

TVRDĚ PÁJENÉ SPOJE PALIVOVÉHO SYSTÉMU A MOŽNOSTI JEJICH NEDESTRUKTIVNÍ KONTROLY

Břetislav SKRBK, David POSPÍŠIL

Katedra materiálu, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2,
461 17 Liberec CZ bretislav.skrbek@tul.cz, david.pospisil@tul.cz

Abstrakt

Nerozebiratelné konstrukční spoje součástí tvrdým pájením nejsou v automobilovém průmyslu obvyklé. Dominuje svařování. Tvrdé pájení má opodstatnění tam, kde se spojují zcela odlišné materiály, nebo kde lze využít kapilárního efektu pájky. Proto se kontaktní destičky ze slinutých karbidů na bázi WC pájí na ocelové korpusy zdvihátek ventilů či vahadel.

Pro nízkotlakou část rozvodů paliva vznětových motorů se využívá kapilárního efektu při spojování částí tenkostěnných armatur. Spolehlivost konstruktérem vypočteného spoje je zaručena při dodržení technologických podmínek pájeného spoje. Zanedbání předepsaných parametrů spojování může vést nejen k nefunkčnímu spoji, nýbrž také k porušení základního materiálu! V tomto příspěvku je uveden právě takový případ získaný v rámci technologických zkoušek tvrdého pájení ocelových trubek do příruby přípojky paliva. Je sledován vznik a rozvoj magistralní trhliny poškozené součásti vlivem dlouhodobého přehřátí.

V příspěvku jsou porovnány nedestruktivní diagnostické metody pro možnost posouzení kvality pájeného spoje.

Klíčová slova

Tvrdé pájení, palivový systém, defektoskopie vad.

Tvrdé pájení

Nezbytnou podmínkou vzniku kvalitního pájeného spoje je dobrá smáčivost spojovaných materiálů pájkou [1]. Kohezní síly (přitažlivé síly mezi sousedními atomy roztavené pájky) musí být menší než adhezní (přitažlivé síly mezi atomy roztavené pájky a materiálu podkladu). Poměr těchto sil vyjádřený kapilárními napětími (N/m) charakterizuje tečný úhel kapky pájky α . Pokud $\alpha < 15^\circ$ smáčivost je dokonalá a do 75° dobrá. Hodnotu α lze ovlivnit tavidlem, teplotou, legováním pájky (příznivě působí B, P, Ni, Si). Silně tepelně vodivé kovy nutno předeheřovat na teplotu solidu T_s pájky a špatně vodivé jen na $75\%T_s$.

Základní materiály a pájka musí v tuhém stavu rozpouštět, aby se smáčely. Míra smáčivosti roste s velikostí vzájemné rozpustnosti.

Tvrdé pájení se rozumí od 450°C teploty tání T_t tání pájky výše. Vzlínavost tekuté pájky je její schopnost vyplnit kapiláru (štěrbinu spoje). Hnací kapilární síla štěrbinou postupující pájky vzniká kapilárním tlakem

$$p_k = \sigma_H \times (1/r_1 + 1/r_2) \quad \text{Pa} \quad (1)$$

Pro štěrbinu je r_2 nekonečno a $r_1 = s$ (šířka štěrbin). Při vyrovnání tíhy (při tíhovém zrychlení g a měrné hmotnosti ρ). Sloupce pájky s kapilárním tlakem ve svislé spáře (pokud pájka vzlíná nahoru) vystoupá pájka do výšky h , která charakterizuje vzlínavost

$$h = (2 \times \sigma_H \times \cos \alpha) / (\rho \times s \times g) \quad \text{m} \quad (2)$$

Pro pájku na bázi AgCuZn adhezní napětí $\sigma_H = 500 \text{ Pa}$.

Reakce na rozhraní pájka/základní materiál ovlivňuje mechanické vlastnosti spoje i základního materiálu. Difuze pájky podél hranic zrn základního materiálu se řídí Fickovými zákony:

$$D=D_0 \times \exp\{-Q/(k \times T)\} \quad (4)$$

$$x^2=2 \times D \times t \quad (5)$$

Vysoká teplota T a čas pájení t spolu s vysokým součinitelem difuze D podél hranic zrn do hloubky x často působí pájecí praskavost. Velmi citlivé jsou austenitické oceli, Ni slitiny a dvoufázové oceli. Snížit hodnotu D lze také předchozím žháním spojovaných polotvarů. Reakce pájky s povrchovým oxidem nebo spojovaným materiálem za tvorby intermediálních fází působí křehkost spoje. Velký rozdíl elektrochemických potenciálů spojovaných materiálů a pájky působí náchylnost ke korozi.

Tavidla musí rozpouštět povrchové oxidy při teplotě nejméně o 150°C nižší než je teplota solidu pájky, zároveň tavidla podporují smáčivost pájky. Pro oceli se užívá $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Oceli se v pájce rychle rozpouští. Vysokouhlíkové oceli mohou působit pórovitost. Oceli vysokolegované Cr a Al se pokrývají velmi stabilními oxidy. Spolu s Cu tvoří oxidy Fe nad 1100°C taveninu [2].

Pájky pro kapilární pájení ($s < 0,02\text{mm}$) mají být čisté kovy (Cu) nebo eutektické slitiny. Pro vakuové kapilární pájení se však eutektická mosaz nehodí pro odpar Zn. Pro automatizované pájení ocelí jsou vhodné Ag pájky. Podle [4] platí současně tři možné způsoby označování pájek:

- Zkratkou. Skupina pájek se vyjadřuje 2 písmeny a tři čísla popisují její druh. *CP 301 značí pájku Cu se 7%P.*
- Dle EN ISO 3677:1995. Písmeno B = tvrdé pájky, chemické složení, teplota solidu/liquidu. *Niklová pájka B-Ni67WCrSiFeB-970/1095.*
- Evropské označení materiálu. *Např. hliníková pájka AW4047A.*
Příklad třech značení jedné běžné mosazné pájky: CU 301, B-Cu60Zn(Si)-875/895, CF724 R..

Fraktografie tvrdě pájené příruby

K prošetření byla předána příruba o průměru 85mm, prasklá mezi otvory 10,1mm (s roztečí 26mm) pro vsazení přípojek $10 \times 1\text{mm}$. Materiál příruby je plech tl.4mm z 11 523.1. Atest obsahoval hodnoty R_m 518Mpa, R_e 390Mpa, A5 38%, HB164-170; obsahy prvků v % C 0,1 – Mn 1,1 – Si 0,35 – P 0,014 – S 0,017 – N 0,007.

Předehřev a tvrdé pájení se provádělo plamenem, mosazná pájka CU301 drát 2mm, tavidlo borax.

Povrch čela příruby mimo pájenou oblast byl pokryt silnou vrstvou oxidů Fe. Byly pozorovány nerovnoměrné kapky pájky v okolí spoje. Magistrální trhlinka vybíhala ještě několik mm za otvorem 10,1mm k obvodu příruby, kde končila. Množství bublin v kapkách pájky svědčilo o naplynění, pokrytí tavidlem bylo nerovnoměrné. Na uvolněné lomové ploše byly většinou „bradavičnatá“ vrstva pájky (Obr. 1). Pájkou nekontaminovaná plocha lomu byla černá, matná, jemná. Ke vzniku a rozvíření magistrální trhliny muselo dojít ještě za tekutého a polotekutého stavu (asi 880°C). Obr.2 ukazuje trhlinkou přerušené růstové dendrity pájky při hraně trubkou neosazené části otvoru a čela příruby. Lomová čára se na konci interkrystalicky větví (Obr.3).

Při pájeném povrchu (do 0,1mm hloubky) se vyloučilo podstatně více zrn o velikosti 8/9 perlitu (P80) než v jádře (P20). Z povrchové vrstvy pájky (do $50\mu\text{m}$) proniká po hranicích perlitických zrn pájka celou perlitickou vrstvou vždy

v roztečích několika desetin mm. Pájka na lomové ploše (0,025mm) obtéká skupiny zrn feritu a obsahuje mnoho vměstků.

Z pájkou kontaminované části příruby byly vypreparovány hranolky pro zkoušku pevnosti v tahu. Při zkoušce praskly křehce bez kontrakce a prokluzu na mezi Re 398MPa při Rm 414MPa. Perlitická vrstva vykazovala tvrdost 302HV, jádro 215HV. Tvrdost pájky byla naměřena 88-112HV. Podle zjištěných výsledků lze předpokládat podstatné snížení dynamických vlastností oceli.

Základní ocel příruby – 11 523.1- je vůči prostému tepelnému rázu i do vysokých teplot odolná. Přesto se v tomto případě při tepelném namáhání masivně rozvinuly interkrystalické tepelné trhlinky. Za teplot vyšších než 1100°C hranice zrn ztrácejí pevnost, umožňují difuzi a vzlínavost Cu pájky, zvláště při nedokonalé ochraně povrchu tavidlem. Malé vnitřní pnutí při chladnutí okolo 900°C pak způsobilo rozvoj magistrálního lomu. Vznik trhlin při této technologické zkoušce tedy souvisí s vysokým přehřátím a dlouhou dobou výdrže na teplotě a interkrystalickým „kapilárním“ pronikáním roztavených oxidů a pájky.

Defektoskopická kontrola

Pro diagnostiku (hledání) povrchových vad materiálu se využívá metod vířivých proudů (ET), magnetických (MT), potenciometrických a kapilárních metod (PT). ET lze využít pro všechny elektricky vodivé materiály. Budící cívka napájená střídavým proudem indukuje v kontrolovaném povrchu součásti vířivé proudy. Lokální změnu střídavého elektromagnetického pole těchto proudů nad povrchem nad nevodivou nespojitostí indikuje snímací cívka.

MT se aplikují pro feromagnetické materiály. Ve zkoušeném povrchu se vyvolá magnetizací tok siločar, které se nad neferomagnetickou nespojitostí vychýlí nad povrch. Silový účinek vychýlených siločar přitahuje feromagnetická zrnka indikační černé nebo fluorescenční suspenze.

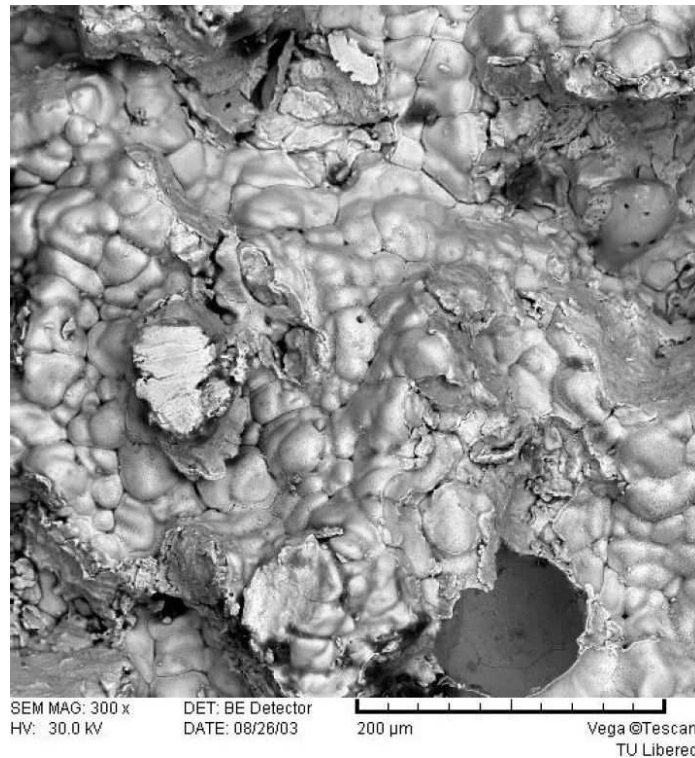
Kapilární (PT) způsoby se aplikují na všech materiálech bez rozdílu vodivosti. Vady však nesmí být zcela uzavřeny a souvislé s povrchem, aby mohly vzlínáním nabrat indikační (obvykle červený) penetrant.

Potenciometrické metody využívají rozdíl elektromotorického napětí mezi dvěma zkušebními elektrodami opřeny o zkoumaný povrch. Vada musí být elektricky nevodivá.

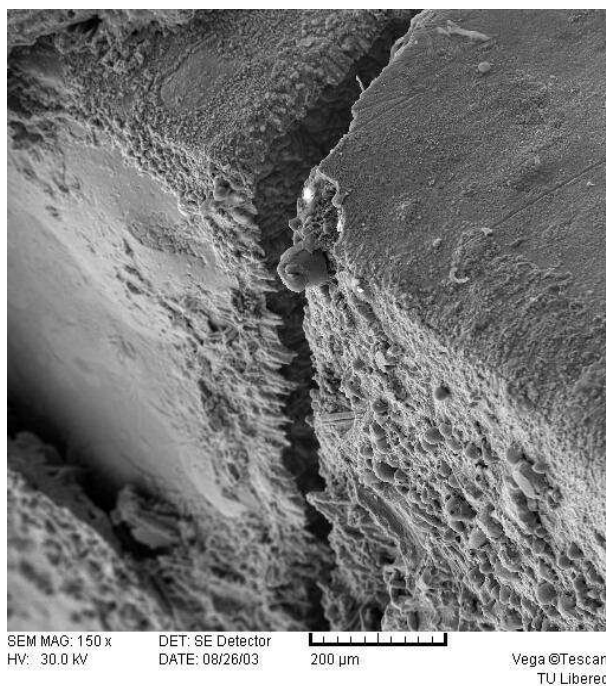
Z uvedeného přehledu metod vyplývá, že pro kontrolu okolí tvrdě pájených spojů feromagnetických ocelí je třeba použít magnetické metody. Vlastní pájkou vyplněná štěrbina spoje se bude indikovat jako interkrystalické napadení součásti pájkou. Spojitost vlastního tvrdě pájeného spoje („propájení“) lze kontrolovat kapilární zkouškou nebo potenciometricky.

LITERATURA

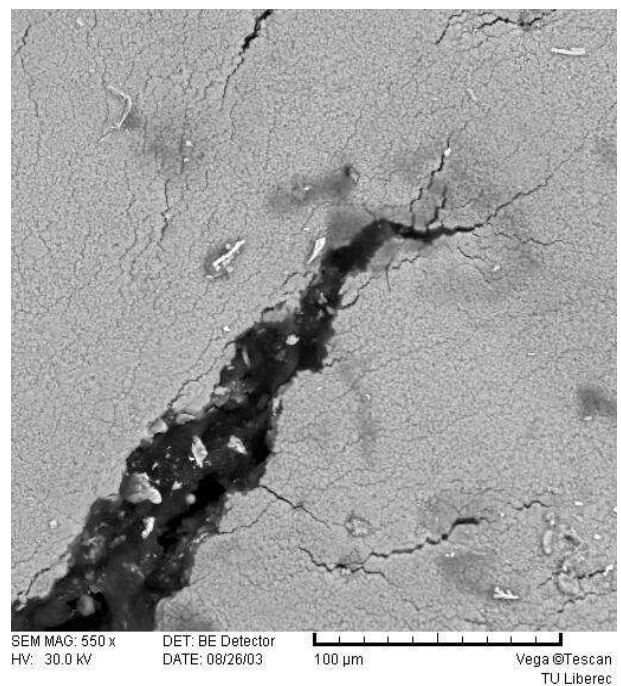
- [1] Kuncipál, J. Teorie svařování. SNTL Praha 1986, s.192 – 204.
- [2] Pavliska, J., Jonšta, M., Mazancovi. Povrchové chování Cu v oceli. Acta Metallurgica Slovaca. 4/2001/VII, s. 417 – 422.
- [3] ČSN EN 24063. Svařování, tvrdé a měkké pájení kovů, pájení do úkosů. Třídící znak 05 0011.
- [4] ČSN EN 1044. Tvrdé pájení – přídavné materiály. 055650.
- [5] Skrbek, B. Příručka přívodu paliva. Interní technická zpráva 61 – 7 – 0070, TEDOM a.s. Jablonec n.N.



Obr. 1: Bradavičnatá struktura pájky



Obr. 2: Růstové dendrity pájky
přerušené trhlinou



Obr. 3: Interkrystalické větvení
lomové čáry