr}}\right) \text{ a } m_2 = 1,15 \cdot \left(1 + \frac{b}{h_{výr}}\right), \text{ a teda } m_1 = 24,6 \text{ a } m_2 = 5,46).$$

Celková kovacia sila podľa Storoževa je: $F_{K_Storožev} = 19472\,708,7 \text{ N} = 19472,7 \text{ kN}$.



Obr. 1.15. Znáznornenie pôdorysnej plochy mostíka výronkovej drážky okolo výkovku

Tvárníaca sila podľa Rebelského sa vypočíta podľa vzťahu (1.4):

$$F = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{red}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{red}}\right)^2 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L}{B}}\right) \cdot k_p \cdot S \quad (1.4)$$

kde L je dĺžka výkovku v mm ($L = 300,7$ mm),

B – šírka výkovku v mm ($B = 55$ mm),

k_p – pretvárná pevnosť materiálu v MPa pri dolnej kovacej (dokovacej) teplote (pre ocel s pevnosťou v ťahu 600 MPa, pre dolnú kovaciu teplotu 800 °C je $k_p = k_{pDKT} = 111$ MPa),

$S = S_{výk}$ – pôdorysná plocha výkovku v mm² ($S_{výk} = 9\,847,9$ mm²),

D_{red} – redukovaný priemer výkovku v mm (pôdorysná plocha výkovku prepočítaná na výkovok s kruhovým pôdorysom, kde sa vychádza zo vzťahu $\frac{\pi \cdot D_{red}^2}{4} = S_{výk}$, z čoho vyplýva, že redukovaný priemer výkovku je: $D_{red} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{výk}} = 1,13 \cdot \sqrt{9\,847,9} = 112,14$ mm).

Celková kovacia sila podľa Rebelského je: $F_{K_Rebelský} = 15\,654\,927,4$ N = 15 655 kN.

Podľa vypočítanej kovacej sily bol na kovanie v prípade náhrady za PKV navrhnutý zvislý kovací lis LZK 2 500 (fa Šmeral) (Obr. 1.16) s menovitou silou $F_m = 25\,000$ kN, nachádzajúci sa vo firme kde bude výroba hriadeľa primárne realizovaná technológiou PKV.



Obr. 1.16. Zvislý kovací lis LZK 2 500 použitý na kovanie hriadeľa

1.2.4 Výpočet ostrihovacej sily a návrh výrobného zariadenia

Výpočet ostrihovacej sily F_o podľa (Bílik a kol., 2004, Bača, 2005, Dvořák a kol., 2005) bol vykonaný za účelom návrhu a kontroly ostrihovacieho lisu, podľa vzťahu (1.5):

$$F_o = k \cdot \tau_s \cdot S \quad (1.5)$$

kde k je súčiniteľ vonkajších vplyvov strihania (pri ostrihovaní výronku je to: $k = 1,7$),

τ_s – strižný odpor materiálu v MPa, ktorý závisí od teploty pri ostrihovaní výkovku (strižný odpor kovaného materiálu s pevnosťou materiálu v ťahu $R_m = 600$ MPa, pri predpokladanej teplote ostrihovania 700°C je $\tau_s = k_{p700^\circ\text{C}} = 150$ MPa),

S – strižná plocha v mm^2 (pri ostrihovaní výronku je to: $S = O_v \cdot 2 \cdot h_{výr} = 758,2 \cdot 2 \cdot 1,6 = 2\,426,2$ mm^2).

Celková sila na ostrihovanie je: $F_o = 1,7 \cdot 150 \cdot 2\,426,2 = 618\,681$ N = 618,7 kN.

Na ostrihovanie bol navrhnutý ostrihovací lis LDO 315 A (fa Šmeral) (Obr. 1.17), ktorý je súčasťou kovacej linky, a ktorý z hľadiska vypočítanej ostrihovacej sily plne vyhovuje nakoľko menovitá sila lisu je $F_m = 3\,150$ kN.



Obr. 1.17. Ostrihovací lis LDO 315 A

Záver

Pri výrobe hriadeľa priečnym klinovým valcovaním (PKV) boli rozmery polotovaru $\varnothing 55 \times 122$ mm s hmotnosťou 2,25 kg. Pri zápusťkovom kovaní boli rozmery polotovaru $\varnothing 55 \times 145,6$ mm s hmotnosťou polotovaru 2,7 kg. Úspora materiálu pri PKV predstavovala 0,45 kg na jeden hriadeľ.

Teoretická produktivita pri PKV pri bezporuchovom nepretržitom chode linky tvorenej indukčným ohrievacím zariadením, valcovačkou na PKV, sklzmi, dopravníkmi a snímačmi teploty ohriateho polotovaru, pracujúcej v automatickom režime je približne 10 ks za minútu. Reálna produktivita, napr. z dôvodu nesprávneho ohrevu polotovaru, medzioperačnej manipulácie a pod. je 7 až 8 ks za minútu. Teoretická produktivita pri zápusťkovom kovaní pri bezporuchovom chode kovacej linky tvorenej indukčným ohrievacím zariadením, kovacím lisom, ostrihovacím lisom, sklzmi, dopravníkmi, snímačmi teploty ohriateho polotovaru, mazacou pištoľou pracujúcej s ručnou obsluhou je približne 5 ks za minútu. Reálna produktivita vzhľadom na nutné prestávky pracovníkov a neplánované prestoje (z dôvodu nesprávneho ohrevu polotovaru a pod.) je 3 až 4 ks za minútu. Z čoho vyplýva, že produktivita výroby pri PKV je približne dvojnásobná oproti zápusťkovému kovaníu.

Ďalším benefitom technológie PKV bolo výrazné zníženie pracovného zaťaženia obsluhy, ktorej úlohou je kontrolná činnosť linky a vizuálna kontrola hriadeľov. Výhodou je aj zníženie počtu pracovníkov. Pri aplikácii PKV linku obsluhuje 1 pracovník a pri zápusťkovom kovaní sú to 2 pracovníci (jeden obsluhuje kovací lis a druhý ostrihovací lis). Určitou nevýhodou zavedenia výroby hriadeľa PKV je okrem kontroly rozmerov a tvaru aj požiadavka na 100 % kontrolu vyrobených hriadeľov z hľadiska možného vzniku vnútorných chýb, aj napriek tomu, že pri overovacej sérii na testovaných vzorkách neboli zistené vnútorné chyby, ktoré by súviseli s tzv. Mannesmannovým efektom.

Zoznam bibliografických odkazov

BAČA, J. 2005. *Objemové tvárnenie: Zápusťkové kovanie*. 1. vyd. Bratislava: STU v Bratislave, 2005. 161 s. Dostupné na internete: <<https://sweb.mtf.stuba.sk>>. ISBN 80-227-2176-X.

BÍLIK, J., KAPUSTOVÁ, M., ULÍK, A. 2004. *Technológia tvárnenia. Návod na cvičenia*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. 171 s. ISBN 80-227-2099-2.

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., ŽÁK, L. 2005. *Technologie tváření. Návod do cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, VUT, FSI. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.

KOSTKA, P., LUKŠIC, J., PODOLSKÝ, M. 1995. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1995. 205 s. ISBN 80-227-0793-7.

LI, Q., LOVELL, M. R., SLAUGHTER, W., TAGAVI, K. 2002. Investigation of the morphology of internal defects in cross wedge rolling. *Journal of Materials Processing Technology*, p. 125-126, s. 248-257. ISSN: 0924-0136.

LUDROVCOVÁ, B. 2017. Rozbor procesov valcovania a tvorba vnútorných chýb vývalkov. Diplomová práca. Trnava: 2017.

PATER, Z. 2014. *Cross-Wedge Rolling*. In *Comprehensive Materials Processing*. Vol. 3, pp 211–279. ISBN: 9780080965321.

ŠUGÁR, P. a ŠUGÁROVÁ, J. 2009. *Výrobné technológie – zlievanie, zváranie, tvárnenie*. Nakladateľstvo Dali-BB, Banská Bystrica, 291 s. ISBN 978-80-89090-587.