

DEGRADATION OF WELDED CONNECTION

DEGRADACE SVAROVÝCH SPOJŮ

Šoch Z., Černý M.

Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: xsoch@node.mendelu.cz, michalc@mendelu.cz

ABSTRACT

Our objective was to follow the effect of finding out the influence of the type of a melted connection of steel components on their mechanical profitability before and after exploitation of experimental samples. The experiment was subsequently arranged and showed to professional public for judgement. The method of the experimental part of the report was chosen to malingering the most common aggressive environment to which the steel components and therefore also their inseparable connections are exposed. So there were frequently used construction steel parts class 11, selected as a material for experimental samples. Their melted connections were exposed on purpose to aggressive environment consisting of saline fog and SO₂ acid. A gradual decrease of the ductility and fortitude in dependence on the length of the exploitation of the sample to the corrosive environment was selected as the criteria of mechanical profitability of the sample. This dependence showed up in a significant way on the sample consisting of steel with a higher level of gliding. Method of melted connection was compared to more up-to-date methods, excluding the human factor as a possible source of mistakes and scarcities in the welded connection.

Key words: melted connections, mechanical profitability, corrosive degradation

ABSTRAKT

S cílem zjištění vlivu druhu tavného spojení kovových součástí na jejich mechanickou únosnost před a následně po exploataci zkušebních vzorků ve vybraných korozních prostředích byla tato práce navrhována a předložena k posouzení odborné veřejnosti. Metodika experimentální části byla zvolena tak, aby co nejpřesněji simulovala nejčastěji se vyskytující agresivní prostředí, ve kterých jsou kovové součásti a tím i jejich nerozebíratelná spojení využívány. Proto jako materiál zkušebních vzorků byly vybrány nejpoužívanější konstrukční oceli třídy 11, jejich tavná spojení byla cíleně vystavena agresivním prostředím solné mlhy a par kyseliny siřičité. Jako kritérium mechanické únosnosti spoje byl sledován postupný pokles pevnosti a tažnosti spojů v přímé závislosti na době exploatace vzorků v korozním prostředí. Tato závislost se projevila razantnějším způsobem u oceli tzv. s vyšší mezí kluzu. Nejpoužívanější metoda tavného spojování kovů byla konfrontována s metodami novějšími, vylučujícími lidský faktor jako zdroj vad a nedostatků ve svarovém spoji.

Klíčová slova: tavné spojení, mechanická únosnost, koroze

ÚVOD

Svařování má mezi strojírenskými technologiemi zvláštní postavení, neboť řadu konstrukcí není možno bez svařování buď vůbec realizovat nebo jen s velkými potížemi a náklady. Svařování dále významně přispívá k realizaci úspor materiálu a energie, ke snižování hmotnosti výrobků, zlepšení jejich užitných vlastností a zvyšování produktivity práce. Odhaduje se, že představuje-li pracnost svařování asi 4% celkové pracnosti výroby, podílí se na zvýšení produktivity 20%.

Neopomenutelnou výhodou vytváření nerozebíratelných spojení tavným způsobem je i jeho relativní jednoduchost v porovnání s jinými technologickými postupy. Tato vlastnost svařování materiálů vede často k myšlence techniků o zanedbatelnosti erudice a školení pracovníků svarové spoje provádějících. Toto zanedbání může vést k nesprávné aplikaci svařovacích technologií, která může mít za následek nesmírné národohospodářské ztráty a ohrozit lidské životy. Příčinou jsou obvykle degradace vlastností materiálu vlivem strukturních změn provázených nepřipustným zhoršením vlastností hlavně zkřehnutím, ztrátou korozní odolnosti apod.

Intenzitu této degradace materiálu několikanásobně násobí působení agresivních prostředí. Právě synergie strukturních vad vzniklých při svařování spolu s agresivním prostředím, kterým jsou tyto spoje často vystavovány, mají na degradaci požadovaných vlastností multiplikativní charakter. V neposlední řadě nesmíme také opomenout vliv vneseného tepla především do okolí svaru. Toto teplo způsobuje nevratnou změnu struktury základního kovu, která vede ke zhoršení požadovaných mechanických vlastností spoje.

Existence mnoho nezmíněných faktorů ovlivňujících vlastnosti vytvářeného tavného spojení potvrzuje, že právě svarové spoje, ač by se zdály jako nejjednodušší možnost spojování materiálů, skýtají celou řadu úskalí, která se bez dostatečných znalostí metalurgie materiálů a technologie tavného spojování, nedaří úspěšně překonat a vytvořit tím nerozebíratelné spojení požadovaných vlastností.

MATERIÁL A METODIKA

V experimentu bylo použito metod zkoušení protikorozní odolnosti kovových materiálů jako základu sledování vlastních mechanických vlastností svarových spojů. Zkušební vzorky byly, pro účely našeho experimentu, cíleně vystaveny koroznímu prostředí s periodickým odběrem a vyhodnocováním zkoušek. Jako korozní prostředí byly navrhnuté systémy kopírující nejčastěji se vyskytující agresivní prostředí, ve kterých jsou kovové součásti a tím i jejich spojení exploatovány.

Pro simulaci užití solanky k zimní údržbě komunikací a agresivního prostředí v průmyslových oblastech byly navrhnuté řízené účinky solné mlhy a par oxidu siřičitého ze 100 % kondenzací vlhkosti. Zmíněné korozní zkoušky byly provedeny v souladu v normativními předpisy ČSN ISO 9227 Zkouška solnou mlhou a ČSN ISO 6988 Zkouška oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkosti. Odběry a vyhodnocení vzorků byly

opakovány v předem stanovených periodicky se opakujících intervalech a to 7, 14, 21 dní v obou korozních prostředích.

Zkušební materiál vzorků byl vybrán z oblasti nejpoužívanějších ocelí se zaručenou svařitelností a to oceli třídy 11, jmenovitě 11 373 v porovnání s tzv. ocelí s vyšší mezí kluzu 11 523. Vzorky svarových spojů z těchto materiálů byly vytvořeny nejrozšířenějšími technologiemi tavného spojování. Mezi tyto metody patří obloukové svařování kovovou obalenou elektrodou s jejími pozitivy i negativy vyplývající z velké závislosti vlastností svarů na lidském faktoru jakožto největšímu zdroji vytvořených strukturních vad a nedokonalostí spoje. Tato tradiční metoda byla konfrontována s metodou eliminující lidský faktor, jako zdroj vad a poruch, metodou svařování v ochranných atmosférách na automatizovaných svářecích strojích. V našem experimentu byla použita metoda svařování ocelovým tavným drátem s ochranou atmosférou CO₂ tzv. metodou MAG (Metal Activ Gas).

Takto získané vzorky svarových spojů byly vystaveny, na předem stanovený časový interval, působení korozního prostředí. Po vyjmutí vzorků a následném povrchovém očištění povrchu od korozních zplodin se přistoupilo ke stěžejní části experimentu a to sice k zjišťování mechanické únosnosti svarů. Jako kritérium mechanické únosnosti spojů byl vybrána veličina charakterizující nejen strukturní stav vlastního svaru, ale i napadení spoje korozními zplodinami. Byla zjišťována pevnost v jednoosém tahu na trhacím stroji se záznamovým zařízením. Získané výsledky byly posléze statisticky vyhodnoceny a průměrné hodnoty sledovaných veličin dále prezentovány.

Po tahové zkoušce byly vybrané spoje fraktograficky a metalograficky vyhodnoceny. Jednalo se především svarové spoje vyrobené z materiálu 11 523 svařené jak tradiční metodou tak metodou zautomatizovanou.

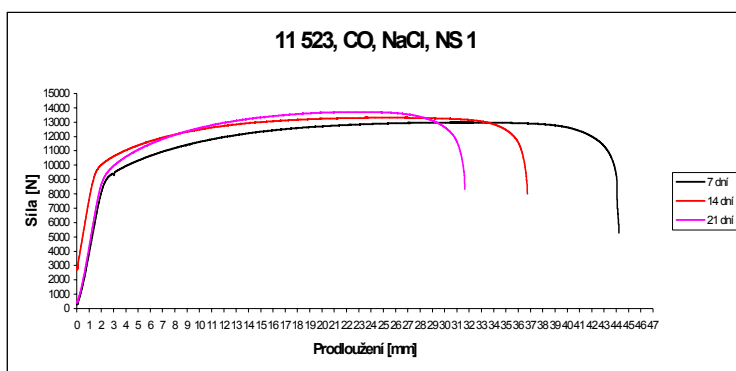
VÝSLEDKY A DISKUZE

Při sledování závislosti mechanické únosnosti svarů na době exploatace vzorků v jednotlivých korozních prostředích měli naměřené hodnoty jednoznačně vyvíjející se charakter. S rostoucí dobou expozice vzorků prudce klesaly sledované veličiny mechanické únosnosti spojů, ať již maximální pevnost v tahu tak především tažnost svarů. Tato nepřímá závislost se mnohem výrazněji projevila u spojů vytvořených ručním svařováním obalenou elektrodou s basickým obalem. Tato synergie vnesených vad do spoje lidským faktorem a dobou působení korozního prostředí navozuje otázku jestli je použití tohoto tavného spojení na staticky a hlavně dynamicky namáhaných strojních součástech, vystavených silně agresivním prostředím, bezpečné, nebo s jakými nutnými povrchovými ochranami, zamezujícími vniknutí korozních zplodin do struktury spoje, vůbec ekonomicky účelné.

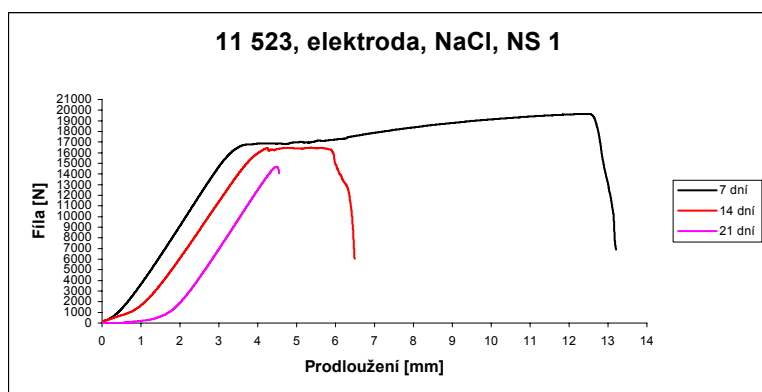
Co se týká porovnání agresivity zvolených korozních prostředí je zřejmý jednoznačný výsledek vyplývající z naměřených hodnot. Nižší hodnoty pevnostních veličin byly zjištěny u vzorků exploatovaných v korozním prostředí solné mlhy. Je to zapříčiněno tím, že se iniciační místa koroze nukleují tam, kde je porušen povrch materiálu, popř. v místech vad materiálu vystupující na povrch, nekovových vměstků nebo jiných nehomogenit povrchu, ke

kterým migrují chloridové ionty. Významné jsou i místní podmínky prostředí, které podporují autokatalický pochod. Zvýšená koncentrace chloridových iontů urychluje rozpouštění kovu za příznivých podmínek. Silné rozpouštění uvnitř bodu vytváří vysoký kladný potenciál, který podporuje migraci chloridových iontů s ohledem na udržení elektroneutrality. Díky hydrolyze se zvyšuje i obsah vodíkových iontů. To ještě zesiluje rychlost napadení, přičemž s rostoucí koncentrací roztoku klesá i koncentrace rozpouštěného kyslíku. Konečně dochází k tvorbě pevných korozních produktů. Vliv chloridových iontů spočívá i v porušení pasivního filmu na oceli, nebo v omezení jeho opětovné tvorby. Chloridové ionty penetrují povrchovou vrstvou, póry i poruchami a zvyšují permeabilitu vrstvy.

Na položenou otázku výběru jednotlivých způsobů svařování v souvislosti se zvoleným základním materiálem se u oceli 11 523 ukazuje jednoznačnou výhodu použití technologie MAG / CO₂, před metodou svařování obalenou elektrodou (*Obr.1, Obr. 2*). Je to zapříčiněno velkým množstvím strukturních vad u obalené elektrody, které se u metody MAG nevyskytují. Tyto vady výrazně snižují únosnost spojů, která je při použití materiálu 11 523 požadována nejen v korozním prostředí. Tvrzení lze podložit následujícími záznamy trhací zkoušky.



Obr. 1 Průběh trhací zkoušky na vzorcích mat. 11 523 svařených metodou MAG / CO₂ v korozní atmosféře NaCl

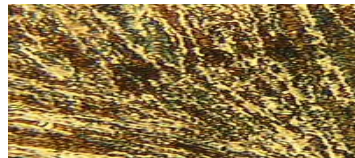


Obr. 2 Průběh trhací zkoušky na vzorcích mat. 11 523 svařených obalenou elektrodou v korozní atmosféře NaCl

Porovnáním uvedených grafů dojdeme k jednoznačnému výsledku. Zatímco u trhací zkoušky vzorků svařených automatizovanou metodou hodnoty naměřených veličin vykazovaly jen malou diferencii v závislosti na době exploatace v korozním prostředí, u vzorků svařených obalenou elektrodou je rozdíl zřetelnější a s mnohem progresivnějším nárůstem.

Výsledky získané z metalografického a faktografického vyhodnocení, (Obr. 3, Obr. 4), opět potvrzují již předem nastíněnou vhodnost použití metod vytváření svarových spojů s co nejmenším zásahem lidského faktoru a to především u ocelí s vyšší pevností.

Získané metalografické výbrusy:



Obr. 3 Metalografický výbrus vzorku mat. 11 523 svařených obalenou elektrodou v korozní atmosféře NaCl s jeho mikrostrukturou

Obr. 4 Metalografický výbrus vzorku mat. 11 523 svařených metodou MAG v korozní atmosféře NaCl s jeho mikrostrukturou

Svar vytvořený obalenou elektrodou tvoří sice svazek rovnoměrných hrubých krystalů svarového kovu avšak s četně se vyskytujícími dutinami – lunkry, které představují ideální místo pro rozvoj korozního napadení. Dendridy jsou usměrněny do středu tavné lázně a končí v kořeni svaru, což představuje materiálový vrub spolu s vhodným výběrem možné fragmentace. Přejít mezi svarovým kovem a TOO je nehomogenní a bez zřejmé pravidelnosti umožňuje spolu s případnými defekty iniciaci poškození při zatěžování vnějšími silami.

Celkový strukturní stav svaru, vytvořeného metodou MAG, tj. svarového kovu TOO i základního materiálu ukazuje celkové provedení svaru z hlediska technologie (okem nepostřehnutelná nesouměrnost svařovaných plechů), i z hlediska materiálové odezvy (velikost dendritů svarového kovu, směr jejich růstu, zředění a dosah TOO). Viditelná je i malá delaminace (textura). Natavení je v obou stranách svaru stejné směrem do

základního materiálu s homogením přechodem mezi kovem a TOO. Přechod mezi touto strukturou a rovnoměrnou feriticko-perlitickou strukturou je zřetelný. Svarový kov tvoří krystaly s nevýraznou změnou velikosti a rovnoměrným segregáčním filmem po hranicích dendritů.

U vzorků, které byly fragmentovány během tahové zkoušky byl proveden zevrubný rozbor lomového chování resp. vyhodnocení podmínek lomové plochy (*Obr. 5, Obr. 6*). Toto se vztahuje zejména ke vzorkům z oceli 11 523, u kterých nastala porušení v tepelně ovlivněné oblasti.

Porušení je iniciováno z trhliny vzniklé v kořeni svaru. Propojení četných trhlin lomovou plochou potvrzuje dvoufázové porušení. První fáze iniciační je pseudoštěpného charakteru (světlejší) obsahující stopy tvárného lomu. Zbylá část (tmavá) je typický transkrystalický štěpný lom v rámci druhé fáze porušení. Ze snímků je patrný vliv korozního napadení v místech trhlin za horka, které se podílí na prorůstání těchto diskontinuit do materiálu. S malými výjimkami nebylo pozorováno korozní napadení ze strany svarové housenky. To svědčí o dobré korozní odolnosti svarového kovu i tepelně ovlivněné oblasti (TOO) v místech, které postrádají materiálové poruchy, vzniklé svařováním. Neprovařený kořen svaru a trhlinky vzniklé rozdílnou smrštitivostí při chladnutí kovu se zdají být rozhodující při iniciaci lomového porušení hlavně u materiálu s nižší tažností.



Obr. 5 Lom mat. 11 523 svařených obalenou elektrodou v korozní atmosféře



Obr. 6 Lomová plocha vzorku mat. 11 523 svařených metodou MAG v korozní atmosféře NaCl

ZÁVĚR

Bylo potvrzeno, že vady vzniklé v důsledku tavného procesu, jsou korozními vlivy zvýrazněny vlivem přímého působení koroze. Oxidační proces se rozvíjí převážně v pórech, dutinách, trhlinách a je umocněn odlučováním iontů železa v chloridovém prostředí. Rozsah

degradace v důsledku těchto pochodů se projevuje poklesem převážně tažnosti materiálu (viz. zkušební diagramy). Průnik korozních zplodin do nosného průřezu (metalografické snímky) je důkazem nedostatečné ochrany materiálu. Pro jednoznačně průkazné vlivy je nutné prodloužení exploatace vzorků v korozních prostředích na minimálně dvojnásobnou dobu než stanoví příslušná norma pro zkoušení v komorách. Je zřejmé, že hlavně houževnatost svarových spojů (především v TOO) je výrazně ovlivněna volbou ochranného systému, který by znemožnil průnik korozního prostředí do degradovaného materiálu po svaření. Zvláště u materiálů s vyšší pevností, které jsou ohroženy trhlinami za studena resp. nožovými trhlinami (u koutových svarů).

Korozní prostředí vyvolává prorůstání technologických defektů do materiálu a tím snižuje únosnost svaru ať již z pohledu napětového (rozložení síly po ploše), tak i z pohledu lomové mechaniky. U houževnatějšího materiálu (11 373) postačuje plasticita kovu k eliminaci tepelných pnutí což se projevuje homogennější oblastí kořene svaru (bez trhlín).

Korozní vliv prostředí se u těchto vzorků projevuje jen nepatrným poklesem únosnosti svaru – hodnota meze pevnosti poklesne jen o cca 20 MPa na rozdíl od razantního snížení pevnosti u materiálu 11 523.

Co se týká vhodnosti jednotlivých způsobů svařování u oceli 11 523, tak se ukazuje vhodnost použití technologie MAG / CO₂, před obalenou elektrodou. Je to zapříčiněno velkým množstvím strukturních vad u obalené elektrody, které se u metody MAG nevyskytují. Tyto vady výrazně snižují únosnost spojů, která je při použití materiálu 11 523 požadována v korozním prostředí. U materiálů 11 373, který není tak náchylný především na trhliny za studena, je tento trend méně patrný, ale při postupné modernizaci všech provozoven, kde se tavného spojování používá, by se nemělo opomenout i na stále rostoucí nároky, právě na tyto spoje, a zařadit do plánovaného modernizačního schématu i nákup automatických svařovacích strojů.

LITERATURA

Černý M. a kol.(1984) : Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů. SNTL Praha, 284 s.

Číhal A. (1984) : Mezikrystalová koroze ocelí a slitin. SNTL Praha, 355 s.

Kuncipál J. a kol. (1986) : Teorie svařování. SNTL Praha, 272 s.

Ptáček L. a kol. (2001) : Nauka o materiálu I. CERM, s.r.o. Brno, 505 s.

Žák J. a kol. (1985) : Technologie slévání, tváření a svařování. VÚT Brno, 1137 s.