

Aplikácia nedeštruktívnych metód kontroly na zvarové spoje vyrobené z plastu

Radoslav Koňár, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika.
E-mail: radoslav.konar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2799

Lucia Grünermelová, Ing.

TÜV SÜD Slovakia s.r.o.,
976 31 Vlkanová, Slovenská republika.
E-mail: lucia.gruenermelova@tuvsud.com, Tel.: + 421 903 806 041

Application of non-destructive inspection methods to welded joints made of plastic

Abstract: The article describes the possibilities of non-destructive testing of welds made of plastic materials. Both surface and volume methods of non-destructive testing can be used for plastic welds. Non-destructive testing of plastics has certain limitations. The limitations are related to the physical-mechanical properties of the material, as well as the geometry of the tested parts. The most common inspection of welds on plastic materials is a visual inspection, which is carried out to the extent of 100 %. For the inspection of plastic welds, it is also possible to use the penetration method and, with limitations, also ultrasonic and radiographic inspection.

Keywords: non-destructive testing, plastic materials, welding, joints.

ÚVOD

Plastové materiály sa dostávajú čoraz častejšie do popredia a začínajú nahrádzať kovové materiály v rôznych aplikáciách priemyslu. Často je potrebné plasty pri priemyselnej výrobe zvarat'. Technologii zvarania plastov je v súčasnej dobe pomerne veľa. Tak ako zvary na kovových materiáloch je potrebná nedeštruktívna kontrola aj na zvaroch plastov. Nedeštruktívna kontrola vychádza z použitej technológie zvarania plastov, ale tiež z typu plastu. V súčasnej dobe narastajú požiadavky na *NDT* kontroly plastových zvarov. Pre *NDT* kontrolu plastových zvarov je možné použiť vizuálnu, kapilárnu, ultrazvukovú a prežarovaciu metódu. Článok sa zaoberá *NDT* vizuálnou ultrazvukovou a prežarovacou kontrolou zvarov na materiáli polyetylén. Kontrolované zvarové spoje boli vyrobené technológiou zvarania na tupo horúcim telesom a elektrofúzne pomocou elektrotvarovky.

1 POLYETYLÉN

Polyetylén (*PE*) sa vyrába v niekoľkých základných typoch, ktoré sa od seba zásadne odlišujú niekoľkými významnými vlastnosťami. Spoločnú majú základnú surovinu pre výrobu - etylén. Z úžitkových vlastností sú spoločné najmä odolnosť proti nízkym teplotám, odolnosť voči pôsobeniu rozpúšťadiel a chemikálií.

Sú to materiály ľahšie ako voda a je potrebné ich chrániť proti *UV* žiareniu (napr. pridaním 2 % ÷ 4 % sadzí). Sadze majú aj ďalší pozitívny vedľajší vplyv, pretože pôsobia ako kryštalizačné jadrá, čím urýchľujú kryštalizáciu, a tým zlepšujú kvalitu materiálu a tiež zvarového spoja [1].

Vysokohustotný polyetylén (*PE-HD* - hustota cca. 0,95 g·cm⁻³) je lineárny, tvrdý a má 80 % kryštalického podielu. Materiály *PE-HD* sa hodia pre rozvod pitnej vody, kanalizáciu, odpady, ale aj pre plynárenské rozvody. Taktiež sa z nich vyrábajú stavebné izolačné fólie, obalový materiál, nádrže a priemyselné armatúry. *PE-HD* sa začína taviť pri teplote 120 °C ÷ 130 °C, maximálna trvalá prevádzková teplota je do 40 °C. Dobre odoláva zaťaženiu pri nízkych teplotách do -50 °C.

Pevnosť plastových materiálov je podľa nového spôsobu definovaná pomocou minimálnej požadovanej pevnosti *MSR*, ktorá sa používa pre polotovary vo forme rúr, resp. tvaroviek pre tlakové aplikácie. Základom je odolnosť proti vnútornému pretlaku vody pri 20 °C počas 50 rokov. *MSR* je podľa typu *PE 80* - 8,0 MPa, *PE 100* - 10,0 MPa, *PE 125* - 12,5 MPa [1].

Medzi najdôležitejšie charakteristiky materiálu *PE - HD* zaradujeme:

- kryštalický podiel - 80 %,

- hustota cca. $0,955 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,
- index toku taveniny *MFR* (190/5) - $0,45 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$,
- medza klzu v ťahu 21 MPa,
- modul pružnosti v ťahu 800 MPa,
- teplota tavenia $120 \text{ }^\circ\text{C}$ až $130 \text{ }^\circ\text{C}$,
- teplota mäknutia podľa *Vicata* (*VST/B/50*) $+67 \text{ }^\circ\text{C}$,
- minimálna požadovaná pevnosť v ťahu *MRS* je min. 8 MPa [1].

Materiál typu *PE 100* má pre rúry hornú medzu prevádzkovej teploty $50 \text{ }^\circ\text{C}$, avšak ešte pri $60 \text{ }^\circ\text{C}$ je životnosť materiálu vysoká. Všetky pevnostné skupiny *PE-HD* sú navzájom zvariteľné. Dôležitá je zvýšená odolnosť materiálu *PE 100* proti vzniku a šíreniu napät'ových trhlin, ktoré boli v minulosti slabinou bežných typov *PE-HD*. *PE 100* priniesol do priemyslu vyššiu kvalitu, predovšetkým vďaka zvýšenej pevnosti a odolnosti materiálu proti rýchlemu šíreniu trhliny, čím umožnil zvýšenie maximálneho prevádzkového zaťaženia konštrukcií a rúr.

Materiál *PE 100 RC* predstavuje vyšší typový rad *PE 100*. Hlavný rozdiel oproti materiálu *PE 100* je v štruktúre a prepojení vnútorných molekúl. Základnou vlastnosťou materiálu *PE 100 RC* je zvýšená odolnosť proti bodovej záťaži, resp. proti pomalému šíreniu trhliny [1, 6].

2 NEDEŠTRUKTÍVNE SKÚŠANIE ZVAROV Z PLASTOV

Pri kontrole zvarových spojov na plastových materiáloch (*polyetylén*, *polypropylén*) nie sú nedeštruktívne (*NDT*) kontroly vykonávané v takom rozsahu, ako pri zvaroch na oceliach. Je to spôsobené najmä fyzikálno-mechanickými vlastnosťami materiálu a tiež aj obmedzeniami súvisiacimi s používanými technológiami spájania plastových materiálov. Tieto dva fakty výrazne obmedzujú využitie *NDT* kontrol plastov.

Medzi použiteľné *NDT* kontroly zvarov na plastových materiáloch možno zaradiť z povrchových metód najmä vizuálnu kontrolu. Kapilárna metóda je použiteľná iba v špecifických prípadoch. Z objemových metód možno na kontrolu zvarov plastových potrubia a dosiek aplikovať röntgenovú kontrolu a čiastočne aj ultrazvukovú kontrolu.

V plastárskej praxi je najčastejšie využívaná pre kontrolu vizuálna kontrola. Po vyhovujúcej vizuálnej kontrole nasleduje pri uzavretých systémoch ako potrubia, nádrže, silá, zásobníky a pod. najčastejšie tlaková skúška a kontrola tesnosti, ktorá je niekedy nesprávne zamieňaná za tlakovú skúšku. Tlakovú skúšku je možné považovať za kontrolu mechanickej celistvosti a pevnosti systému.

Objemové kontroly prežiarením a ultrazvukom sú využívané iba vo výnimočných prípadoch. Ich aplikácia je často spojená s dodatočnými požiadavkami zákazníka, prípadne je realizovaná na skúšobných zvaroch potrebných pre prípravu a schválenie postupov zvarovania *WPQR*.

Personál, vykonávajúci akúkoľvek *NDT* kontrolu na zvaroch z plastov rovnako, ako v prípade kontroly na oceľových potrubiach, musí byť kvalifikovaný a certifikovaný v súlade s *STN EN ISO 9712*.

2.1 Vizuálna kontrola

Vizuálna kontrola (*VT*) je jednou z najdôležitejších metód *NDT* skúšania pri kontrole zvarov z termoplastov. Je vykonávaná ako prvá a predchádza ostatným *NDT* kontrolám.

Vizuálna kontrola zvarových spojov na plastových materiáloch sa vykonáva za podmienok definovaných v norme *STN EN 13100-1*. Podmienky pozorovania pri vizuálnej kontrole sú podobné ako pri skúšaní zvarov na oceliach. Minimálna intenzita osvetlenia na skúšanom povrchu by mala byť min. 500 lx, vzdialenosť od povrchu pri priamej kontrole od 300 mm do 600 mm. Povrch musí byť pred skúškou očistený od cudzích častíc, ktoré môžu ovplyvniť výsledky kontroly (prach, zemina, masnота a pod.). Príprava zvarov pre vizuálnu kontrolu je v prípade plastových zvarov jednoduchšia ako v prípade ocele, pretože pri zvaraní sa vevyskytujú povrchové nečistoty ako troska, opal, rozstrek a pod.

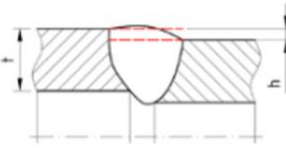

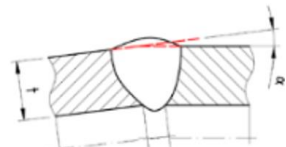


Hodnotenie chýb zvarových spojov termoplastov sa vykonáva v súlade s dvomi normami. Prvou normou je norma *STN EN ISO 14728*, ktorá klasifikuje chyby zvarových spojov termoplastov vyhotovených technológiami zvarovania horúcim telesom na tupo, elektrofúznym zvaraním, zvaraním horúcim plynom a extrúderom. Norma je určená pre široké spektrum termoplastov [2].

Stupne kvality zvarových spojov termoplastov definuje norma *STN EN 16296*. Podobne ako *STN EN ISO 5817* definuje táto norma tri stupne kvality *B*, *C* a *D*, ktoré zodpovedajú výrobnej kvalite. Norma je určená pre hrúbku zvarovaných materiálov $t > 2 \text{ mm}$. Pre každý typ chyby a stupeň kvality norma predpisuje kritériálnu podmienku prípustnosti chyby.

Zvarové spoje, ktoré nevyhovujú kritériám prípustnosti, sa považujú za chybné a je potrebné vykonať ich opravu. Absencia vizuálnej kontroly, prípadne jej nesprávne prevedenie, skraca čas bezproblémovej dlhodobej prevádzky plynovodu bez potreby následných dodatočných zásahov pri riešení havarijných stavov.

V tab. 1 sú znázornené typické príklady chýb pri zvaraní na plynovodoch, ktoré je možné identifikovať priamou vizuálnou kontrolou.

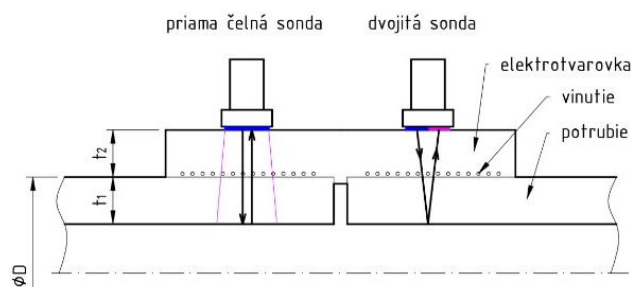
Tab. 1. Chyby zvarov na plastových potrubiach identifikovaných priamou vizuálnou kontrolou

Číslo chyby podľa STN EN 14728	Názov chyby	Schéma chyby	Fotografia chyby
SEJAAA	lineárne vychýlenie		
SEKAA	uhlové vychýlenie		
7BAAA	tepelné poškodenie mimo oblasti zvarania	bez schémy	

2.2 Ultrazvuková kontrola

Pre ultrazvukové skúšanie plastových zvarov vyhotovených horúcim telesom na tupo, elektrotvarovkou, extrúziou a tiež aj horúcim plynom je určená norma *STN EN 13100-3*. Platí pre hrúbky základného materiálu $10 \leq t \leq 100$ mm. Skúšanie plastových materiálov prináša so sebou využitie špecifických postupov. Je to spôsobené zhoršenými akustickými vlastnosťami samotného plastu. Pre skúšanie je potrebné použiť frekvencie sond v rozsahu 1 MHz ÷ 5 MHz.

Pre *NDT* kontrolu zvarových spojov je možné aplikovať tri techniky kontroly. Pre kontrolu zvarového spoja na potrubí vyhotoveného elektrotvarovkou sa používa skúška pozdĺžnou vlnou s použitím priamej čelnej alebo dvojitej sondy (obr. 1) [2].

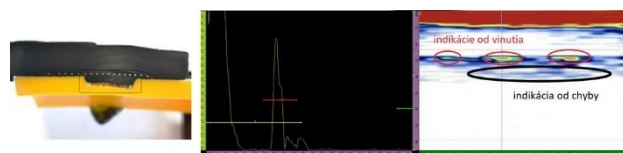


Obr. 1. Skúška metódou pozdĺžnej vlny s kolmým dopadom ultrazvuku [2]

Tento spôsob kontroly je pri praktickej kontrole sprevádzaný viacerými problémami. Prvým problémom je zabezpečenie dostatočného

akustického kontaktu s tvarovkou. Súvisí to s nerovnosťami tvarovky na povrchu, kedy sa reliéf povrchu mení v závislosti od výrobcu a tiež od dimenzie tvarovky. Dosaženie požadovaného kontaktu, ale aj úprava povrchu tvarovky do požadovaného stavu mechanickým opracovaním je veľmi zložitá, v praxi až nemožná. Druhým problémom pri kontrole je prítomnosť vinutia v elektrotvarovke, ktoré sa správa ako necelistvosť, čiže odráža ultrazvukový zväzok späť do sondy a tým znižuje spoľahlivosť kontroly. Indikácia malých chýb s rozmerom blízky priemeru vinutia preto nie je možné identifikovať [2].

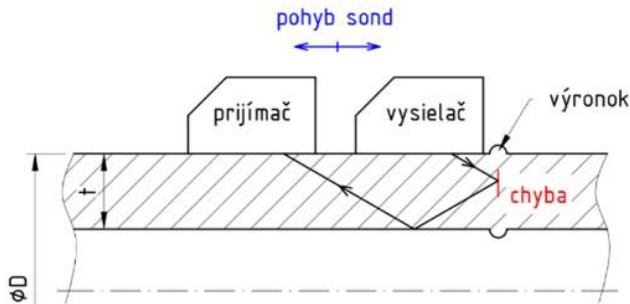
Vyššia spoľahlivosť kontroly sa dá dosiahnuť použitím techniky *PA*, kedy na lineárnom skene je možné vidieť rovnomerne rozložené indikácie od vinutia tvarovky. Na základe pravidelnosti výskytu týchto indikácií vieme určiť, či de o chybu alebo o indikáciu od vinutia. Pri konvenčnej ultrazvukovej technike tento prehľad strácame (obr. 2).



Obr. 2. Príklad zo skúšky ultrazvukom elektrofúzneho zvarového spoja: snímka makroštruktúry zvarového spoja (vľavo), *PA-UT* záznam v mieste s vytvorenou umelou chybou s hĺbkou 5 mm (*A* - sken v strede a lineárny sken vpravo) [2, 6]

Druhou technikou použiteľnou pre kontrolu tupých zvarov vyhotovených horúcim telesom, horúcim plynom, prípadne extrúderom je tandemová technika

(obr. 3). Táto technika sa využíva aj pri skúšaní zvarov ocelí s veľkou hrúbkou základného materiálu. Pri skúške sa používajú dve rovnaké uhlové sondy s uhlom lomu ultrazvuku v plaste 45° alebo 60° (prechodová technika). Sondy sú mechanicky spriahnuté tak, aby v prípade chyby orientovanej kolmo na povrch materiálu vyslaný ultrazvukový zväzok odrazil od chyby a smeroval do sondy, ktorá je prijímačom [2].



Obr. 3 Tandemová technika skúšania tupých zvarov vyhotovených horúcim telesom [2]

Technika *TOFD* je treťou technikou ktorá je využiteľná pre kontrolu tupých zvarov vyhotovených horúcim telesom, horúcim vzduchom, alebo extrúderom. Pre skúšku je potrebné použiť miniatúrne uhlové sondy s uhlom lomu pozdĺžnych ultrazvukových vln v plaste 45° alebo 60° .

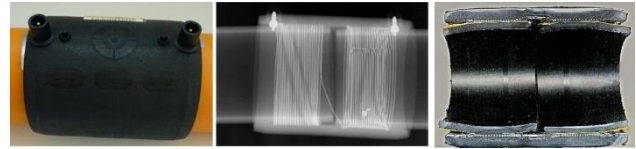
Uhol lomu pri uhlových sondách vždy súvisí s materiálom, pre ktorý sú sondy určené, a teda uhlová sonda pre ocel s uhlom lomu ultrazvuku v oceli 60° nebude mať uhol lomu pri skúšaní plastu taktiež 60° .

2.3 Kontrola prežiarením (röntgenová kontrola)

Postupom a podmienkami röntgenovej kontroly zvarových spojov z plastov sa zaoberá norma *STN EN 13100-2*. Prežarovaciu metódu je podľa tejto normy možné použiť pre kontrolu zvarových spojov vyhotovených na tupo horúcim telesom, elektrotvarovkami, extrúziou a horúcim vzduchom. Prežarovacia metóda je použiteľná pre materiály s hrúbkou $5 \leq t \leq 100$ mm. Norma tiež popisuje techniky prežarovania a posúdenie kvality vyhotovených rádiogramov. Pri skúške prežiarením plastových zvarov absentujú však kritériá pre hodnotenie prípustnosti chýb. Hodnotenie prípustnosti pri skúške prežiarením vychádza z prípustnosti jednotlivých chýb definovaných v norme *STN EN 16296* [2, 3].

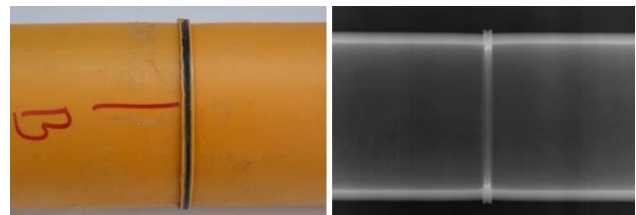
Pri kontrole zvarov vyhotovených elektrotvarovkou je problém spojený podobne ako v prípade ultrazvuku s prítomnosťou výhrevného vinutia. Vinutie môže

prekrývať chyby vo zware a robiť rádiogram neprehľadným (obr. 4).



Obr. 4. Príklad z kontroly prežiarením elektrofúzneho zvarového spoja: spoj (vľavo), rádiogram (v strede), makroštruktúra (vpravo) [2, 6]

Pri skúšaní plastových spojov vyhotovených zvarovaním na tupo horúcim telesom je veľmi dôležitá správna poloha skúšaného objektu voči rádiografickému filmu a zdroju žiarenia. Je to hlavne v prípade indikácie plošných chýb ako chyba natavenia (studený spoj), ktorý pri svojej minimálnej hrúbke a nevhodnej orientácii nemusí byť vždy na rádiograme viditeľný. Z tohto dôvodu je najvhodnejšie orientovať predpokladanú chybu tak, aby sa čo najviac využil fyzikálny princíp zmeny intenzity ionizačného žiarenia pri prechode pevnou hmotou (obr. 5). S identifikáciou objemových chýb (dutiny, póry) zvyčajne problémy pri prežarovaní nenastávajú [2, 3].



Obr. 5. Príklad skúšky prežiarením tupého zvarového spoja vyhotoveného horúcim telesom: spoj (vľavo), rádiogram (vpravo)

Prežarovacie kontroly boli vykonané s použitím röntgenovej lampy. Pre kontrolu bola použitá technika počítačovej rádiografie (*CR - Computed Radiography*) s využitím ohybných pamäťových *IP* platní, ktoré sa po expozícii digitalizovali skenerom.

ZÁVER

Neseštruktívne kontroly zvarov vyrobených na plastových polotovaroach sa čoraz častejšie začínajú aplikovať hlavne v odvetviach, kde chyby spojené s únikom znamenajú výrazné ekonomické straty ako aj ohrozenie života. Ide najmä o odvetvia priemyslu, kde sa využívajú potrubné siete a tesné nádrže. Správne aplikované *NDT* kontroly, dokážu identifikovať výrobné chyby a tým zamedziť prevádzkovým problémom. Objemové skúšanie plastov je aj pri použití moderných techník stále problémom, čo súvisí s fyzikálnymi vlastnosťami plastov.

LITERATÚRA

- [1] LEŽDÍK, V. - MIČIAN, M. - PATEK, M. (2016): *Schvaľovanie postupov zvarovania kovových materiálov a plastov*. Turany: Inštitút kvality a vzdelávania, s.r.o., 204 p., ISBN 978-80-969599-2-1.
- [2] LEŽDÍK, V. - KOŇÁR, R. - KOREŇOVÁ, N. (2020): *Opravy plynovodných potrubí vykonávané technológiou zvarovania*. Turany: Inštitút kvality a vzdelávania, s.r.o., 166 p., ISBN 978-80969599-3-8.
- [3] MORAVEC, J. a kol. (2020): *Technológia 1*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 411 p., ISBN 978-80-554-1731-8.
- [4] KOŇÁR, R. (2022): *Skúsenosti pri ultrazvukovom skúšaní zvarov v praxi*. In: *Technológ*, roč. 14, č. 3, pp. 63-67, ISSN 1337-8996.
- [5] LEŽDÍK, V. - SOBOTA, M. - BEZÁK, J. (2001): *Zváranie v plynárenstve*. Žilina: EDIS - ŽU v Žiline, 191 p., ISBN 80-7100-902-4.
- [6] FATURÍK, M. (2017): *Využitie ultrazvukovej defektoskopie pri skúšaní zvarových spojov polyetylénových plynárenských potrubí*. Dizertačná práca: Žilinská univerzita v Žiline.