

MECHANICKÉ A STRUKTURNÍ VLASTNOSTI ORBITÁLNÍCH SVAROVÝCH SPOJŮ Z OCELÍ P91 A P92 PO DLOUHODOBÉ LABORATORNÍ DEGRADACI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLŮT

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURES OF NARROW GAP ORBITAL WELDED P91 AND P92 STEELS AFTER LONG-TERM LABORATORY AGEING AT ELEVATED TEMPERATURES

Michal Junek^{a)b)}, Marie Svobodová^{a)}, Ladislav Horváth^{a)} a Jiří Janovec^{b)}

^{a)} UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, 156 10 Praha - Zbraslav

^{b)} Ústav materiálového inženýrství FS ČVUT v Praze, Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2

Abstrakt

Příspěvek se zabývá hodnocením mechanických a strukturních vlastností homogenních a heterogenních orbitálních svarových spojů do úzkého úkosu z martenzitických ocelí P91 a P92 po dlouhodobém laboratorním degradačním žihání za zvýšených teplot až 700 °C po dobu až 30 000 hodin. Výstupem tohoto hodnocení jsou kinetické závislosti změn strukturních a mechanických vlastností během teplotního namáhání.

This paper deals with an evaluation of mechanical properties and microstructures of similar and dissimilar narrow gap orbital welds of martensitic P91 and P92 steels after long-term laboratory ageing at elevated temperatures (up to 700 °C for up to 30 000 hours). As a conclusion of this assessment, the kinetic dependencies of structure and mechanical properties changes during long-term exposure at high temperatures are presented.

Úvod

Hlavním rozdílem mezi ručním a orbitálním procesem svařování je výrazné zkrácení strojních časů (příprava svarových ploch a proces svařování), a to přibližně o 20 až 30%. Z čehož plyne, že celková velikost vnesené tepelné energie a průběh teplotního pole jsou odlišné. Pokud použijeme v literatuře často používané zobrazení závislosti mezi místem svarového spoje a fázovým diagramem, musíme předpokládat rozdílné šířky jednotlivých tepelně ovlivněných zón dané jiným průběhem nestacionárního teplotního pole při svařování.

Z pohledu normou předepsaných zkoušek je jak ruční, tak orbitální svařování zvládnuto. Co ale pro volbu použité technologie chybí, jsou podklady o chování orbitálních svarů po dlouhodobé teplotní expozici.

Experimentální materiál

Orbitální homogenní svarový spoj do úzkého úkosu oceli P91 (OD 355 x 40 mm) byl svařen v poloze PK a PC a následně tepelně zpracován v peci 755 °C/3 h. Orbitální heterogenní svarový spoj ocelí P91/P92 parovodní trubky o rozměrech OD 324 x 28 mm z oceli P91 a parovodní trubky o rozměrech OD 330 x 55 mm z oceli P92 (která byla obrobena na rozměry OD 324 x 28 mm) byl svařen taktéž v poloze PK a PC a následně tepelně zpracován v peci 760 °C/3 h.

Výše uvedené svarové spoje byly vystaveny laboratornímu degradačnímu žihání na vzduchu v elektrických odporových pecích, viz Tab. 1.

Mikrostrukturní rozbor

Degradační žihání při teplotě 650 °C po dobu až 30 000 hodin nemělo výrazný vliv na strukturní vlastnosti jednotlivých oblastí homogenních a heterogenních svarových spojů. Svarové kovy (SK) jsou tvořeny výrazněji popuštěnou martenzitickou mikrostrukturou,

mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti (TOO) homogenního svarového spoje je pozvolná bez výrazných hranic mezi jednotlivými pásmy. Naopak u heterogenního svarového spoje se v TOO na straně oceli P91 po 30 000 hodinách expozice začínají objevovat zhrublé oblasti tvořené čistě feritickým zrnem pouze s karbidickou disperzí, viz Obr. 1.

Naopak degradační žíhání za vyšších teplot 675 a 700 °C již po době expozice 12 600 hodin způsobilo výrazné popuštění martenzitické struktury jak v oblasti SK, tak v pásmu přehřátí TOO. Tyto oblasti jsou tvořeny čistě feritickým zrnem (s velikostí původního austenitického zrna) s karbidickou precipitací a patrnými řádky karbidů/ δ feritu ve struktuře oceli P92, viz Obr. 2. Zároveň došlo k výraznému zhrubnutí částic (patrně karbidu typu M23C6) na hranicích zrn, a to ve všech oblastech svarových spojů nezávisle na tom, zda jde o homogenní či heterogenní svar.

Mechanické vlastnosti

V případě průběhů tvrdostí po degradačním žíhání při teplotě 650 °C po dobu 12 600 h a 30 000 h nejvyšších hodnot vždy dosahuje svarový kov, naopak nejnižších interkritická oblast na rozhraní mezi pásmem částečné překrytosti a základním materiálem. Po 30 000 hodinách dojde k popuštění martenzitické matrice SK až na hodnoty 237 HV10 z původních 287 HV10. Naopak při degradačním žíhání na teplotě 700 °C došlo již po expozici 12 600 hodin k poklesu tvrdosti SK pod základní materiál i TOO, kdy tvrdost SK poklesla až na hodnoty 133 HV10.

Výsledky zkoušek tahem při teplotě 20 a 600 °C korespondují s výsledky měření tvrdostí. V případě degradačních teplot 650 a 675 °C docházelo k lomu vždy na straně oceli P91 s lomem typu IV. Naopak po degradační expozici na teplotě 700 °C došlo k lomu vždy v SK.

Kinetické závislosti materiálových vlastností

Zjištěné mechanické vlastnosti pro různé stavy degradace (teplota a čas) byly zpracovány v závislosti na hodnotě Larsonova-Millerova parametru (LMP), viz Obr. 3. Podle postupu popsaného v [1] byla zvolena Larsonova-Millerova konstrukce s konstantou $C = 18,2$. Z uvedených grafů (Obr. 3) je patrné, že vyšší teploty degradace (vyšší hodnoty LMP) způsobují výrazný pokles hodnot meze kluzu, meze pevnosti, kontrakce a tvrdosti svarového kovu [2].

Závěr

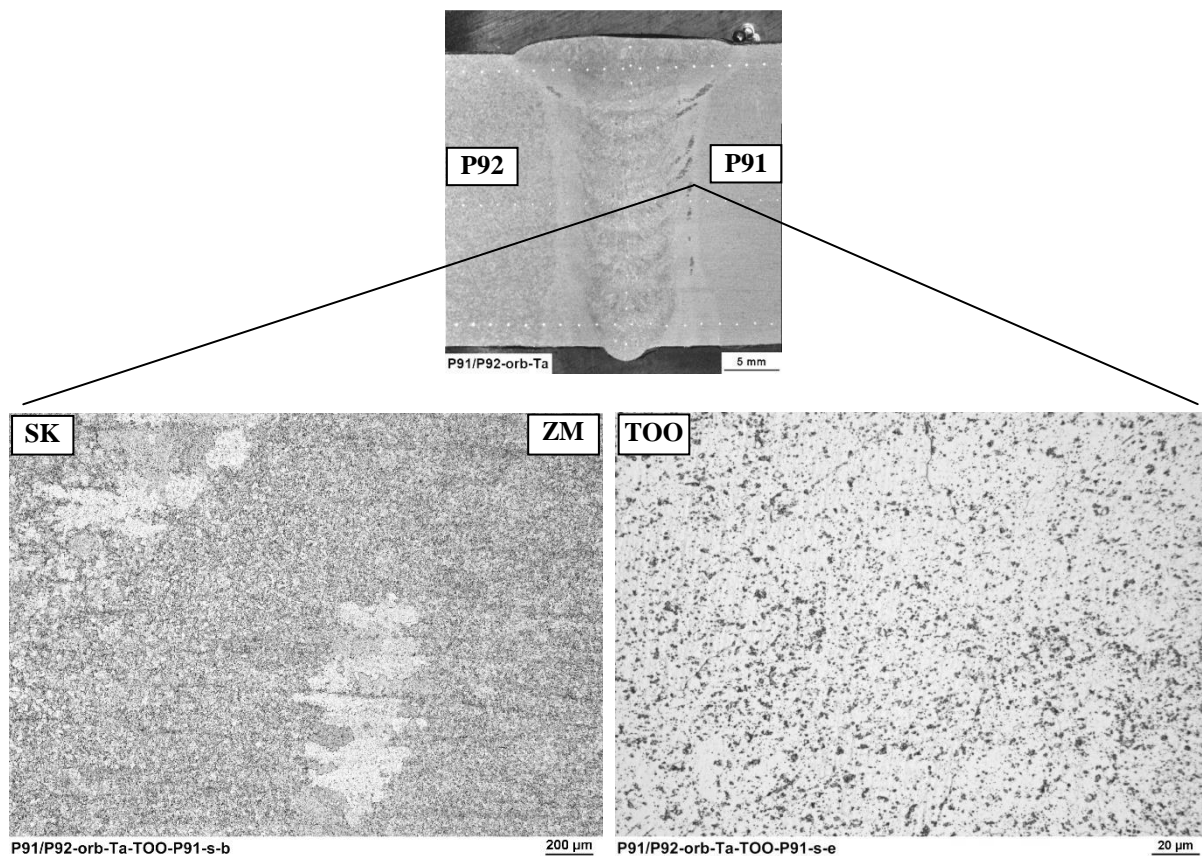
Degradační teplota 650 °C způsobila nevýrazný pokles pevnostních charakteristik o (20 až 30) MPa. Naopak expoziční teplota 700 °C zcela mění mechanické vlastnosti svarového spoje nezávisle na tom, zda jde o homogenní či heterogenní svar. Mez kluzu a mez pevnosti klesla o více jak 130 MPa (při teplotě 20 °C), resp. 50 MPa (při teplotě 600 °C), a místo lomu se přesouvá z interkritického pásma oceli P91 do svarového kovu. Což je důsledkem mikrostrukturních změn, výrazným popuštěním martenzitické mikrostruktury na čistě feritické oblasti s karbidickou precipitací. Přesun nejkritičtějšího místa svarových spojů je navíc doprovázen také změnou vzhledu lomové plochy tahových i rázových těles.

Poděkování

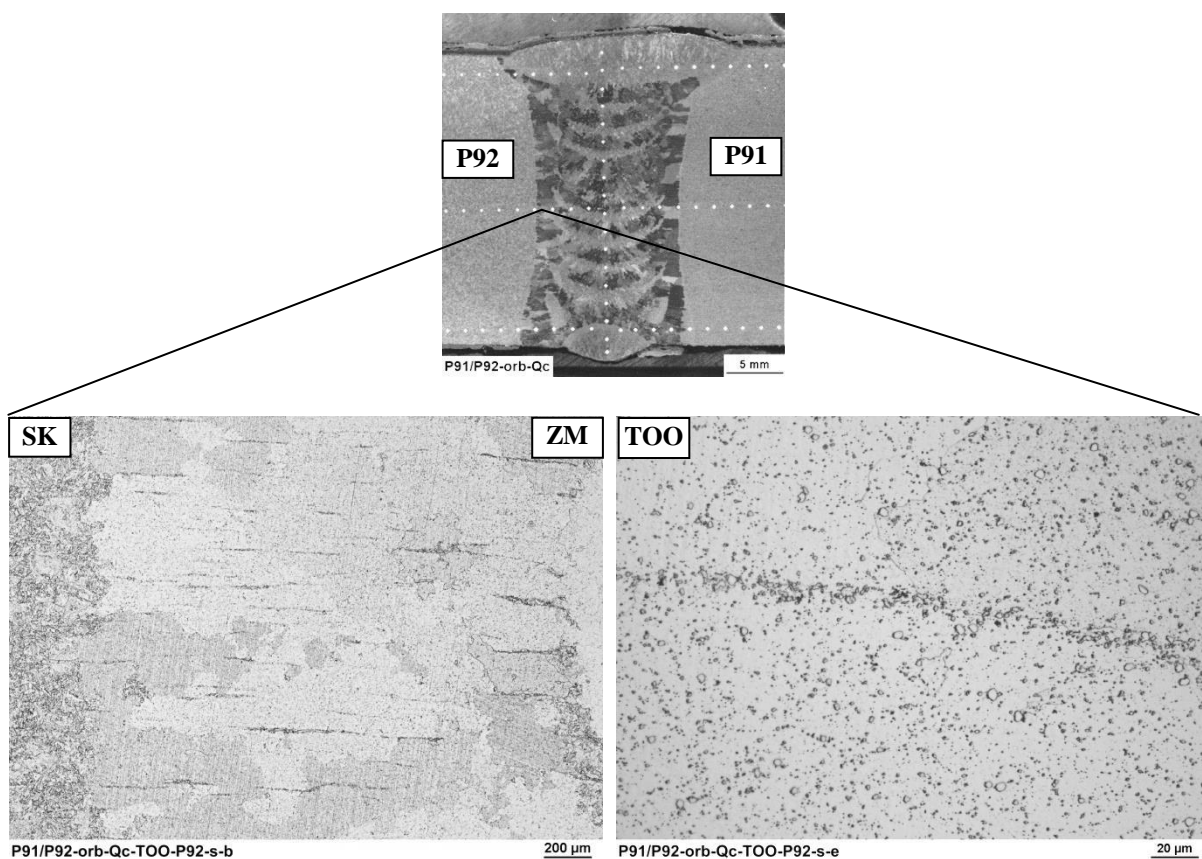
Tento příspěvek vznikl za finanční podpory TAČR při řešení projektu TH02020295, za podpory MPO ČR při řešení projektu č. FR-TI4/406 programu TIP 4 a za podpory studentské grantové soutěže ČVUT při řešení grantu č. SGS16/215/OHK2/3T/12.

Literatura

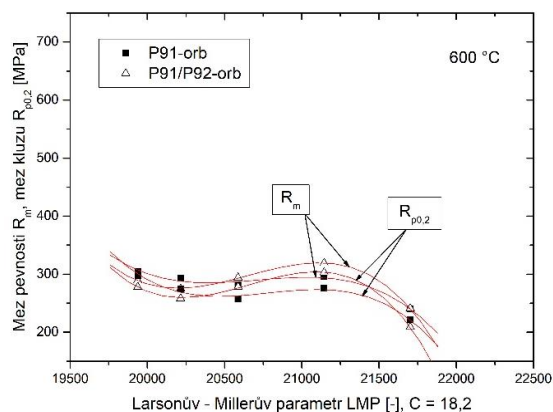
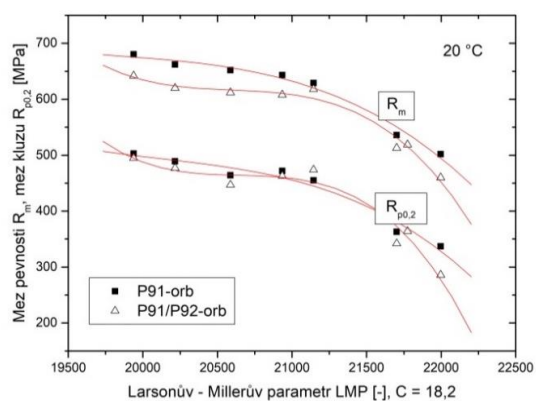
- [1] Svobodová, M.: „*Strukturní stabilita modifikované žárovečné oceli za zvýšených teplot*“. Disertační práce. Katedra materiálů FJFI ČVUT v Praze, Praha, duben 2011.
- [2] Horváth, L., Svobodová, M., Junek, M., Chmela, T., Horváth, J. (2016): *Zpráva UJP 1687 – závěrečná zpráva příjemce projektu FR-TI4/406*. Praha: UJP PRAHA a.s.



Obr. 1. Makrostruktura a mikrostruktura heterogenního orbitálního svarového spoje P91/P92 po laboratorní expozici při teplotě 650 °C po dobu 30 000 hodin

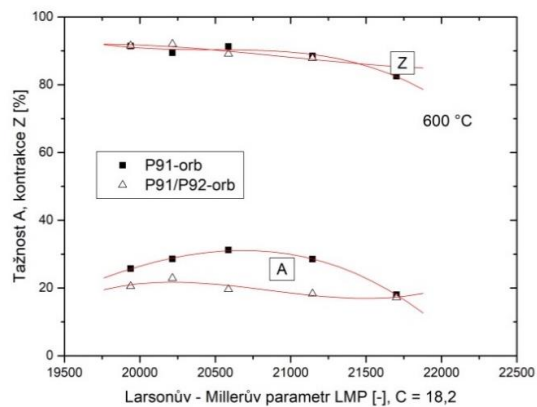
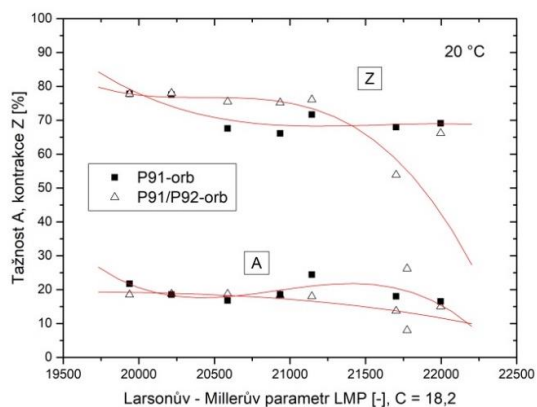


Obr. 2. Makrostruktura a mikrostruktura heterogenního orbitálního svarového spoje P91/P92 po laboratorní expozici při teplotě 700 °C po dobu 25 000 hodin



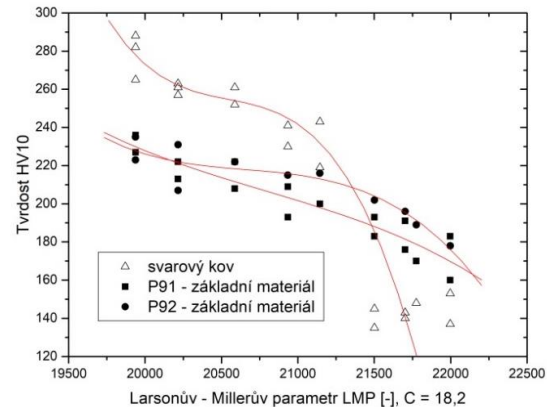
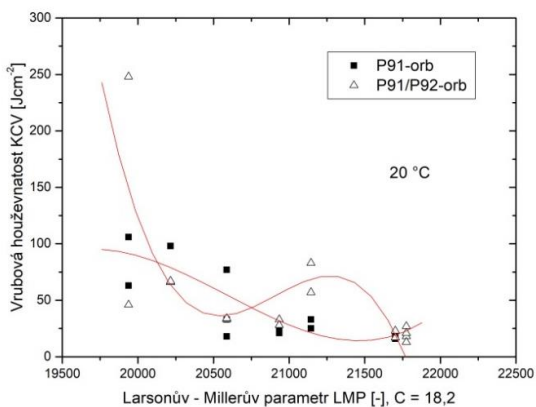
a)

b)



c)

d)



e)

f)

Obr. 3. Kinetické závislosti materiálových vlastností: a), b) mez pevnosti a mez kluzu při 20 a 600 °C, c), d) tažnost a kontrakce při 20 a 600 °C, e) KCV při 20 °C, f) tvrdost [2]

Tab. 1: Laboratorní expozice orbitálních svarových spojů

| Materiál | Teplota [°C] | Doba expozice [h] |
|---------------------------------------|--------------|------------------------|
| Homogenní orbitální svar P91/P91 | 650 | 5 000, 12 600, 30 000 |
| | 675 | 12 600, 30 000 |
| | 700 | 12 600, 25 000 |
| Heterogenní orbitální svar P91/P92 | 650 | 5 000, 12 600, 30 000 |
| | 675 | 12 600, 30 000 |
| | 700 | 12 600, 15 000, 25 000 |