



DIAGNOSTIKA POREZITY LEHKÝCH SLITIN VÍŘIVÝMI PROUDY NA OBROBENÝCH PLOCHÁCH DIAGNOSTICS POROSITY LIGHT ALLOYS EDDY CURRENTS ON MACHINED SURFACES

Ondřej KOVACS*, Břetislav SKRBEK*, Andrzej ZYSKA**,

*TU v Liberci, **Polytechnika Czestochowa

Contact e-mail: bretislav.skrbek@tul.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá zkoumáním porezity vzorků ze slévárenské slitiny typu Al-Si, tzv. siluminů, prostřednictvím nedestruktivní metody zkoušení. Práce vyhodnocuje míru porezity s použitím nedestruktivní metody vířivých proudů a mikroskopickou kvantifikací

Klíčová slova: Slévárenské slitiny, porózity, vířivé proudy, mikroskopická kvantifikace

Abstract

This paper work examines porosity of samples from casting alloys like Al-Si, the so called silumin, through non-destructive testing method. The work evaluates the degree of porosity a non-destructive method using eddy currents and microscopic quantification of porosity.

Key words: anglický překlad klíčových slov casting alloys, orosity, eddy currents, microscopic quantification

1. Úvod

Ve většině případů je poróznost nežádoucí jev, který se snažíme eliminovat. Póry bývají iniciačním místem pro vznik únavových lomů, snižují pevnost a tažnost materiálu, kvalitu obrobených ploch a jejich následnou povrchovou úpravu.

Póry mají vliv také na těsnost odlitků. Prosakování media skrz odlitek je ve většině případů značně nežádoucí jev. Nicméně právě propustnosti či nasákavosti porézního materiálu bývá s výhodou využíváno například při výrobě samomazných ložisek či filtrů. Technický význam má proto nedestruktivní diagnostika porózity. Tento příspěvek se zabývá výsledky zkoušení porózity slitiny AlSi10 vířivými proudy. Metodiku lze uplatnit i u ostatních slévárenských slitin Al, Cu a Mg. Zde prezentovaný dílčí výsledek studentské práce O. Kovacse logicky navazuje na [1].

2. Rozsah řešení

2.1. Zkoušení vířivými proudy [2]

Tato metoda spočívá v tom, že zkoušený objekt, jenž má určitou elektrickou vodivost, magnetickou permeabilitu a určité rozměry, se vystaví působení střídavého magnetického pole, které je vytvářeno budicí cívkou, napájenou střídavým proudem. V zkoušeném objektu se v elektromagnetickém poli indukují vířivé proudy, které svým magnetickým účinkem působí podle Lenzova zákona zpětně na magnetické pole budicí cívky a zeslabují ho. Tato dvě magnetická pole (primární od budicí cívky a reakční od vířivých proudů) se vektorově skládají ve výsledné pole, které závisí na elektrické vodivosti a magnetické permeabilitě zkoušeného objektu. Toto výsledné pole se snímá buď přímo v cívce, která budí střídavé magnetické pole, kdy cívkový systém má jedno vinutí a vyhodnocuje se změna impedance cívky (tj. její odpor, který klade střídavému proudu) nebo sekundární cívkou (cívkový systém má dvě vinutí – budicí a snímací), kde se indukuje výsledné indukované napětí, které je závislé především na frekvenci budicího proudu (s rostoucí frekvencí se zvyšuje velikost vířivých proudů) ale také na tvaru, struktuře a elektricko-magnetických vlastností objektu. Vyhodnocuje se amplituda a fáze napětí na snímacím vinutí.

Defekty snižují elektrickou vodivost zkoušeného materiálu a vířivé proudy defekty obtékají, tím se prodlužují dráhy vířivých proudů a rovněž se snižuje i jejich hustota.

Následně se snižuje intenzita zeslabení budicího pole, takže intenzita výsledného pole a s ní i indukované napětí na snímací cívce stoupne. Zvýšená amplituda napětí svědčí o výskytu defektu.

Metodu vířivých proudů lze použít u všech druhů elektricky vodivých materiálů (feromagnetických i neferomagnetických). Mezi výhody by se dala řadit relativně levná

kontrola oproti jiným technologiím NDT, možnost automatizace kontrolního provozu, před kontrolou není nutno upravovat povrch zkušebního tělesa, poměrně vysoká rychlost plynulého zkoušení a ta je pro správnou diagnostiku vad přímo nutností, protože k vyvolání vadového signálu je potřeba, aby sonda a zkoušený objekt byly navzájem v pohybu. Čím více je tento pohyb rychlejší, tím vyšší a snadněji rozpoznatelný impuls dostaneme na stínítku obrazovky. Hustota vířivého proudu se snižuje exponenciálně s hloubkou. A tento úkaz je známý jako povrchový jev.

K vyjádření povrchového jevu se udává tzv. hloubka vniku. Je to vzdálenost pod povrchem, kde hodnota pole je e -krát menší než na povrchu vzorku ($e = 2,718$). To znamená, že je snížena na poměrnou úroveň $1/e = 0,368$ oproti hodnotě 1,0 na povrchu. Rozdělení hustoty vířivých proudů po průřezu zkoušeného materiálu je velmi nerovnoměrné. V ose tyče je hustota vířivých proudů nulová, největší je na povrchu.

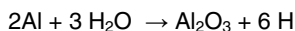
Metoda ET ztrácí indikace vad hluboko pod povrchem. Na druhé straně vhodným pracovním nastavením umožňuje měřit tloušťky vrstev, třídit stavy materiálu [2].

Přístroje typu SIGMATEST slouží k rychlému a spolehlivému měření elektrické vodivosti metodou vířivých proudů všech neželezných kovů na základě komplexní impedance měřicí sondy; přístroj převede hodnotu komplexní impedance na hodnotu elektrické vodivosti. Hodnota elektrické vodivosti je indikována na LCD displeji při pěti volitelných frekvencích (60/120/240/480/960 kHz).

2.2. Poróznost [3]

Významný podíl na vzniku poróznosti ve slitinách hliníku má vodík, který má dostatečnou rozpustnost v tekutém hliníku na to, aby odlitky tímto způsobem ovlivnil.

Hlavním zdrojem vodíku bývá vlhkost v pecní atmosféře. Reakci popisuje rovnice



kdy při styku roztaveného kovu s vlhkostí v atmosféře dochází k disociaci vody, kyslík reaguje s hliníkem za vzniku oxidu hlinitého a právě vodíku.

Dalším zdrojem vodíku je vlhkost v nedokonale vysušených rafinačních solích, které jsou hygroskopické, proto musejí být skladovány v suchu a před použitím se vysouší zhruba při teplotě 200°C.

Podstatný vliv na přítomnost vodíku mají také nedokonale vysušené tavicí kelímky, pecní vyzdívky a používané kovové nářadí.

Samotná vsázka může být také podstatným zdrojem vlhkosti. Vodík je zde vázán v pórech na povrchu materiálu a také v hydroxidech, které se vyskytují na zoxidovaném povrchu vsázkového materiálu.

Ze spalných plynů v tavicích a udržovacích pecích vznikají uhlovodíky a vodní pára, tedy další zdroje vodíku, stejně tak jako zamaštěná či jinak znečištěná vsázka apod.

Příčinou vzniku bublin ve slitinách hliníku je snížení rozpustnosti vodíku během tuhnutí taveniny.

3. Experiment

Pro přípravu vzorků byla použita normalizovaná slitina AlSi11. Chemické složení této slitiny je uvedeno v tabulce 1.

Slitina	chemické složení [%], zbytek je Al						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
AlSi11	10,0–11,8	0,15	0,03	0,10	0,45	0,07	0,15

Tab. 1 Chemické složení.
Tab. 1. Chemical composition.

Tavení materiálu probíhalo v kelímkové indukční peci PIT 50s/400. Materiál byl roztaven a přehřán na teplotu 700°C, následně byl vléván pomocí lžíce do spodní poloviny formy o rozměrech 200x100x50 mm. Forma byla připevněna na hydraulickém lisu PHM – 250C, byla temperována na 150°C a na její povrch byla nanesena ochranná vrstva z koloidního grafitu, která měla za úkol zabránit přichycení taveniny k formě. Následně byl spuštěn lisovací razník, forma se uzavřela a probíhalo lisování. Vznikly tedy odlitky o rozměrech 200x100x25 mm. Tlak na odlitek působil 50 sekund. Po této době razník přestal vyvíjet tlak na formu a odlitek byl vyhozen pomocí čtyř vyhazovačů umístěných v rozích formy. Odlitky byly připravené dvojím způsobem, pod tlakem 60 MPa a metodou gravitační, vždy při teplotě formy kolem 150°C.

Další odlitky byly připravené ze slitiny modifikované stronciem, AlSi10 s množstvím 0,05% Sr. Modifikující prvek byl přidán do slitiny po jejím přehřátí na 730°C, následně byla připravena lázeň o stejné teplotě, do které se slitina na 10 minut ponořila s cílem homogenizace chemického složení. Z takto zpracovaného kovu byly připravovány vzorky při stejných podmínkách jako při přípravě vzorků z nemodifikované slitiny.

V tabulce č. 2 je uvedeno označení vzorků a způsob jejich přípravy. Pro měření byly vybrány vzorky ze střední části odlité desky (s označením W) a z okrajové části odlité desky (označení Z).

označení vzorku	místo odebrání vzorku	stav slitiny AlSi11	obsah modifikátoru [%]
1W	střed	nemodifikovaný, odlévaný gravitačně	–
1Z	okraj		
2W	Střed	Nemodifikovaný, odlévaný pod tlakem 60MPa	–
2Z	Okraj		
3W	střed	modifikovaný, odlévaný gravitačně	0,05
3Z	okraj		
4W	střed	modifikovaný, odlévaný pod tlakem 60MPa	0,05
4Z	okraj		

*Tab. 2 Přehled vzorků.
Tab.2. Sample summary*

3.1. Měření porózy

Poróza byla měřena u každého vzorku vždy na dvou místech a to u povrchu vzorku a ve středu vzorku, tedy v místě, kudy prochází tepelná osa vzorků. Měření probíhalo na ploše o rozměrech 3x3 milimetry.

Povrch vzorků byl snímán na optickém mikroskopu NEOPHOT 32 jenž byl opatřený digitálním fotoaparátem NIKON COOLPIX 4500. Při snímání povrchu vzorků bylo použito padesátinásobné zvětšení.

Nasnímané fotografie byly následně zpracovány pomocí systému analýzy obrazu NIS - Elements, přičemž bylo nutné rozlišit reálné póry ve slitině od vad povrchu, které vznikly při přípravě vzorků. Slitina AlSi11 má nízkou tvrdost (50 - 60HV) a proto byly vzorky při leštění velice náchylné na tvorbu škrábanců. Nicméně právě tyto povrchové vady se podařilo v nastavení programu eliminovat tak, že byla měřena právě jen reálná poróznost slitiny. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 3.

označení vzorku	zjištěná poróznost [%]	
	střed vzorku	okraj vzorku
1W	1,3	1,2
1Z	0,2	0,2
2W	0,02	0,02
2Z	0,1	0,02
3W	1,1	1,2
3Z	1,1	0,5
4W	0,006	0,02
4Z	0,03	0,2

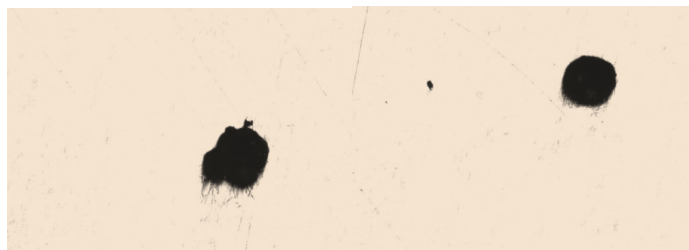
Tab. 3 Poróznost metalograficky

Tab.3. Porosity metalography

3.2. Mikrostruktura vybraných vzorků

Pro popis struktur byly vybrány vzorky odlévané různými technologiemi. Vybrané mikro-skopické struktury byly ze středu odlité desky.

Struktura vzorku 1W obsahuje primární dendritické krystaly (Al) a eutektikum (Al) + Si, kde je křemík vyloučen ve formě hrubých jehlic s výraznými negativními vlivy na mechanické vlastnosti, protože tvar eutektického křemíku Si výrazně ovlivňuje hlavně pevnost v tahu a tažnost.



Obr. 1 Tvar poróznosti, 100xzv.

Fig. 1 Form porosity, 100xinc.



Obr. 2. Vzorek 1W (nemodifikovaný stav) – zv. 500x
 Fig. 2. Sample 1W (no-modification) – inc. 500x



Obr. 4. Vzorek s místy měření.
 Fig. 4. Sample and site measurement

Struktura vzorku 4W je tvořena primárními dendritickými krystaly (Al) + eutektika (Al + Si), které má zrnitý tvar. Eutektikum vzorku 4W je nejjemnější ze všech pozorovaných struktur, proto tento vzorek bude dosahovat lepších mechanických hodnot, než předešlé struktury vzorků a opět je toho docíleno vlivem modifikací slitiny stronciem.



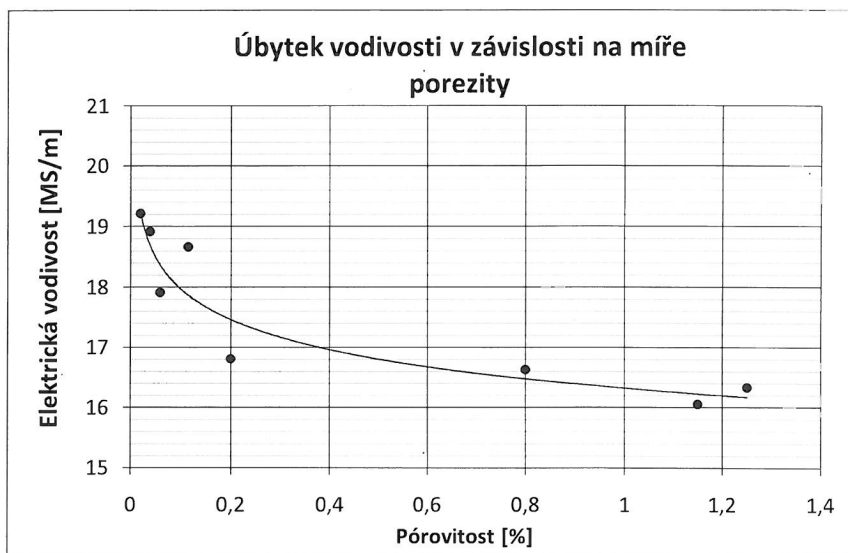
Obr. 3. Vzorek 4W (modifikovaný stav) – zv. 500x
 Fig. 3. Sample 4W (modification) – inc. 500x

3.3. Elektrická vodivost

Naměřené hodnoty vodivosti jednotlivých vzorků přístrojem SIGMATEST 2.069 jsou vyjádřeny v grafu 5, číselné hodnoty – průměrné z 5-ti měření v tab. 4. Měřeno na řezné („obráběné“) ploše.

vzorek	Střední poróznost %	vodivost[MS/m]
2W	0,02	19,2
4W	0,04	18,9
2Z	0,06	16,91
4Z	0,115	18,6
1Z	0,2	16,8
3Z	0,8	16,7
3W	1,15	16,04
1W	1,25	16,3

Tab. 4. Poróznost a σ [MS/m].
 Tab.4. Porosity and σ [MS/m.]



Obr. 5. σ [MS/m] vzorků z míst 1 (obr.4) a poróznost

Fig. 5. σ [MS/m] sample in site 1 (fig.4) and porosity.

Graf ukazuje, že vzorky 2W, 2Z a 4W, 4Z – tj. vzorky

odlévané pod tlakem (2 – nemodifikované, 4 – modifikované) vykazují poměrně odlišné hodnoty naměřené vodivosti. Naopak vzorky 1W, 1Z a 3W, 3Z odlévané gravitačně (1 – nemodifikované, 3 – modifikované) téměř žádný rozdíl vodivosti nevykazují. Z tabulky 4 lze pozorovat, že jde pouze o desetiny.

U měřených vzorků, které byly odlévány pod tlakem, je tedy viditelné, že v místech B (tepelné ose) je větší pokles vodivosti vzorků. Toto snížení vodivosti mohlo být způsobeno větším množstvím nečistot (pórů), které se především nejvíce vyskytují v tepelných osách odlitků, nebo to mohlo být způsobeno následkem jemnější struktury vzorků, které byly odlévány pod tlakem. Průměrná hloubka průniku vířivých proudů do materiálu byla pouze 0,34 mm.

Naměřené body v grafu lze nejlépe proložit mocninnou křivkou pórovitosti (koeficient korelace činí $K = 0,9370$). Jednotlivé body předpokládané (spočítané) pórovitosti se od průměrné skutečné pórovitosti vzorků liší v případě použitého matematického modelu v průměru o 0,150 %.

Vyhodnocená porezita u všech vzorků prokázala jejich přípustné procento pórovitosti. Přípustná procenta pórů v odlitcích jsou maximálně 2 %.

Největší procenta pórovitosti prokázali vzorky odlévané gravitačně – 1W a 3W. Tyto hodnoty pohybovaly okolo 0,8 - 1, 25 % pórů na měřené ploše výbrusu, ostatní vzorky se pohybovaly v 0,02 - 0,2 % pórů. Takovéto odlitky jsou považovány za zdravé bez výrazných vnitřních necelistvostí.

7. Závěr

Veškerá měření probíhala na vzorcích z materiálu AlSi11, které byly odlity katedrou slévárenství na polské Politechnice Czestochowské. Tyto vzorky byly speciálně připraveny a odlévány tak, aby měli v celém jejich objemu konstantní porózitu v podkritickém objemu do 2%.

Porezita byla stanovena metalografickou kvantifikací elektronickým odečítáním programem analýzy obrazu NIS-Elements 2.30 na ploše řezu středem vzorků.

Z hodnot elektrické vodivosti vzorků, který byl měřen na též ploše, se stanovil mocniný

matematický model s přijatelným koeficientem korelace $K 0,937$. Tento model je použitelný pro měření s příložnou sondou D8mm s frekvencí 120 kHz. na rovinných plochách.

Všechny vzorky obsahovaly ve svém objemu v průměru jen od 0,02 do 1,25 % pórů. Přesto metoda ET prokázala praktickou využitelnost a navázala na práci [1], která vyřešila nedestruktivní diagnostiku pórovitosti v nadkritickém rozsahu 2 až 20% kovových soustav.

Příspěvek podpořil Výzkumný záměr - č. 4674788501 MŠT.

Použitá literatura

- [1] Švec, M.: Výzkum porózy kovových soustav v práškové metalurgii metodami nedestruktivního testování. KMT – B141, bakalářská práce, TU v Liberci, 2009.
- [2] Kopec, B. a kol.: Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2008, ISBN-978-80-7204-591-4.
- [3] Michna, Lukáč, Očenášek, Kořený, Drápala, Schneider, Miškuřová a kol.: Slitiny hliníku. Adin, Prešov, 2005, ISBN 80-89041-88-4.

