

# VLIV TVÁŘENÍ NA MECHANICKÉ A CREEPOVÉ VLASTNOSTI MARTENZITICKÝCH OCELÍ

## INFLUENCE OF FORGING ON MECHANICAL AND CREEP PROPERTIES OF MARTENSITIC STEEL

Tomáš Vlasák <sup>a)</sup>, Šárka Neumannová <sup>a)</sup>, Jan Hakl <sup>a)</sup>, Jan Čech <sup>b)</sup> a Pavel Růžička <sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> SVÚM a.s., Tovární 2053, 250 88 Čelákovice

<sup>b)</sup> ŽĐAS a.s., Strojírenská 6, 591 71 Žďár nad Sázavou

### Abstrakt

V rámci ověřování výrobní technologie byl na martenzitických ocelích P91 a P92 studován vliv tváření na mechanické a creepové vlastnosti. Z ingotů obou materiálů byly vykovány osazené hřídele o různém průměru. Stupeň prokování se pohyboval od  $P_k = 3$  do  $P_k = 13$  v případě oceli P91 a od  $P_k = 11,6$  do  $P_k = 24,2$  u oceli P92. Výsledky byly získány při spolupráci společností SVÚM a.s. a ŽĐAS a.s. za podpory TA ČR.

### Abstract

The influence of forming on mechanical and creep properties was studied on the P91 and P92 martensitic steels as part of the verification of production technology. Shoulder shafts of different diameters were forged from ingots of both materials. The degree of forging varied from  $P_k = 3$  to  $P_k = 13$  for P91 and from  $P_k = 11,6$  to  $P_k = 24,2$  for P92. The results were obtained in cooperation with SVÚM a.s. and ŽĐAS a.s. with the support of TA ČR.

### Úvod

Součástí ověřování výrobní technologie žárovevných ocelí X10CrMoVNb91 (P91) a X10CrWMoVNb92 (P92) bylo ověřování vlivu stupně prokování na krátkodobé i dlouhodobé mechanické vlastnosti těchto ocelí. V případě P91 byl ke studiu použit materiál tavby 40529, u oceli P92 pak tavba 57448, jejichž chemická složení jsou uvedena v tab. 1 a v tab. 2 [1]. Stupně prokování ( $P_k$ ) byly u oceli P91  $P_k = 3$  až 13, u oceli P92 bylo  $P_k = 11,6$  až 24,2. Na takto zpracovaných materiálech byly studovány krátkodobé mechanické a žárovevné vlastnosti. Výsledky studia jsou podrobně popsány ve zprávách [2], [3].

### Experimentální materiál

U oceli P91 byl ke studiu použit zkušební ingot o hmotnosti 4350 kg, který byl na hydraulickém lisu tvářen v rozmezí teplot 1200–950 °C. Stupeň prokování byl  $P_k = 3$  a více. Z teploty tváření byl materiál ochlazován řízeným způsobem a pak tepelně zpracován postupem 1050 °C/olej + 760 °C/vzduch. Poté byl materiál ohrubován a byly provedeny ultrazvukové a magnetické zkoušky. Ty prokázaly, že v materiálu nejsou defekty. Z vytvořených stupňů prokování ( $P_k=3; 5,25$  a 13) byly odebrány vzorky pro krátkodobé mechanické a creepové zkoušky.

Z ocele P92 byl vykován z obdobného ingotu při teplotách 1200–950 °C výkovek hřídele, přičemž prokování bylo  $P_k = 11,6$  až 24,2. Poté byl výkovek řízeně ochlazen a následovalo tepelné zpracování 1065 °C/polymerová lázeň + 750 °C/vzduch. Opět byly vykonány defektoskopické zkoušky a po jejich vyhovujících výsledcích byly odebrány vzorky pro zkoušky mechanických a creepových vlastností. Podrobnější popis přípravy experimentů je ve zprávách [2], [3].

### Vliv tváření na vlastnosti ocele P91

Krátkodobé vlastnosti oceli P91 (X10CrMoVNb91)  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  a  $A_5$  byly studovány při pokojové teplotě na šesti variantách materiálu, prokovaného stupněm prokování  $P_k = 3; 5,25$ . Z každého stupně byly odebrány vzorky z povrchu, jedné čtvrtiny od povrchu a poloviny průřezu.

Vlastnosti byly zjišťovány na vzorcích odebraných v podélném i příčném směru. Zjištěné výsledky jsou uvedeny v tab. 3. Kromě toho byly určovány vrubové houževnatosti při pokojové teplotě a krátkodobé vlastnosti při teplotě 350 °C. Tyto vlastnosti měly obdobný charakter a je možno je nalézt v [2]. Ze zjištěných hodnot však lze konstatovat, že nebyla zjištěna žádná závislost krátkodobých vlastností na místě odběru vzorků.

Pro zjištění vlivu tváření na creepové vlastnosti byly provedeny zkoušky na vzorcích se stupněm prokování 3, 5,25 a 13. Stejně jako u krátkodobých vlastností byl zkoušen materiál, který byl odebrán z příčného i podélného směru. Zkoušky byly provedeny při teplotách 550 °C, 600 °C a 650 °C a vyhodnoceny Seifertovým modelem s Larson–Millerovým parametrem LMP [4].

Závislost napětí na LMP je zobrazena na obr. 1 pro podélně orientované vzorky. Na obr. 2 jsou ukázány výsledky příčně orientovaných vzorků. Z obrázků je zřejmé, že zatímco u prokování  $P_k = 3$  a  $P_k = 5,25$  nedochází k ovlivnění mechanických vlastností, u prokování  $P_k = 13$  dochází při vyšších parametrech zkoušení ke zlepšení creepových vlastností materiálu.

### Vliv tváření na vlastnosti ocele P92

Krátkodobé mechanické vlastnosti ocele P92 (X10CrWMoVNb92) byly zjišťovány na vzorcích, odebraných z jedné čtvrtiny a poloviny průřezu výkovku, a to v podélném i příčném směru. Pro jednotlivé stupně prokování (11,6, 15,7 a 24,2) byly zkoušeny, stejně jako v případě ocele P91, tyto vlastnosti:  $R_m$ ,  $R_{p,2}$ ,  $A_5$ ,  $Z$  při pokojové teplotě a při 350 °C a dále vrubová houževnatost. Dále uvádíme jen výsledky základních mechanických vlastností a vrubové houževnatosti při pokojové teplotě v tab. 4. Při pohledu na výsledky uvedené v tab. 4 můžeme konstatovat, že míra prokování nemá vliv na krátkodobé mechanické vlastnosti oceli P92. Tento poznatek je obdobný jako v případě ocele P91.

Na materiálu byl dále studován vliv prokování na žárupevné vlastnosti při teplotách 600 °C, 625 °C a 650 °C. Výsledky creepových zkoušek byly vyhodnoceny Seifertovým modelem [4] stejně jako výsledky ocele P91. Na obr. 3 jsou srovnány výsledky creepových zkoušek, dosažené na vzorcích odebraných v podélném směru. Na obr. 4 jsou zobrazeny výsledky vzorků, získané na příčném směru. Z grafů není patrný žádný vliv stupně prokování na žárupevné vlastnosti ocele P92.

### Závěr

Vliv tváření na vlastnosti ocelí P91 a P92 byl sledován pro stupně prokování  $P_k = 3$  až 13 (ocel P91) a v druhém případě pro  $P_k = 11,6$  až 24,2 (ocel P92). Z výsledků zkoušek krátkodobých mechanických vlastností není patrný vliv stupně prokování na  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  a  $A_5$ . Creepové zkoušky materiálu P92 ukazují, že průběh středních hodnot je stejný pro všechny tři stupně prokování (obr. 5). V případě oceli P91 je průběh středních hodnot rovněž téměř stejný, pouze při vyšších parametrech zkoušek se ukazují vyšší žárupevné vlastnosti pro  $P_k = 13$  (obr. 6).

### Literatura

- [1] ASTM (2011): *A335/A335M – 11: Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service.*
- [2] Vlasák, T., Sochor, J. (2010): *Aplikovaný výzkum a optimalizace výroby a svařování (9-12)% Cr modifikované ocele v podmínkách průmyslu ČR.* Dílčí technická zpráva, FR-TII/257/2010-2, SVÚM a.s.
- [3] Neumanová, Š., Vlasák, T.: *Studium vlivu stupně prokování na vlastnosti ocele X10CrWMoVNb92.* Průběžná zpráva, TG03010032-31-1/4, SVÚM a.s.

[4] Seifert, W., Melzer, B. (1992): *Rechnerische Auswertung von Zeitstandversuchen am Beispiel des Stahles 13CrMo4-4.15*. Vortragveranstaltung „Langezeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, Düsseldorf.

[5] European Creep Collaborative Committee (2005): *ECCC Data Sheets*. ETD Ltd.

Tab. 1: Chemické složení oceli P91 [hm. %] [1]

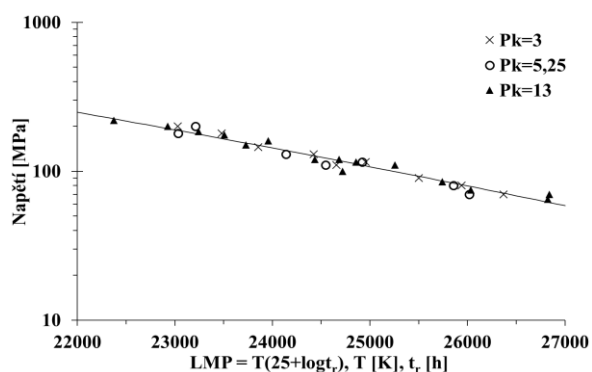
Tavba	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Al	N
min	0,08	0,30	0,20			8,00		0,85	0,18	0,06		0,03
max	0,12	0,60	0,50	0,02	0,01	9,50	0,40	1,05	0,25	0,1	0,04	0,07
40529	0,09	0,50	0,43	0,017	0,003	8,15	0,31	0,89	0,21	0,08	0,007	0,038

Tab. 2: Chemické složení oceli P92 [hm. %] [1]

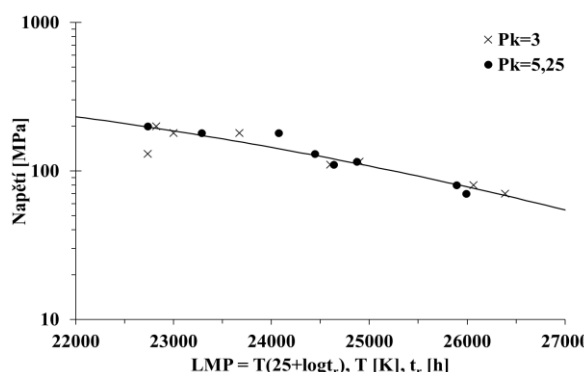
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Nb	Al	N
min	0,07	0,3				8,5		0,3	0,15	1,5	0,04		0,03
max	0,13	0,6	0,5	0,02	0,01	9,5	0,4	0,6	0,25	2	0,09	0,04	0,07
57448	0,1	0,47	0,22	0,017	0,002	8,9	0,4	0,58	0,2	1,71	0,068	0,005	0,0476

Tab. 3: Mechanické vlastnosti ocele P91 [1]

Odběr vzorků		P <sub>k</sub> =3				P <sub>k</sub> =5,25			
		R <sub>m</sub> [MPa] min.585	R <sub>p0,2</sub> [MPa] min.415	A <sub>5</sub> [%] min.19	Z [%]	R <sub>m</sub> [MPa] min.585	R <sub>p0,2</sub> [MPa] min.415	A <sub>5</sub> [%] min.19	Z [%]
z povrchu	podélné	652	497	24,2	73,0	652	488	24,0	73,0
	příčné	651	494	22,6	69,8	653	484	22,8	70,8
1/4 od povrchu	podélné	657	490	23,2	70,8	639	486	24,2	74,0
	příčné	657	497	23,0	68,6	643	484	24,0	69,8
1/2 od povrchu	podélné	654	497	23,0	70,8	637	477	23,8	74,0
	příčné	661	497	26,8	67,5	637	471	23,2	66,4



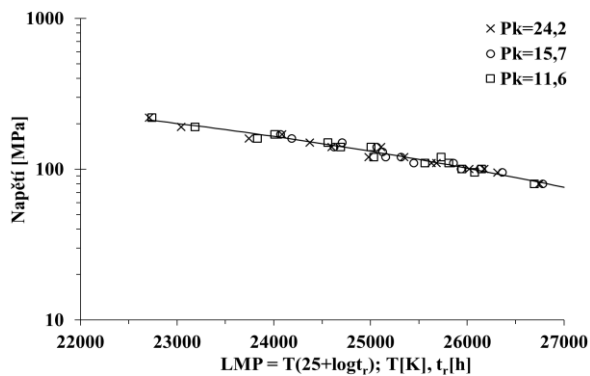
Obr. 12: Žárupevné vlastnosti ocele P91; P<sub>k</sub>=3, P<sub>k</sub>=5,25 a P<sub>k</sub>=13; podélně orientované vzorky



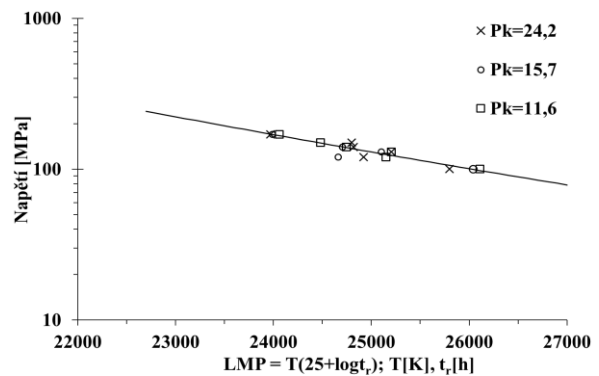
Obr. 13: Žárupevné vlastnosti ocele P91; P<sub>k</sub>=3, P<sub>k</sub>=5,25; příčně orientované vzorky

Tab. 4: Mechanické vlastnosti ocele P92 [1]

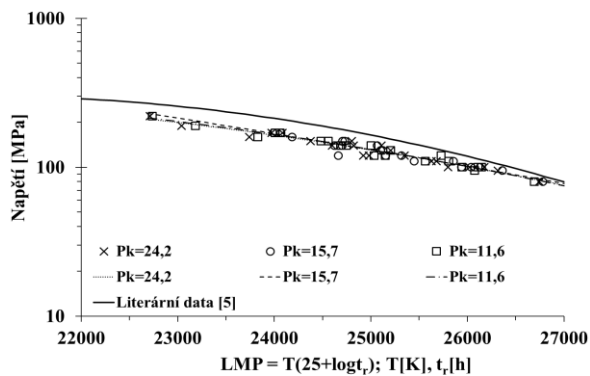
P <sub>k</sub>	Místo odběru	R <sub>p0,2</sub> /R <sub>m</sub> 20°C				KV [J]		
		R <sub>p0,2</sub> [MPa] min. 440	R <sub>m</sub> [MPa] min. 620	A <sub>5</sub> [%] min.19	Z [%]	příčná min. 41, podélná min. 68		
						1	2	3
11,6	1/2 Re podélná	478	640	23,3	66,40	136	134	135
	1/2 Re příčná	500	668	18,2	46,70	65	69	61
	1/4 Re podélná	495	665	22,0	64,00	137	131	134
	1/4 Re příčná	495	667	21,0	57,80	73	60	62
15,7	1/2 Re podélná	493	662	23,3	61,65	130	163	145
	1/2 Re příčná	507	675	19,9	31,10	68	60	52
	1/4 Re podélná	500	667	21,9	60,95	143	158	161
	1/4 Re příčná	513	682	19,9	59,95	57	86	73
24,2	1/2 Re podélná	490	649	25,0	66,40	167	177	175
	1/2 Re příčná	498	662	21,2	56,40	63	66	86
	1/4 Re podélná	503	674	23,4	67,50	171	174	190
	1/4 Re příčná	502	666	21,3	59,00	58	79	78



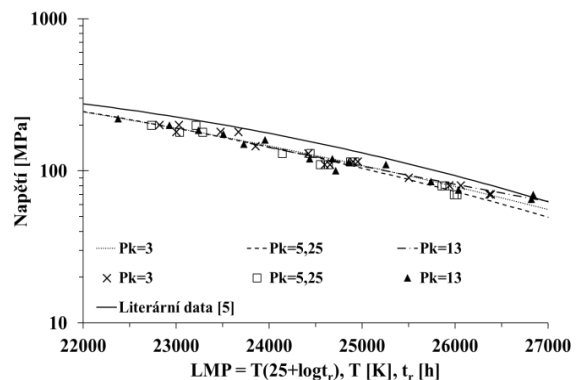
Obr. 3: Creepové vlastnosti ocele P92 v podélném směru



Obr. 4: Creepové vlastnosti ocele P92 v příčném směru



Obr. 5: Vliv stupně prokování na creepové vlastnosti oceli P92



Obr. 6: Vliv stupně prokování na creepové vlastnosti oceli P91