

## Galvanický proces nanášení ochranných povlaků na povrch drátů z nízkouhlíkové oceli

### Galvanic Process of Applying Protective Coatings to the Surface of Wires of Low-carbon Steel

Ing. Arkadiusz Wierzba, Ph.D.; M.Sc. Sławomir Sobutka; M.Sc. Artur Plawski; Ing. Marek Tacina; M.Sc. Marek Siemiński

Metalurgia S.A. ul. Św. Rozalii 10/12, 97-500 Radomsko, Poland

*Současné výrobní trendy ve všech průmyslových odvětvích se zaměřují na hledání nových výrobně-technologických řešení splňujících rostoucí požadavky trhu. Za tímto účelem společnost Metalurgia S.A. podnikla výzkum galvanického pozinkování drátu z nízkouhlíkové oceli v jednom výrobním procesu s tažením. Pro účely výzkumu byla využita tažná linka TB4/M doplněná zařízením pro průběžnou galvanizaci. Testy byly prováděny s dráty o průměru 1,20 a 1,50 mm s parametry elektrického proudu 450, 500 a 550 A a s proměnnou lineární rychlostí tahu drátu v rozsahu 2,0 až 6,0 m·s<sup>-1</sup>. Zinkové povlaky nanášené na povrch drátu se vyznačovaly vysokým součinitelem přilnavosti, bez povrchových vad a s vysokým leskem.*

**Klíčová slova:** galvanické pozinkování; pozinkované dráty; knihařské dráty

*The current production trends in all branches of industry are focused on the search for new and better solutions that meet the high market requirements. It is also observed in the steel industry, which is part of the production activity of Metalurgia S.A. as one of the main producers of low carbon wires. For this purpose, Metalurgia S.A. undertook development research aimed at producing a new range of galvanized wires with a protective zinc coating in one process line. The production trials were carried out on the TB4/M machine, which was part of the modernized technological line allowing for the through-going wire galvanization process. The production process was carried out in two stages in one technological sequence. The first stage was drawing the previously prepared semi-finished product to the pre-finished size, and in the second stage, applying a protective zinc coating onto the surface of the wire in the electroplating process. Then, the electro-galvanized wire was subjected to a drawing process to calibrate it to the finished size. The tests were carried out with current parameters of 450, 500 and 550 A and a variable linear speed of the wire run from 2.0 to 6.0 m·s<sup>-1</sup> and a diameter of 1.20 and 1.50 mm. Based on the tests performed, the influence of the current parameters and the linear speed of the wire on the thickness of the applied zinc coating on the wire surface was determined. The effect of changing the wire diameter while maintaining constant current parameters and linear velocity on the thickness of the applied zinc was analyzed. The influence of the last calibration sequence on the homogeneity of the galvanic zinc coating on the wire surface was presented. The zinc coatings applied to the wire surface were distinguished by a high coefficient of adhesiveness, no surface defects and a high gloss.*

**Key words:** galvanizing; galvanized wires; bookbinding wires

Společnost Metalurgia S.A., člen skupiny Moravia Steel, vyrábí již téměř 150 let širokou škálu drátů z nízkouhlíkové oceli a výrobků z drátu, používaných v mnoha průmyslových odvětvích na domácím i zahraničním trhu. Jedním z hlavních produktů společnosti jsou ocelové dráty s měděným povlakem, používané ve velkém měřítku v knihařství a také jako spojovací materiál ve formě drátěných sponek nebo svařovacího drátu. Jedněmi z neúčinnějších a nejrozšířenějších řešení antikorozní ochrany oceli jsou galvanické procesy založené na jevu elektrolýzy, kde je povrch drátu katodou ponořenou do elektrolytu obsahujícího ionty z rozkládající se anody. V důsledku toku proudu a rozdílu potenciálů mezi katodou a anodou se ionty obsažené v galvanické lázni usazují na povrchu drátu a vytvářejí těsnou vrstvu, která jej chrání proti korozi [1,2]. Jako anoda v procesech galvanického pokovování se

používají kovové granuláty, tvořené např. zinkem (galvanizace), niklem (niklování, černé niklování), chromem (chromování) [3]. Dráty s ochrannými povlaky mají velmi široké uplatnění, a proto Metalurgia S.A. realizovala projekt spolufinancovaný prostředky z Národního centra pro výzkum a vývoj (NCBiR), jehož cílem byla výroba poniklovaného drátu určeného pro svařování. Provedené zkoušky zkušební šarže poniklovaného elektrodového drátu nezávislou uznávanou laboratoří potvrdily splnění všech požadavků v souladu se současnými svařovacími normami.

Úspěšný vývoj procesu poniklování drátů otevřel ve společnosti Metalurgia S.A. možnosti vývoje dalších způsobů povlakování. A tak v reakci na poptávku trhu po produktech určených mimo jiné pro výrobu sponek se zvýšenou

odolností proti korozi byly dále provedeny zkoušky výroby drátu s galvanickým zinkovým povlakem.

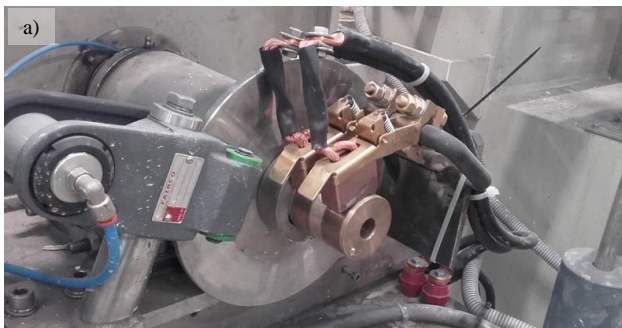
### Popis provedených zkoušek

V rámci realizovaného výzkumu bylo provedeno galvanické pozinkování v jednom výrobním procesu s mokřím tažením drátu. Pro zkoušky byla vybrána tažná linka na mokro TB4 / M, která je součástí strojního parku společnosti Metalurgia S.A. Skládá se z automatického odvíječe, kompenzátoru, vlastní tažné linky na mokro TB4 / M, sady procesních van, tažného monobloku s rotačním průvlakem a vertikální navíječkou. Technologická vana (obr. 1), ve které probíhají procesy nanášení ochranných povlaků na povrch drátu, byla odpovídajícím způsobem modifikována pro umožnění galvanizace.



Obr. 1 Průběžná procesní vana pro nanášení ochranných povlaků na povrch drátu

Fig. 1 Continuous process bath for applying protective coatings on the wire surface



Obr. 2 Modifikovaná galvanizační vana s dodatečně instalovanými a) kartáči včetně držáků kartáčů, b) titanovými násypovými koši

Fig. 2 Modified galvanizing bath with additionally installed a) brushes including brush holders, b) titanium hopper baskets

Jako anoda byly použity speciálně konstruované titanové koše zobrazené na obr. 2b), které byly zaplněny vhodným zinkovým granulátem. Vana byla vybavena elektrickým

usměrňovačem, umožňujícím provádění elektro-chemických procesů mezi katodou (drátem) a anodou (zinkový granulát) s požadovanými parametry napětí [V] a intenzity proudu [A], které určují správný průběh procesu.

Proces galvanického pokovení ochrannou vrstvou zinku byl proveden pro tažený drát o průměru 1,20 a 1,50 mm. První fází procesu bylo vícestupňové tažení polotovaru o průměru 2,70 mm na tažném stroji (TB4 / M), kde celková deformace byla 78, resp. 64 %. Poté byl drát podroben procesu průběžného čištění a aktivace v první technologické lázni naplněné roztokem kyseliny sírové ( $H_2SO_4$ ). V další technologické lázni byla pomocí galvanického procesu nanášena na povrch drátu ochranná vrstva zinku.

Technologické parametry zkoušek provedených v průmyslových podmínkách pro zkušební šarži pozinkovaného drátu o průměru 1,2 a 1,5 mm včetně výsledků zkoušek jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Parametry procesu galvanického pozinkování drátu  
Table 1 Parameters of the wire galvanizing process

Číslo zkoušky	Průměr drátu	Rychlost tažení	Napětí	Proud	Průměrné množství Zn v ochranné vrstvě
	[mm]	[m·s <sup>-1</sup> ]	[V]	[A]	[g·m <sup>-2</sup> ]
1	1,2	4	14,69	450	10,95
2	1,2	4	16,59	500	12,03
3	1,2	4	18,15	550	12,21
4	1,2	5	14,72	450	10,72
5	1,2	5	16,01	500	11,78
6	1,2	5	18,41	550	12,21
7	1,2	6	14,66	450	10,50
8	1,2	6	16,34	500	11,59
9	1,2	6	18,28	550	13,15
10	1,5	6	20,24	500	8,05
11	1,5	5	19,07	500	8,17
12	1,5	4	18,87	500	8,29
13	1,5	3	15,41	500	9,48
14	1,5	3	18,43	550	9,88
15	1,5	2,0	23,01	500	14,15
16	1,5	2,2	22,5	500	12,59

Zkoušky galvanického nanášení ochranné vrstvy na povrch drátů byly prováděny v rozsahu rychlostí od 2,0 do 6,0 m·s<sup>-1</sup> a intenzity proudu 450, 500, 550 A.

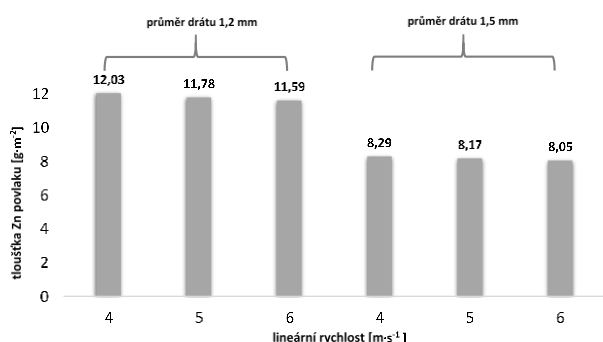
V další fázi procesu byl drát se zinkovým povlakem zaveden do tříkomorové oplachové vany, ve které proběhlo oplachování, pasivace a následné oplachování. Povrch drátu po dokončení těchto operací se vyznačuje nízkým leskem, bez viditelných vměstků a nespojitostí v zinkové vrstvě.

Drát připravený výše uvedeným způsobem dále postupoval do tažného monobloku s rotačním průvlakem mazaným emulzí, a to s cílem kalibrace průměru na hotový rozměr. Po průchodu monoblokem byl povrch drátu lesklý, bez viditelných vad zinkového povlaku.

Poslední fází bylo mechanické čištění povrchu pozinkovaného drátu a navinutí hotového výrobku na cívku.

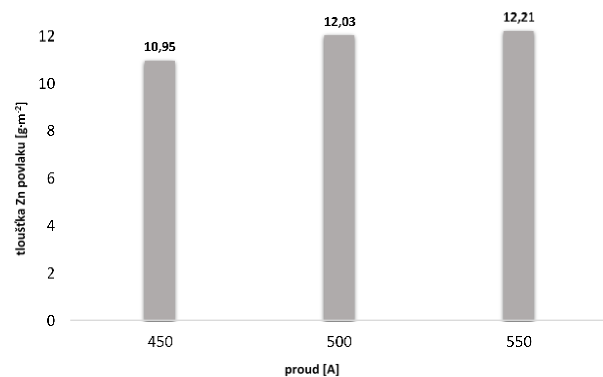
## Analýza výsledků zkoušek

Obsahem analýzy provedených zkoušek nanášení ochranné vrstvy zinku na povrch drátu bylo posouzení vlivu velikosti proudu [A] a lineární rychlosti drátu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], tzn. doby galvanického procesu, na tloušťku naneseného povlaku Zn pro průměry drátu 1,2 a 1,5 mm. Výsledky analýzy jsou uvedeny na obr. 3 a 4.



Obr. 3 Vliv lineární rychlosti drátu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] o průměru 1,2 a 1,5 mm na tloušťku Zn povlaku [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Fig. 3 Influence of linear wire speed [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] with diameter 1.2 and 1.5 mm on Zn coating thickness [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ]



Obr. 4 Vliv proudu [A] na množství Zn v povlaku [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] pro průměr drátu 1,2 mm při konstantní lineární rychlosti  $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

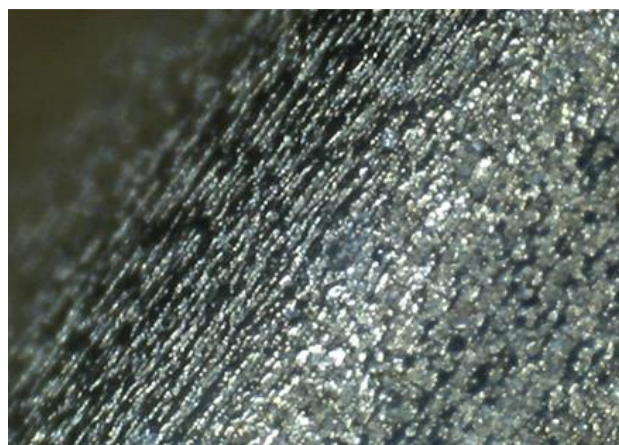
Fig. 4 Influence of current [A] on Zn coating thickness [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ] for wire diameter 1.2 mm at a constant linear speed of  $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Zvyšování proudu [A] při zachování konstantní lineární rychlosti [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] v galvanickém procesu nanášení ochranného povlaku způsobuje větší aktivaci ukládání krystalů zinku na povrch drátu. Zvýšení proudu je však možné pouze do okamžiku, kdy začíná lineární růst teploty lázně. Tento jev byl pozorován u drátu s větším průměrem 1,5 mm. Důvodem nadměrného zahřívání pracovních

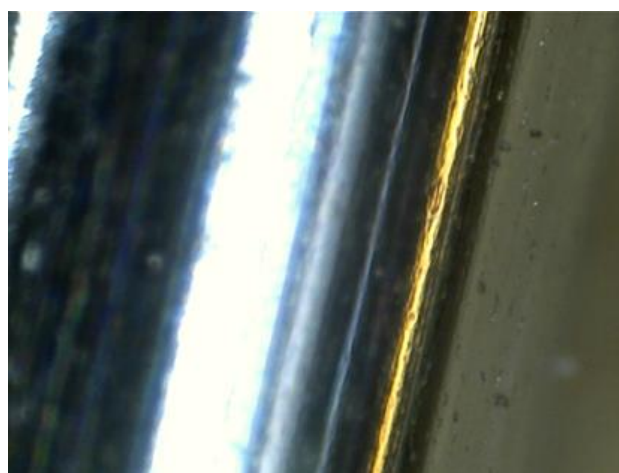
prvků lázně byl jejich měrný elektrický odpor, který způsoboval přeměnu dodávané elektrické energie na teplo. Nejcitlivějšími prvky procesní nádrže byly uhlíkové kartáče (obr. 2a), přenášející proud na drát, a titanové koše (obr. 2b). Měrný elektrický odpor těchto prvků omezoval možnost provedení procesu s vyššími hodnotami proudu.

Zvětšením průměru drátu z 1,2 na 1,5 mm se zmenšila tloušťka zinkového povlaku na hotovém výrobku asi o 23 %. Dosažení požadované tloušťky zinkového povlaku na povrchu drátu na hodnotu odpovídající řádově  $12\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  vyžadovalo zvýšení velikosti elektrického proudu, což bylo možné pouze v určitém rozsahu z důvodu měrného odporu jednotlivých komponent procesní nádrže, nebo snížení lineární rychlosti drátu, v jehož důsledku by došlo k prodloužení doby procesu.

Průchodem pozinkovaného drátu rotačním průvlakem ve finálním monobloku bylo dosaženo lesku zinkového povlaku na povrchu drátu. Obr. 5 ukazuje snímky povrchu drátu při 40násobném zvětšení, které jasně ukazují vliv kalibračního průvlaku na drsnost, lesk a rovnoměrnost naneseného zinkového povlaku.



a)



b)

Obr. 5 Snímek povrchu zkoumaného drátu při 40násobném zvětšení: a) před kalibračním tahem, b) po kalibračním tahu

Fig. 5 Arrangement of zinc crystals on the wire surface at 40× magnification: a) before the calibration draw, b) after the calibration draw

## Závěr

Na základě provedených zkoušek výroby galvanicky pozinkovaného drátu byly učiněny následující závěry:

1. Zvýšení proudu [A] způsobuje zvětšení tloušťky zinku [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ] na hotovém drátu.
2. S růstem lineární rychlosti drátu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] při konstantním proudu [A] se ztenčuje tloušťka zinku na povrchu drátu.
3. Maximální použitelná hodnota proudu [A] v procesu závisí na elementu s nejvyšším měrným odporem; po překročení mezní hodnoty se dodaná elektrická energie přeměňuje na teplo.
4. Kalibrační průvlak zajišťuje dosažení rozměrů hotového výrobku, snižuje drsnost nanesené vrstvy zinku a zvyšuje lesk povrchu drátu.

Provedený výzkum umožňuje navrhnout plně funkční linku na výrobu pozinkovaných sponkových drátů s odpovídajícími užitnými parametry.

## Literatura

- [1] WEBER, J. and SOCHA, J. Podstawowe pojęcia galwaniczne. Mechanizmy elektrolitycznego osadzania metali. *Inżynieria Powierzchni*, (2004) 4, 20-32.
  - [2] ŁABĘDŹ, J. Elektrolityczne stopy cynku w ochronie przed korozją. *Fastener: rynek elementów złącznych*, (2019) 1, 12-13.
  - [3] SOCHA, J. and WEBER, J. Dwuwarstwowe powłoki galwaniczne cynk – czarny nikiel. *Inżynieria Powierzchni*, (2009) 4, 34-40.
-