



MOŽNOSTI ZKOUŠENÍ TRUBEK MAGNETICKOU PRÁŠKOVOU METODOU – SOUHRN

POSSIBILITIES OF MAGNETIC PARTICLE TESTING OF TUBES – SUMMARY

Ing. Miroslav ROXER,

ATG s.r.o., roxer@atg.cz

Abstrakt

Článek se zabývá technikami zkoušení magnetickou práškovou metodou (MT). Je výsledkem období vývoje magnetizérů pro zkoušení čel, konců a vnějšího povrchu trubek práškovou metodou. Zaměřuje se na magnetizační techniky a kombinace magnetizačních technik, kterými lze dosáhnout všesměrové magnetizace zkoušeného povrchu, nebo žádané oblasti. Většina zmíněných technik byla ověřena přímým experimentem. Článek dělí oblasti zájmu na vnější povrch trubky, svar a TOZ (Tepelně Ovlivněná Zóna), konec trubky včetně vnitřního povrchu konce. Dalším úhlem pohledu je průměr trubky. Článek se věnuje trubkám o průměru od 40 mm do 1,5 m a to samostatným trubkám před svařením do potrubního systému.

Klíčová slova: Magnetická prášková metoda, trubky, konce trubek, techniky zkoušení

Abstract

This article deals with various techniques used for magnetic particle testing. It is a result of long period of development of magnetic particle benches for testing of tube bodies and tube ends. It is focused on magnetization technics and combination of techniques which result into combined magnetization of required surfaces or areas. Most of the techniques were verified by direct experiment. The article divides the areas of interest to outer surface, weld and HAZ (Heat Affected Zone), end of the tube including the inner surface. The other point of view is the diameter of the tube. It shows techniques for automated testing of single tubes from 40 mm up to 1.5 m in diameter before welding with other tubes.

Key words: Magnetic particle method, tubes, tube ends, test techniques

1 Úvod

Většina požadavků na zkoušení MT vychází přímo z požadavků výrobců trubek a trub, kteří se buď přímo snaží následovat pokynů norem [1] [2] [3] [4], nebo vytvářejí své vlastní. Vedle zkoušení polotovarů pro výrobu trubek a konců hotových trubek pomocí ultrazvuku a radiografického zkoušení svarů na trubkách větších

průměrů, je magnetická prášková zkouška hojně užívána pro nedestruktivní zkoušení povrchů, konců se závity, nebo ploch před svařením.

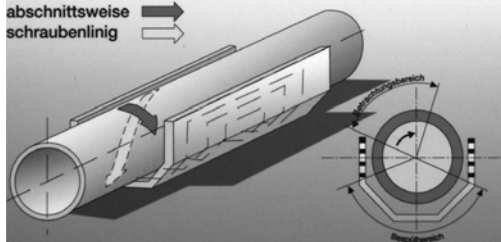
Všechny hodnoty intensity proudu a magnetického pole jsou uváděny jako efektivní hodnoty. Mnoho ze zmíněných technik používá dvě ze tří fází distribuční sítě. Tato nevyvážená zátěž může v síti způsobovat nežádoucí fázové posuvy, které je třeba při velkých výkonech kompenzovat.

2 Zkoušení vnějšího povrchu trubek

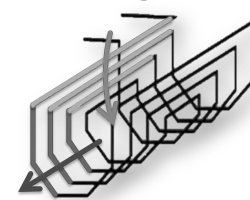
2.1 Cívka ve tvaru koryta

MP-Prüfung der Außenoberfläche

abschnittsweise
schraubenlinig



Cirkulární magnetizace

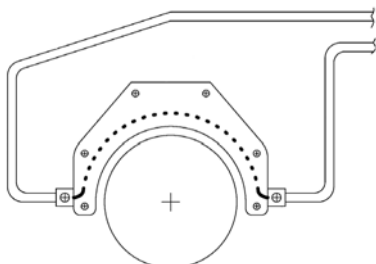


Podélná magnetizace

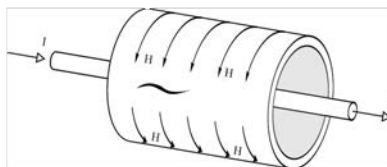
Obrázek 1 - Cívka ve tvaru U [4].

Korytová cívka s několika paralelními podélnými segmenty a několika segmenty kolmými na osu trubky lze použít pro zkoušení vnějšího povrchu. Trubka je unášena podél své osy a současně okolo ní rotuje. Během tohoto pohybu je polévána detekční suspenzí. Segmenty cívky paralelní s osou trubky způsobují cirkulární magnetizaci. Zbývající segmenty slouží k podélné magnetizaci. Takovéto rozložení je vhodné pro trubky v rozsahu průměrů od 20 do 700 mm. Maximální příkon je 90 kW [5].

2.2 Otevřená cívka a pomocný vodič

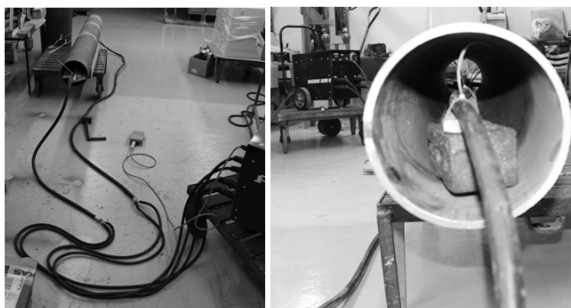


Obrázek 2 – Otevřená (poloviční) [8].



Obrázek 3 – Pomocný vodič [9].

Kombinací zmíněných technik lze dosáhnout všesměrové magnetizace povrchu trubky. Zkoušená oblast je omezena prostorem pod a v těsné blízkosti závitů poloviční cívky. Centrální vodič magnetuje cirkulárně povrch po celé délce trubky. Pro snížení potřebného výkonu lze použít i vodič umístěný k horní části vnitřního povrchu. Proudů pro napájení obou magnetizačních prvků musí být fázově posunuty. V tomto případě je dostačující rozdíl fází poskytovaný sítí, tedy 120° . Například trubka o průměru 220 mm a tloušťce stěny 8 mm vyžaduje minimální proud 1,5 kA do pomocného vodiče a alespoň 3 kA do otevřené cívky. S takovými proudy lze dosáhnout na zkoušeném povrchu intenzity mag. pole 2 kA/m. Tedy minimální hodnoty vyžadované v Obecných principech pro MT [6].

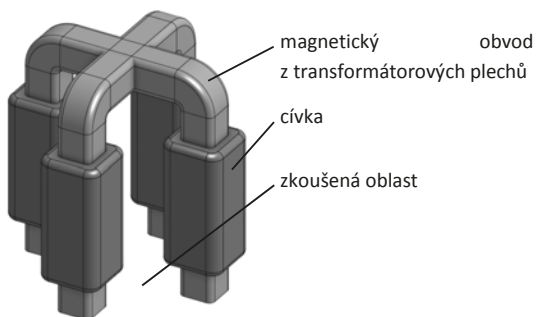


Obrázek 4 - Experiment s pomocným vodičem [7].

3 Zkoušení svaru

Pokud není trubka tažená, tedy bez svaru je třeba ji vyrobit z polotovaru plechu. Obdélníkový plech je v lisu ohýbán na kruhový profil a následně podélně svařen. První druh svaru je tedy rovný, podélný. Druhým způsobem jsou spirálové svary, které se používají pro výrobu trubek větších průměrů z plechového svitku. Následující techniky jsou určeny pro lokální zkoušení. Lze je proto použít pro oba dva zmíněné typy svarů. Rozdíl je pouze v manipulaci s trubkou. Pro spirálové svary je kromě pohybu v ose (pohybuje se trubka, nebo magnetizér) nutná i rotace.

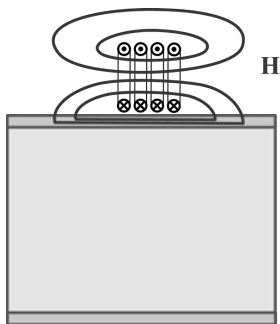
3.1 Křížové jho



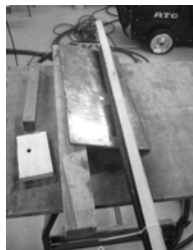
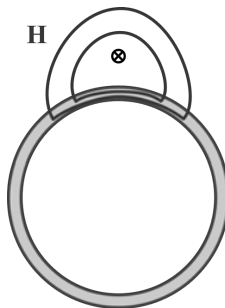
Obrázek 5 – Křížové jho.

Pravděpodobně nejjednodušší cestou zkoušení svaru, kterou lze také snadno automatizovat je použití křížového jha. Jedná se o kombinaci dvou jednoduchých jeh a dvou párů cívek napájených fázově posunutým střídavým proudem. Ačkoli výrobci uvádějí střídavé proudy s fázovým posunem 90° , konstrukce s přijatelnými náklady vede k použití dvou síťových fází, tedy posunu o 120° .

3.2 Příložný vodič a příložná cívka



Obrázek 6 – Podélná magnetizace příložnou cívkou [7].

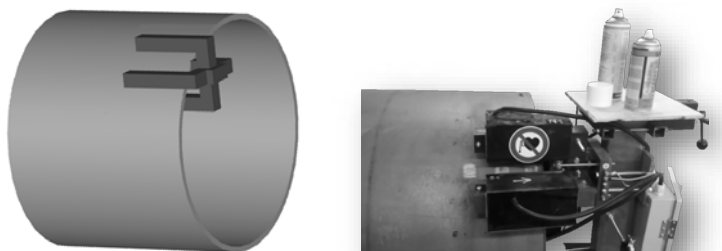


Obrázek 7 – Církulární magnetizace příložným vodičem [7].

4 Zkoušení konců trubek

Polotovary plechů pro výrobu trubek jsou obvykle zkoušeny pomocí ultrazvuku. Tato technika však není vhodná pro konce plechů. Po svinutí a svaření je na konci trubky často obrobena fazeta. Všechny zmíněné procesy mohou dát vzniknout novým vadám materiálu. Na oblast budoucího svaru jsou kladeny zvláštní nároky. Minimálním požadavkem je zkoušení návarové plochy (čela trubky) na obvodové vady, které mohou vzniknout odhalením laminarit plechu při obrobení fazety. Rozšířeným požadavkem je kontrola budoucí tepelně ovlivněné oblasti a přilehlých ploch, tedy vnějšího povrchu trubky do vzdálenosti několika centimetrů od okraje (podle průměru trubky). Maximálním požadavkem bývá zkoušení konců trub na vnitřním povrchu do vzdálenosti až několika desítek mm, obvykle do hloubky shodné s požadavkem na vnější povrch. U trubek malého průměru je logické požadavek na hloubku zkoušení vnitřního povrchu omezit polovinou vnitřního průměru. Ve větší hloubce je vizuální kontrola případných indikací obtížná.

4.1 Křížové jho s amplitudově regulovanými zdroji s fázovým posunem



Obrázek 8 – Křížové jho s fázovými posuny, numerický model a experiment [7].

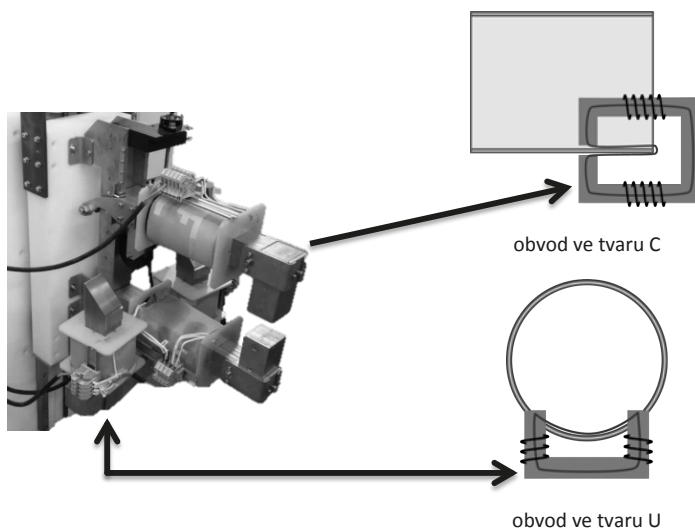
Křížové jho tohoto typu se skládá z magnetického obvodu obdobného jako v (4.1) a ze čtyř samostatných cívek napájených čtyřmi zdroji s nezávislým fázovým posunem a amplitudou. Kombinace fázových posunů a amplitud je navržena tak, aby na zkoušeném povrchu došlo k všesměrové magnetizaci. K navržení vhodných fázových posuvů pro daný typ trubky (průměr a tloušťka stěny) bylo použito optimalizačních algoritmů v numerickém modelu.

Standardním křížovým jhem (4.1) lze dosáhnout všesměrové magnetizace na povrchu čela, nikoli však současně na čele a vnitřním a vnějším povrchu. Zkoušená oblast je omezena mezi póly jha. Pro možnost zkoušení během rotace, ježto je podmínkou dodržení požadovaného výrobního taktu, je třeba, aby mělo jho dostatečné rozměry. Zkoušená oblast (oblast aktivního rotujícího pole) musí být vzhledem k rychlosti rotace trubky dostatečně rozsáhlá, aby mohla případná indikace

na povrchu vzniknout ještě v aktivním poli a přebytek suspenze v tomto poli ještě stačil odtéci. Při malé oblasti aktivního pole hrozí smytí vytvořené indukce, nebo s nutným zpomalením rotace nedodržení výrobního taktu.

Vlivem elektromagnetické vazby dochází, podobně jako u transformátoru, k indukci proudů z jednotlivých cívek do ostatních větví. Navržení fázových posuvů a amplitud tedy není triviálním úkolem. Protože křížové jho zasahuje do apertury trubky, je použitelné pouze pro průměry přibližně od 200 mm, podle velikosti jha. Vizualní kontrola se provádí těsně po výstupu oblasti z aktivního pole, například přenosem obrazu z řádkové kamery na monitor operátora.

4.2 Křížové jho - klešťové



Obrázek 9 – Klešťové křížové jho [7].

Křížové klešťové jho má výrazně jednodušší řízení než jho s čtyřmi zdroji (5.1). Jedná se o dva modifikované magnetické obvody, každý s párem cívek. Obvod ve tvaru U vytváří cirkulární (obvodovou) magnetizaci a pole efektivně zasahuje přibližně do hloubky rovné polovině vzdálenosti pólových nástavců. Pólové nástavce je třeba přizpůsobit tvaru čela, například zkosením v případě fazety, jak je vidět na obrázku (Obrázek 9).

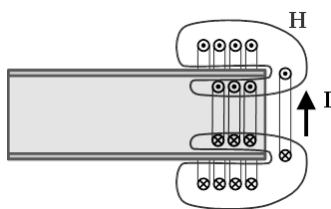
Magnetizace podélná s osou trubky je realizována magnetickým obvodem ve tvaru písmene C. Pro minimalizaci vzduchové mezery je třeba umožnit pohyb jednoho pólu ve svislém směru. Hloubka je pak omezena délkou ramene mag. obvodu.

Jho je napájeno ze dvou fází síťového napětí. Cívky na jednotlivých mag. obvodech jsou zapojené do série. Obvod tvaru C opět zasahuje do apertury trubky a proto je vhodný od průměru 300 mm. Velikost maximálního průměru není omezena.

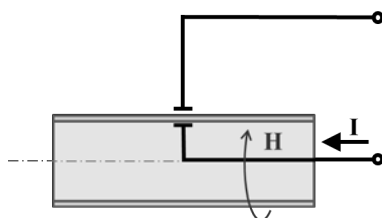


Obrázek 10 – Indikace na měrkách SHIMS na vnějším povrchu, čele a vnitřním povrchu [7].

4.3 Cívka a pomocný vodič



Obrázek 11 – Podélná magnetizace vnitřní a vnější cívkou.



Obrázek 12 - Církulární magnetizace pomocným vodičem.

Spojením magnetizačních technik pomocí cívek a pomocného vodiče je zkouška celého povrchu realizována v jednom kroku. Tvar intenzity magnetického pole (H) je pro obě techniky zvlášť v řezu patrný na výše uvedených obrázcích. Podélná magnetizace může být pro zvýšení efektivity doplněna o čelní závit, který je znázorněn pouze ve schematické části obrázku (Obrázek 11). Cívka je tvořena jedním vodičem a lze ji navinout i z pevného materiálu. Taková cívka je pak samonosná. Nevýhodou je nízký rozsah zkoušených průměrů vzhledem k rigidnímu

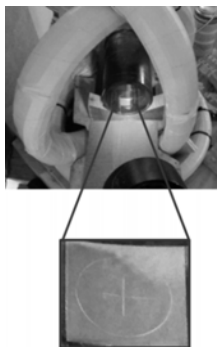
sadou cívek pro různé průměry. Protože ale magnetuje celý obvod naráz bez nutnosti rotace, lze tímto způsobem dosáhnout krátkého taktu.

Při cirkulární magnetizaci prochází proud stěnou trubky. Je proto nutné zajistit dobrý elektrický kontakt, aby nedocházelo k opalům. Pro zachování zkoušení celého povrchu konce trubky v jednom kroku, je třeba umístit vnitřní vodič jako centrální.

4.4 Soustava cívek



Obrázek 13 - Numerický model soustavy cívek s trubkou [7].



Obrázek 14 - Indikace na měrce SHIM při experimentu [7].

Magnetizace pomocí soustavy cívek je vhodná pro zkoušení konců trubek v celém rozsahu zmíněného v úvodu kapitoly 5, tedy vnějšího i vnitřního povrchu a čela současně. Celý díl je zkoušený v jednom kroku bez nutnosti rotace. Při posunu trubky v její ose je tento způsob vhodný i pro zkoušení vnějšího povrchu po celé jeho délce, tedy i svaru podélného i spirálového.

Soustava sestává z tří až čtyř cívek, kde dvě jsou ve svislé poloze kolmé na sebe navzájem. Další cívka je umístěna vodorovně. Tato může být doplněna o další vodorovnou cívku uloženou symetricky vzhledem ke středu soustavy. Soustava je podobně popsána i v patentu [8]. Každá cívka je napájena jednou fází síťového napětí. Vodorovné cívky, jsou-li použity obě, jsou podle možností vinutí v sérii, nebo paralelně na společné fázi. Pro úplnost zmiňme, že směr intenzity mag. pole ve středu cívky je rovnoběžný s její osou. V tomto rozložení tedy kombinujeme tři směry intenzity mag. pole s vzájemným fázovým posunem.

Pro tento případ je plocha apertury soustavy cívek (otvor, kterým prochází trubka) přibližně poloviční vůči apertuře jedné z cívek soustavy. Poměr průřezu trubky a plochy apertury soustavy cívek musí být v rozsahu 0,2 - 0,7. Pro poměr menší než 0,2 není díl řádně všesměrově zmagnetován, pro větší poměr neprojde aperturou

soustavy (není kruhová). Soustava je vhodná pro kontrolu vnitřního povrchu, neboť jej žádná z částí mag. obvodu nezakrývá.

5 Závěr

Z uvedených magnetizačních technik se, s přihlédnutím ke všem úrovním požadavků, jeví jako nejuniverzálnější technika s použitím soustavy cívek, která je s určitými omezeními použitelná pro všesměrové zkoušení celého povrchu trubky vyjma ploch vnitřního povrchu ve vzdálenosti větší, než 20 cm od konce trubky. Pro průměry trub od 1 m by rozměry cívek a požadavky na zdroj významně vzrostly, proto je výhodnější lokální magnetizace pomocí některého z typů křížového jha.

- [1] API, *API 5L - Specification for Line Pipe*, API, 2000.
- [2] ISO, *ISO 10893-5 - Non-Destructive testing of steel tubes, Part 5: Magnetic particle inspection of seamless and welded ferromagnetic steel tubes for the detection of surface imperfections*, ISO, 2011.
- [3] A. International, *ASTM E 1444:16 - Standard Practice for Magnetic Particle Testing*, ASTM International, 2016.
- [4] API, *API 7-1 - Specification for Rotary Drill Stem Elements*, API, 2006.
- [5] M. Schoenen, „Magnetic particle flaw detection apparatus“. Federal Republic of Germany Patent GB 2278 449 A, 30. 11. 1994.
- [6] ISO, *Non-destructive testing - Magnetic particle testing - Part 1: General Principles*, Geneva: ISO, 2015.
- [7] M. Roxer, „R&D notes“, Prague, 2011 - 2018.
- [8] H. GmbH, „Gebrauchsmusterschrift“. Patent DE 20 2016 101 253 U1, 28. 4. 2016.
- [9] Krejča, Josef; Roxer, Miroslav, *Magnetická metoda prášková stupeň I, II, podklady pro školení dle ISO9712, SNT-TC-1A a EN4179 / NAS410*, Praha: ATG - Advanced Technology Group s.r.o., 2012.
- [10] "Deutsches Patent und Markenamt," 2018. [Online]. Available: <https://depatisnet.dpma.de>.
- [11] „www.helling.de,“ [Online]. Available: www.helling.de. [Přístup získán 12. 9. 2018].