

tom 62
3•2019

marzec

PL ISSN 0473-7733
e-ISSN 2449-9501



cena 40 zł (w tym 5% VAT)

MIESIĘCZNIK

ochrona przed korozją

**Corrosion
Protection**

70 lat
WYDAWNICTWO SIGMA-NOT



PARTNER



PEWNOŚĆ
W EKSTREMALNYCH
WARUNKACH



www.belse.com.pl

ANTYKOROZJA 2019
Systemy - Materiały - Powłoki

MATEUSZ PAWEŁEK

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej w Katowicach

SYLWIA WĘGRZYNKIEWICZ

BELOS-PLP S.A., Bielsko-Biała

MARIA SOZAŃSKA

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej w Katowicach

DOI: 10.15199/40.2019.3.8

Wpływ obróbki strumieniowo-ścierniej na grubość i mikrostrukturę powłoki cynkowej utworzonej na powierzchni stali po wypalaniu gazowym

The influence of the abrasive blasting on the thickness and the microstructure of zinc coating formed on the steel surface after flame-cutting

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu obróbki strumieniowo-ścierniej na grubość i mikrostrukturę powłoki cynkowej utworzonej na powierzchni stali po wypalaniu gazowym. Obiektem badań były łączniki przedłużające do linii elektroenergetycznych, cięte termicznie z arkusza blachy o grubości 40 mm, gat. S355J2. Łączniki po wypalaniu gazowym podzielono na trzy grupy w zależności od rodzaju dalszych operacji technologicznych tj. normalizacji, szlifowania, śrutowania śrutem staliwnym GL40 i piaskowania elektrokorundem 95A. Następnie łączniki poddano obróbce chemicznej i cynkowano ognio-wo zgodnie z PN-EN 1461 w temperaturze 457°C i czasie zanurzenia 2,5min.

Dla próbek pobranych z łączników na różnym etapie produkcji wykonano pomiar mikrotwardości metodą Vickersa zgodnie z PN-EN ISO 6507. W badaniach metalograficznych oceniono strukturę stali po cięciu i po zastosowaniu danej obróbki technologicznej, a także strukturę i grubość powłoki cynkowej. Wykonano analizę składu chemicznego powłoki cynkowej w wybranych mikroobszarach.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że szlifowanie powierzchni po cięciu termicznym jest operacją mającą największy wpływ na osiągnięcie wymaganej grubości powłoki cynkowej na powierzchniach ciętych. Operacja piaskowania przeprowadzona po szlifowaniu zapewnia odpowiednie oczyszczenie powierzchni, co ma wpływ na grubość powłoki cynkowej. Operacja normalizacji po cięciu termicznym w porównaniu do metod mechanicznych (szlifowanie, piaskowanie) nie daje gwarancji uzyskania powłok cynkowych o największej grubości.

Słowa kluczowe: wypalanie gazowe, obróbka strumieniowo-ścierna, cynkowanie ogniowe, powłoka cynkowa

The paper presents the results of research on the influence of abrasive blasting on the thickness and the microstructure of the zinc coating formed on the steel surface after flame-cutting. The object of the tests were extension links to power lines, thermally cut from steel grade S355J2 and 40 mm thickness. The links were divided into three groups depending on the type of technological operations, i.e. normalization, grinding, shot blasting with GL 40 steel shot and sandblasting with 95A brown fused alumina. Then, links were subjected to chemical treatment and hot-dip galvanized in accordance with EN ISO 1461 (temperature 457 °C and dipping time 2.5 min.).

The microhardness measurement was carried out using the Vickers method according to EN ISO 6507 for samples taken from links in the various production stages. The steel structure after cutting and after application of the technological processing were evaluated as well as the zinc coatings structure and thickness in metallographic tests. The analysis of the chemical composition of the zinc coating in selected micro-areas was carried out.

Based on the conducted tests, it was found that grinding of the surface after thermal cutting is the operation that has a significant impact on the achievement of the required zinc coating thickness on the cut surfaces. Sandblasting after grinding ensures proper cleaning of the surface, which affects the thickness of the zinc coating. In comparison to mechanical methods (grinding, sandblasting), normalization after thermal cutting does not guarantee obtaining zinc coatings with the largest thickness.

Keywords: flame-cutting, abrasive blasting, hot galvanizing, zinc coating

mgr inż. Mateusz Pawełek, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej w Katowicach, Instytut Inżynierii Materiałowej, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

dr inż. Sylwia Węgrzynkiewicz, Wydział Cynkowni, BELOS-PLP S.A. ul. gen. J. Kustronia 74, 43-301 Bielsko-Biała
E-mail: sylwia.wegrzynkiewicz@belos.com.pl

dr hab. inż. Maria Sozańska, prof. nadzw. PŚ., Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej w Katowicach, Instytut Inżynierii Materiałowej, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

■ Otrzymano / Received: 02.02.2019 • Przyjęto / Accepted: 20.02.2019

1. Wprowadzenie

Cięcie gazowe należy do najbardziej popularnych i ekonomicznych procesów kształtowania detali. W pewnych przypadkach, np. w cynkowaniu ogniowym może spowodować trudności z uzyskaniem wymaganej grubości i przyczepności powłok cynkowych [2,5,7-9]. Determinuje to ich odporność korozyjną oraz wpływa na czas eksploatacji wyrobów. W praktyce problem jakości powłok cynkowych jest znaczący, szczególnie, jeżeli pomiar grubości powłoki cynkowej wykonywany jest na powierzchniach po cięciu.

Powłoki cynkowe charakteryzują się złożoną budową. Składają się z faz międzymetalicznych układu równowagi Fe-Zn (Γ - $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$, δ - FeZn_7 , ζ - FeZn_{13}) oraz warstwy zewnętrznej roztworu stałego Fe w Zn (faza η). Warstwa η zapewnia niezbędną odporność powłoki w jej początkowym etapie eksploatacji. Fazy Fe-Zn zmniejszają sumaryczną intensywność korozji w miarę jej postępu. Stanowi to jedną z istotniejszych zalet w zachowaniu się powłok w środowisku korozyjnym. Skład chemiczny stali szczególnie intensywnie wpływa na charakter warstw δ , i ζ [1,3,10].

Zgodnie z PN-EN ISO 14713 cięcie termiczne za pomocą palnika, lasera lub plazmy zmienia strukturę stali nie tylko w obszarze cięcia, ale także w strefie wpływu ciepła [5]. Osiągnięcie wymaganej grubości powłoki na powierzchniach cięcia jest trudne, a przyczepność powłoki jest na nich często ograniczona. Aby uzyskać wymaganą grubość powłoki Zn na powierzchni po cięciu termicznym konieczne jest przeprowadzenie dodatkowej obróbki. Tu norma PN-EN ISO 14713 zaleca gruntowne szlifowanie lub fazowanie krawędzi [5]. Na podstawie przeprowadzonych badań [7-9] stwierdzono, że najlepszym sposobem na zmniejszenie zróżnicowania grubości powłoki cynkowej dla elementów ciętych tlenem jest zastosowanie wyżarzania normalizującego, które usuwa strefę wpływu ciepła. Wyniki uzyskane po dodatkowej obróbce cieplnej dają podobne rezultaty w zakresie zróżnicowania grubości powłoki i jej struktury jak w przypadku cięcia stali strumieniem wodno-ściernym [7,9]. Dobór technologii cięcia oraz dalszego postępowania zależy jednak od bardzo wielu czynników w procesie produkcji. Czynnikiem ekonomicznym, podobnie jak jakość powłoki ma bardzo duże znaczenie zwłaszcza w przypadku produkcji wielkoseryjnej.

Trudności z uzyskaniem wymaganej grubości na powierzchniach wypalanych gazowo, bardzo duże rozbieżności w grubości powłoki na powierzchniach płaskich i powierzchniach bocznych elementów oraz problemy jakości powłok cynkowych na powierzchniach po cięciu skłoniły autorów do podjęcia tej tematyki badań [7-9].

Uzasadnionym było sprawdzenie czy wdrożenie dodatkowej obróbki mechanicznej jaką jest szlifowanie i piaskowanie elektrokorundem 95A pozwoli uzyskać powłokę o wymaganej grubości oraz jednolitej powierzchni, co ma istotne znaczenie dla wyrobów ciętych ze stali o grubości powyżej 20 mm.

2. Badania własne

Do badań wybrano łącznik przedłużający (rys. 1a), wykonany ze stali gat. S355J2. Łączniki są montowane w łańcuchach odciągowych instalowanych na konstrukcjach nośnych linii elektroenergetycznych. Przykład łańcucha odciągowego wraz ze wskazaniem obiektu badań przedstawiono na rysunku 1b.

2.1. Przygotowanie łączników do cynkowania

Łączniki wypalano gazowo z arkusza blachy o grubości 40 mm. Następnie szlifowano wypływki po wypalaniu, wiercono oraz fazowano otwory. Do cynkowania przygotowano trzy serie materiału w zależności od sposobu obróbki przed cynkowaniem. Oznaczenie materiałów przeznaczonych do badań przedstawiono w tabeli 1.

1. Introduction

Flame-cutting is one of the most popular and economical processes of shaping details. In some cases, e.g. in hot dip galvanizing, it can cause difficulties to obtain the required thickness and adhesion of zinc coatings [2,5,7-9]. It determines their corrosion resistance and affects the life of the products. In practice, the problem of the zinc coatings quality is significant, especially if the measurement of the zinc coating thickness is performed on the surfaces after cutting.

The zinc coating has a complex structure. That is composed of diffusive Fe-Zn phases (Γ - $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$, δ - FeZn_7 , ζ - FeZn_{13}) and outer layer - almost pure zinc (phrase η). Layer η provides the necessary resistance of the coating in its initial stage of operation. Phases Fe-Zn reduces the corrosion rate and intensity during process progress. This is one of the most important advantages of the hot-dip zinc coatings in corrosive environments. Chemical composition of steel intensively affects the nature of δ , and ζ layers [1,3,10].

According to PN-EN ISO 14713, flame-cutting, laser-cutting and plasma cutting change the steel composition and structure in the zone on and around the cut surface [5]. Consequently, the minimum coating thickness may be more difficult to obtain and the coating so formed may exhibit a decreased cohesion/adhesion to the steel substrate. In order to obtain the coating thickness more reliably and to ensure adequate cohesion/adhesion of the coating surfaces after thermal cutting, additional treatment should be carried out. The EN ISO 14713 standard recommends grinding and chamfering of edges [5]. On the basis of conducted research [7-9] it was found that the best way to decrease the zinc coating thickness diversification for the elements formed by oxygen cutting is the application of normalizing annealing which removes the heat affected zone. The coating diversification and its structure achieved after additional thermal treatment and water jet cutting of steel are similar [7,9]. The choice of cutting method and additional treatment after cutting depend on many factors in the production process. The economic factor together with the quality are of great importance, especially in large-scale production.

Difficulties in obtaining the required zinc coatings thickness after oxygen cutting and very wide discrepancies in the thickness of the zinc coating on the flat surfaces and the side surfaces of the elements and quality problems of zinc coatings on the surfaces after cutting led the authors to take the subject of this research [7-9].

It makes sense, therefore, to verify that the additional treatment like grinding and sandblasting brown fused alumina 95A will result in zinc coatings with the required thickness and uniform surface, which is essential for parts cut from steel thickness above 20 mm.

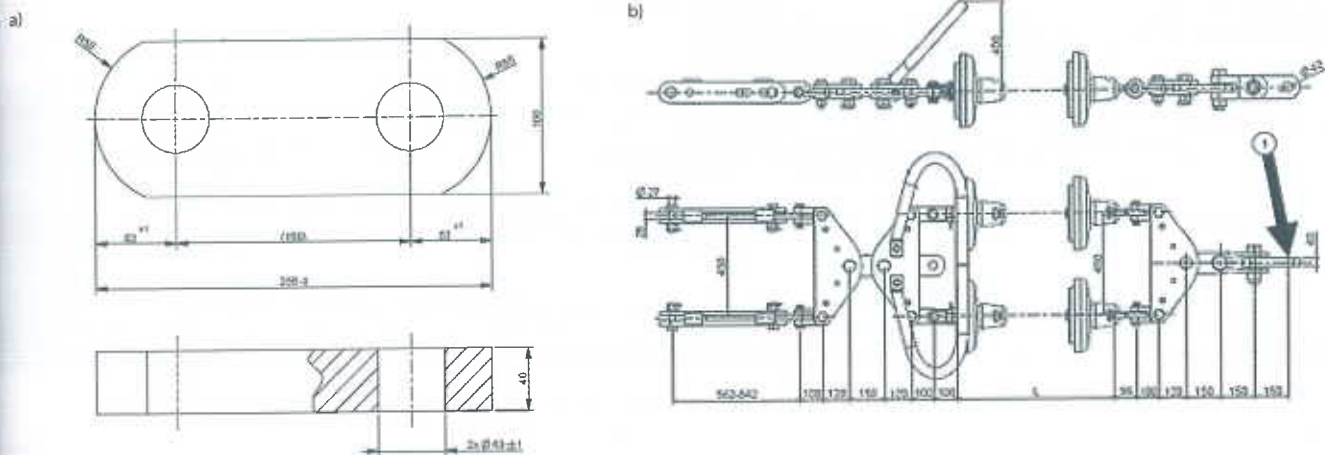
2. Own researches

The extension link made of steel grade S355J2 was chosen for the tests (Fig. 1a). These links are used for installation and for the length adjustment of insulator strings. An example of an extraction chain with an indication of the test object is shown in Figure 1b.

2.1. Samples preparation

Links were flame-cut from steel sheet with a thickness of 40 mm. Then, the flash was grounded.

The holes were drilled and chamfered. Three series were prepared for galvanizing, depending of the method of additional treatment before galvanizing. Division of material for testing is shown in Table 1.



Rys. 1. Obiekt badań: a – wymiary łącznika, b – schemat wybranego łańcucha odciągowego ze wskazaniem miejsca montażu łącznika: 1 – łącznik przedłużający
 Fig. 1. Object of the research: a – dimensions of the extension link, b – scheme of the selected insulator strings and position indication of the link: 1 – extension link

Tabela 1. Oznaczenie materiałów przeznaczonych do badań

Grupa	Rodzaj próbek	Miejsce pobrania próbek	Parametry obróbki
N	N1	Stan po normalizacji	<ul style="list-style-type: none"> • normalizacja, 920°C • śrutowanie śrutem stalowym GL-40 • trawienie w HCl, r-r 12% • topnikowanie w roztworze TIBFLUX 60
	N2	Stan po normalizacji i śrutowaniu	
	N3	Stan po normalizacji, śrutowaniu i cynkowaniu	
S	S1	Stan po szlifowaniu i śrutowaniu	<ul style="list-style-type: none"> • szlifowanie powierzchni po cięciu • śrutowanie śrutem stalowym GL-40 • trawienie w HCl, r-r 12% • topnikowanie w roztworze TIBFLUX 60
	S2	Stan po szlifowaniu, śrutowaniu i cynkowaniu	
K	K1	Stan po szlifowaniu i piaskowaniu	<ul style="list-style-type: none"> • zgrubne szlifowanie powierzchni po cięciu • piaskowanie elektrokorundem 95A • śrutowanie śrutem stalowym GL-40 • trawienie w HCl, r-r 12% • topnikowanie w roztworze TIBFLUX 60
	K2	Stan po szlifowaniu, piaskowaniu i śrutowaniu	
	K3	Stan po szlifowaniu, piaskowaniu, śrutowaniu i cynkowaniu	

Table 1. Division of testing materials

Group	Material designation	Place of sampling	Process data
N	N1	Condition after normalization	<ul style="list-style-type: none"> • normalizacja, 920°C • shot blasting with GL-40 steel shot • etching in HCl, r-r 12% • fluxing in TIBFLUX 60
	N2	Condition after normalization and shot blasting	
	N3	Condition after normalization, shot blasting and galvanizing	
S	S1	Condition after grinding and shot blasting	<ul style="list-style-type: none"> • grinding of the surface after cutting • shot blasting with GL-40 steel shot • etching in HCl, r-r 12% • fluxing in TIBFLUX 60
	S2	Condition after grinding, shot blasting and galvanizing	
K	K1	Condition after grinding and sandblasting	<ul style="list-style-type: none"> • rough grinding of the surface after cutting • sandblasting with brown fused alumina 95A • sand blasting with GL-40 steel shot • etching in HCl, r-r 12% • fluxing in TIBFLUX 60
	K2	Condition after grinding, sanding and shot blasting	
	K3	Condition after grinding, sanding, shot blasting and galvanizing	

2.2. Cynkowanie ogniowe

Proces cynkowania przeprowadzono metodą zanurzeniową w temperaturze: 457°C i czasie $t = 2,5$ min w kąpeli cynkowej wzbogaconej niklem, bizmutem i aluminium. Skład chemiczny kąpeli przedstawiał się następująco (% mas.): 99,869 Zn, 0,041 Ni, 0,0474 Bi, 0,00027 Al, 0,0325 Fe, 0,0009 Sn, 0,0053 Cu, 0,0012 Cd. Podczas realizacji wszystkich prób zadbano o maksymalną powtarzalność technologicznych parametrów kąpeli Zn.

3. Metodyka i wyniki badań

3.1. Pomiar twardości

Pomiar mikrotwardości wykonano metodą Vickersa zgodnie z PN-EN ISO 6507 [6]. Pomiar (HV0,1) wykonano od krawędzi cięcia w kierunku rdzenia. Krok pomiaru ustalono na 200 μm . Wyniki przedstawiono na rysunku 2.

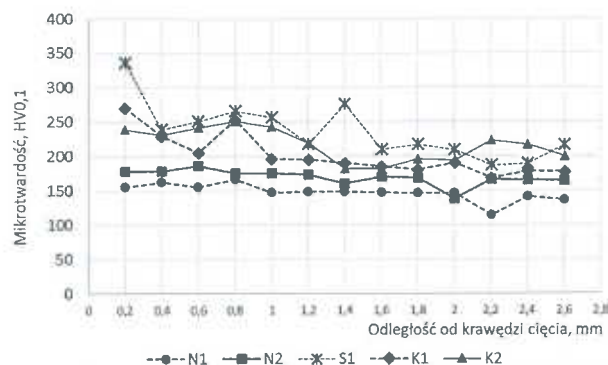
2.2. Hot dip galvanizing

The hot-dip galvanizing process was carried out in temperature 457°C and time $t = 2.5$ min in a zinc bath enriched in: nickel, bismuth and aluminium. The chemical composition of the bath was as follows (% weight): 99.869 Zn, 0.041 Ni, 0.0474 Bi, 0.00027 Al, 0.0325 Fe, 0.0009 Sn, 0.0053 Cu, 0.0012 Cd. During the coating of all elements the special attention was paid to the maximum repetitiveness of technological parameters of galvanizing process.

3. Methodology and test results

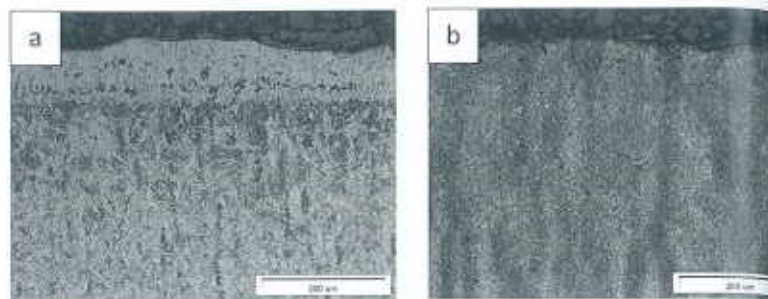
3.1. Hardness measurement

The microhardness measurement was made using the Vickers method in accordance with EN ISO 6507 [6]. The measurement (HV0.1) was made from the cutting edge towards the core. The step of the measurement was established on 200 μm . The results are shown in Figure 2.



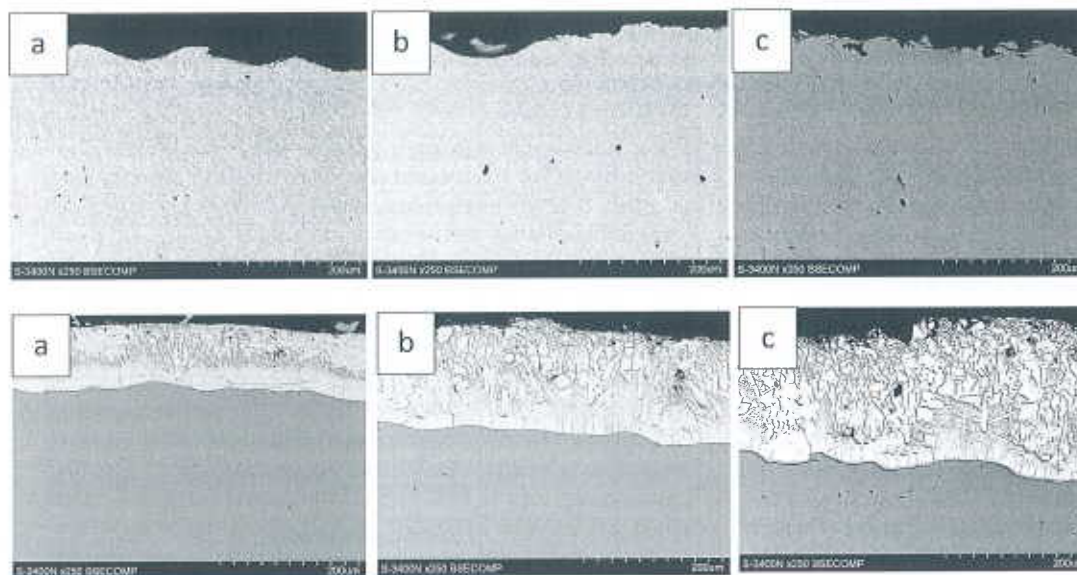
Rys. 2. Wyniki pomiaru mikrotwardości (HV0,1) łączników w kierunku od krawędzi cięcia do rdzenia (oznaczenia jak w tabeli 1).

Fig. 2. Results of microhardness measurement (HV0.1) of links in direction from cutting edge to the sample core (marking according to Table 1).



Rys. 3. Struktura stali gat. S355J2: a – po normalizacji, b – po wypalaniu gazowym

Fig. 3. Cross-section of the S355J2 steel structure: a – after normalization, b – after flame-cutting



Rys. 4. Ukształtowanie warstwy wierzchniej próbek łączników: a – po normalizacji i śrutowaniu, b – po szlifowaniu i śrutowaniu, c – po szlifowaniu, piaskowaniu i śrutowaniu

Fig. 4. Surface layer of links: a – after normalization and shot blasting, b – after grinding and shot blasting, c – after grinding, sand-blasting and shot blasting

Rys. 5. Mikrostruktura powłoki Zn ukształtowana na powierzchni po: a – normalizacji, b – szlifowaniu i śrutowaniu, c – szlifowaniu, piaskowaniu i śrutowaniu

Fig. 5. Cross-section of the zinc coating formed on the surface after: a – normalization, b – grinding and shot blasting, c – grinding, sand-blasting and shot blasting

3.2. Analiza mikrostruktury powierzchni i powłok Zn

Do badań metalograficznych mikroskopowych przeznaczono próbki stali po cięciu i cynkowaniu ogniowym. Zgłady przygotowano w sposób klasyczny. Powierzchnię trawiono w Nitalu o składzie 100 ml alkoholu metylowego i 0,5 – 5 ml HNO₃. Obserwacje prowadzono na mikroskopie świetlnym Olympus GX71 przy powiększeniu 50, 100, 200 i 1000x. Wybrane wyniki obserwacji struktury materiału bazowego przedstawiono na rysunku 3. Ukształtowanie warstwy wierzchniej po zastosowaniu dodatkowych obróbek przedstawiono na rysunku 4. Natomiast strukturę powłoki cynkowej na rysunku 5. Dla wszystkich próbek po cynkowaniu dokonano pomiaru grubości powłoki Zn, co przedstawia rysunek 6.

3.3. Analiza składu chemicznego powłok Zn

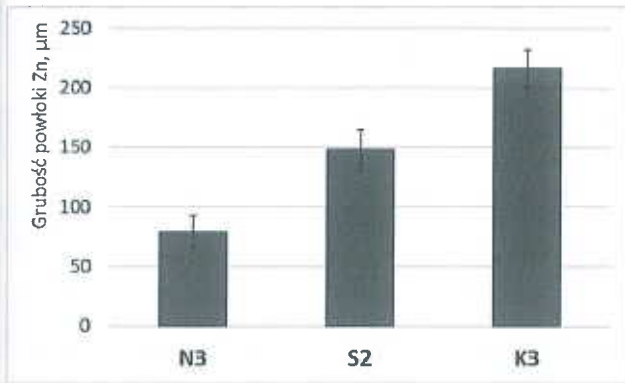
Analizę składu chemicznego powłoki cynkowej wykonano przy użyciu spektrometru rentgenowskiego z dyspersją energii (EDS) sprzężonego z mikroskopem elektronowym firmy Hitachi z detektorem Nanotrance. Wybrane mikroobszary zostały poddane analizie składu chemicznego dzięki przystawce EDS. Napięcie przyspieszające wynosiło ok. 25 kV, a powiększenia odpowiednio: 50, 100, 250, 500 oraz 1000 razy. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 7-9 i w tabelach 2-4.

3.2. Microstructure analysis of steel surface and Zn coatings

Steel samples after cutting and hot-dip galvanizing were used for the metallographic examinations. The fines and metallographic specimens were prepared in classic way. The surface was etched with Nital (100ml of methyl alcohol and 0.5-5ml of HNO₃). The study was conducted on the Olympus GX71 light microscope with 50, 100, 200 and 1000x magnification. The results of selected observation of the steel structure are presented in Figure 3. The surface layer after applying additional treatments is shown in Figure 4, the zinc coating structures- in Figure 5. For all samples after hot-dip galvanizing the zinc coating thickness was measured, as presented in Figure 6.

3.3. Analysis of the chemical composition of Zn coatings

The analysis of the chemical composition of zinc coatings was made using an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS) coupled to a Hitachi electron microscope with a Nanotrance detector. Selected micro-areas were subjected to analysis of the chemical composition thanks to the EDS adapter. The accelerating voltage was about 25 kV, and the magnification was respectively: 50, 100, 250, 500 and 1000 times. The results of the research are shown in Figures 7-9 and in Tables 2-4.



Rys. 6. Wyniki pomiaru grubości powłoki Zn na powierzchni po: N3 – normalizacji, S2 szlifowaniu i śrutowaniu, K3 – szlifowaniu, piaskowaniu i śrutowaniu
Fig. 6. The results of zinc coating thickness measurement on the surface after: N3 – normalization, S2 – grinding and shot blasting, K3 – grinding, sandblasting and shot blasting

Tabela 2. Skład chemiczny powłoki Zn ukształtowanej na powierzchni próbki N3 w zaznaczonych mikroobszarach na rys. 7

Table 2. Chemical composition of the Zn coating formed on the surface of the N3 sample in marked micro-areas in Fig. 7

Punkty/ Points	Zawartość, %mas. / Content, %weight				
	Al-K	Si-K	Mn-K	Fe-K	Zn-K
N3-1	-	-	-	6,7	93,3
N3-2	-	-	-	5,7	94,4
N3-3	0,2	0,3	-	2,1	97,4
N3-4	-	-	-	0,7	99,3
N3-5	0,2	-	-	1,4	98,4
N3-6	0,2	0,3	1,7	97,8	-
N3-7	0,2	-	-	7,4	92,4
N3-8	-	-	-	1,0	99,0

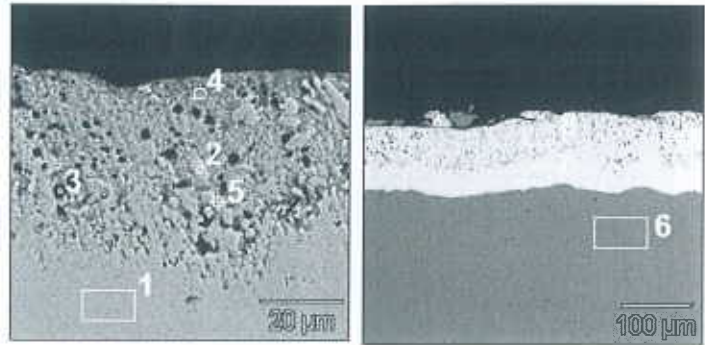
Tabela 3. Skład chemiczny powłoki Zn ukształtowanej na powierzchni próbki S2 w zaznaczonych mikroobszarach na rys. 8

Table 3. Chemical composition of the Zn coating formed on the surface of the S2 sample in marked micro-areas in Fig. 8

Punkty/ Points	Zawartość, %mas. / Content, %weight				
	Al-K	Si-K	Fe-K	Ni-K	Zn-K
S2-1	0,2	-	5,9	0,2	93,7
S2-2	0,3	-	5,7	0,6	93,4
S2-3	0,1	0,2	6,0	0,2	93,4
S2-6	-	0,2	1,6	98,1	-
S2-7	-	-	-	6,6	93,4
S2-8	-	-	-	1,5	98,5

4. Dyskusja wyników i wnioski

Przeprowadzone badania elementów osprzętu sieciowego łączników ciętych termicznie i poddanych różnym obróbkom przed cynkowaniem wykazały, że przygotowanie powierzchni po cięciu do cynkowania ogniowego ma istotny wpływ na grubość powłoki cynkowej. Zastosowanie szlifowania nie usuwa całkowicie strefy wpływu ciepła, ale warstwę metalu, który w procesie cięcia termicznego przeszedł w sposób niekontrolowany przemiany fazowe i w konsekwencji doszło do zubożenia w pierwiastki istotne dla wzrostu powłoki cynkowej. Wdrożenie dodatkowego szlifowania, piaskowania czy śrutowania zapewnia uzyskanie wymaganej grubości powłoki na powierzchniach po wypalaniu gazowym.



Rys. 7. Mikrostruktura powłoki Zn ukształtowanej na podłożu po normalizacji i śrutowaniu (próbka N3) wraz z zaznaczonymi mikroobszarami do badań składu chemicznego

Fig. 7. Microstructure of the Zn coating formed on the surface after normalization and shot blasting (sample N3) with marked micro-areas for analysis of chemical composition

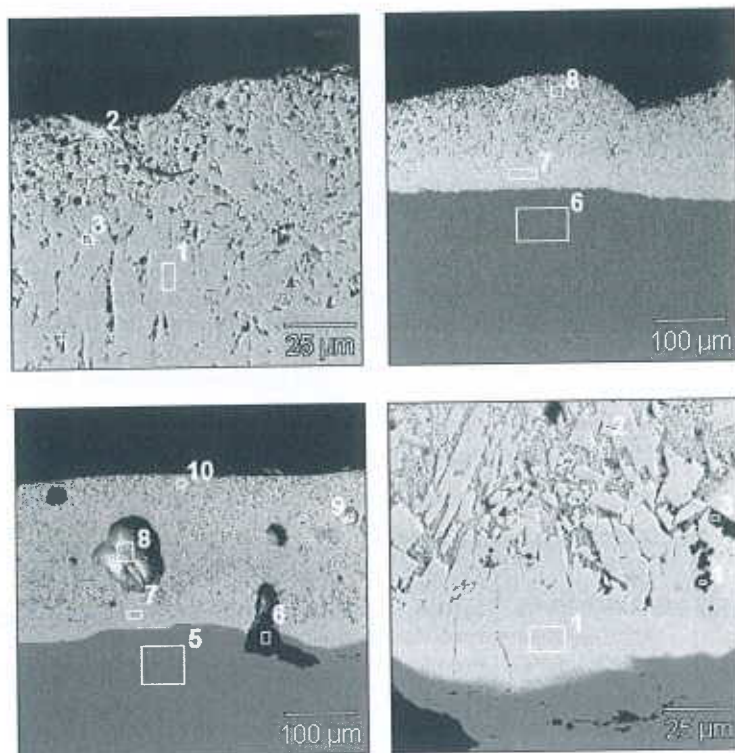
Tabela 4. Skład chemiczny powłoki Zn ukształtowanej na powierzchni próbki K3 w zaznaczonych mikroobszarach na rys. 9

Table 4. Chemical composition of the Zn coating formed on the surface of the K3 sample in marked micro-areas in Fig. 9

Punkty/ Points	Zawartość, %mas. / Content, %weight						
	Al-K	Si-K	Ti-K	Mn-K	Fe-K	Cu-K	Zn-K
K3-1	0,4	-	-	-	8,5	-	91,1
K3-2	0,3	-	-	-	1,0	-	98,7
K3-3	-	0,1	-	-	5,4	-	94,5
K3-4	80	-	-	-	2,5	-	17,4
K3-5	-	-	-	1,6	98,4	-	-
K3-6	69,8	-	0,7	-	5,9	-	23,6
K3-7	0,2	-	-	-	6,2	-	93,6
K3-8	0,3	-	-	-	2,1	-	97,5
K3-9	0,1	0,1	-	-	4,7	0,3	94,7
K3-10	-	-	-	-	0,8	-	99,2

4. Discussion of the results and conclusion

The conducted examination of the fittings for overhead power lines after thermal cutting and subjected each time to different surface treatment before hot dip galvanizing proved that the surface preparation before hot-dip galvanizing is dominant factor affecting the zinc coating thickness. The use of grinding does not completely remove the heat affected zone, but the surface layer, which after the cutting went through an uncontrolled phase transformation, depleted in all components essential for the growth of the zinc coating. Implementation of additional treatment like, sandblasting or shot blasting ensures obtaining the required zinc coating thickness.



Rys. 8. Mikrostruktura powłoki Zn ukształtowanej na podłożu po szlifowaniu i śrutowaniu (próbka S2) wraz z zaznaczonymi mikroobszarami do badań składu chemicznego

Fig. 8. Microstructure of the Zn coating formed on the surface after grinding and shot blasting (sample S2) with marked micro-areas for analysis of chemical composition

Rys. 9. Mikrostruktura powłoki Zn ukształtowanej na podłożu po szlifowaniu, piaskowaniu i śrutowaniu (próbka K3) wraz z zaznaczonymi mikroobszarami do badań składu chemicznego

Fig. 9. Microstructure of the Zn coating formed on the surface after grinding, sandblasting and shot blasting (sample K3) with marked micro-areas for analysis of chemical composition

Mikrostrukturę stali S355J2 po cięciu termicznym charakteryzował stan typowy dla ulepszenia cieplnego. Wyróżnić można było obszary odpuszczonego martenzytu oraz bainityczne.

Po przeprowadzeniu normalizacji w warstwie wierzchniej stali na głębokości do 120 μm zidentyfikowano strukturę ferrytyczno-perlityczną, głębiej natomiast strukturę typową dla strefy wpływu ciepła. Struktura stali po piaskowaniu i śrutowaniu nie uległa zmianie, wyróżnić można było strefę wpływu ciepła (odpuszczony martenzyt).

Najmniejszą twardością charakteryzowały się próbki po obróbce cieplnej N1 i N2. Dla próbek N1, określono średnią wartość twardości na poziomie 147 HV0,1 w całym badanym przekroju. Zastosowanie dla nich śrutowania, spowodowało nieznaczne utwardzenie powierzchni (do około 170 HV0,1). Największą twardością ze wszystkich badanych próbek charakteryzowały się próbki po śrutowaniu. W odległości 0,2 mm od krawędzi cięcia zmierzono 337 HV0,1. Dopiero w odległości około 2 mm od krawędzi cięcia twardość zmniejszyła się poniżej 190 HV0,1. Dla próbek po piaskowaniu twardość przy powierzchni była na poziomie 240 HV0,1 i 270 HV0,1. Na całym badanym przekroju twardość próbki K2 była na poziomie około 200 HV0,1.

Pomiar grubości powłoki cynkowej wykonano metodą mikroskopową. Wynika to z faktu, że obecność warstwy niemagnetycznej na powierzchni po cięciu oraz nierówność na powierzchni (chropowatość) mogą zaburzać wyniki w badaniach metodą magnetyczną.

Największą grubością charakteryzowały się próbki po piaskowaniu, zmierzona średnią grubość powłoki wynosiła około 220 μm . Grubość powłoki na powierzchni po śrutowaniu była o około 30% mniejsza. Wbrew oczekiwaniom, pomiary grubości powłoki na podłożu po normalizacji charakteryzowały się najmniejszą grubością, nie przekraczającą 100 μm . Może być to spowodowane zbyt krótkim czasem procesu normalizacji.

Obserwacje mikroskopowe wykazały niejednorodność mikrostruktury stali oraz cienką warstwę strefy wpływu ciepła. Odchylenie standardowe od otrzymanych wielkości średnich we wszystkich przypadkach było na tym samym poziomie i wynosiło kilkanaście mikrometrów.

The microstructure of the S355J2 steel after thermal cutting was characterized by the state typical for quenched and tempered. Martensitic and bainitic structures are identified.

After normalization a ferritic-pearlitic structure was identified to a depth of 120 μm , deeper the structure typical for the heat-affected zone is present. The steel structure after grinding, sandblasting and shot blasting has not changed, the heat affected zone is present (tempered martensite).

The lowest value of hardness was measured for N1 and N2 samples after heat treatment. For N1 sample, the average value is at the level of 147 HV0,1, in the entire cross-section. The use shot blasting caused a slight surface hardening (about 170 HV0,1). Links after shot blasting were characterized the highest hardness of all tested samples. At a distance of 0.2 mm from the cutting edge, approximately 337 HV0,1 was measured. Only at a distance of ab. 2 mm from the cutting edge, the hardness is lower than 190 HV0,1. For sandblasted samples, the surface hardness was on the level of 240 HV0,1 and 270 HV0,1. Throughout the examined section, the hardness of the K2 sample was on the level approximately 200 HV0,1.

The zinc coating thickness measurement was conducted using the microscopic method. This is due to the fact that the presence of a non-magnetic layer on the surface after cutting and surface roughness may affect the result.

Sandblasted samples were the highest zinc coating thickness, the average was 220 μm . The zinc coating thickness on the surface after shot blasting was approximately 30% lower. Contrary to expectations, the measurement on substrate after normalization was characterized by the lowest thickness, not exceeding 100 μm . This may be due to too short a time of the normalization. Microscopic observations showed heterogeneity of steel microstructure and a thin layer of heat affected zone. The standard deviation in all cases was at the same level and amounted to several microns.

The obtained results were probably influenced by the accuracy of the grinding to which all connectors were subjected (except for N). For K3 and S2 links, there are no reported non-compliance related to the lack of the required zinc coating thickness or its unevenness, although the zinc coating was formed on a substrate of

Na otrzymane wyniki pomiarów grubości powłok Zn po różnych zabiegach technologicznych prawdopodobnie wpłynęła dokładność wykonania operacji szlifowania, której zostały poddane wszystkie łączniki (za wyjątkiem N). Dla łączników K3 i S2 nie odnotowano niezgodności z tytułu braku wymaganej grubości powłoki czy też jej nierównomierności, choć powłoka cynkowa kształtowała się na podłożu o większej twardości i innej strukturze. Powodem tego może być fakt, że obie operacje powodują ubytek materiału oraz zapewniają rozwinięcie powierzchni. Dzięki ich zastosowaniu warstwa wierzchnia po cięciu i po szlifowaniu została jeszcze dokładniej oczyszczona. Potwierdzeniem tego są obserwacje mikroskopowe, z których wynika, że powierzchnia po piaskowaniu charakteryzowała się największym zróżnicowaniem. Większa chropowatość powierzchni miała wpływ na uzyskanie grubszych powłok cynkowych.

Analiza składu chemicznego powłoki potwierdziła, że budowa fazowa powłoki cynkowej jest typowa dla gatunku S355J2. W budowie powłoki badanych próbek można było wyróżnić fazy δ , ζ oraz Γ [1,3,10]. Mają one jednak różną grubość w zależności od sposobu przygotowania powierzchni. Dla próbek po normalizacji powłoka cynkowa zbudowana była z cienkiej fazy δ i dominującej fazy ζ . W odróżnieniu do innych próbek można było zidentyfikować warstwę η – czystego cynku. Nieco odmienną strukturę stwierdzono w powłoce cynkowej próbek S2 i K3. W przypadku powłoki cynkowej ukształtowanej na podłożu po śrutowaniu można było wyróżnić dominujące kryształy fazy ζ . Zajmowały one cały przekrój powłoki. Powłoka ukształtowana na podłożu po piaskowaniu (K3) charakteryzowała się podobnym układem jak po śrutowaniu. Można jednak było wyróżnić w niej wiele zaburzeń struktury, np. typu wtrąceń itp. Takie zróżnicowanie mikrostruktury może mieć duży wpływ na jej odporność korozyjną. Odporność korozyjna powłoki cynkowej zależy od wielu czynników, decydującymi jest jej grubość oraz mikrostruktura, a przede wszystkim wielkość podwarstwy stopowej, jej ciągłość i jednorodność.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Operacja piaskowania przeprowadzona po szlifowaniu zapewnia bardzo dobre oczyszczenie powierzchni, co ma wpływ na grubość powłoki cynkowej.
2. Operacja normalizacji po cięciu termicznym w porównaniu do metod mechanicznych (szlifowanie, piaskowanie i cynkowanie) nie daje gwarancji uzyskania powłok cynkowych o największej grubości.
3. Struktura powłoki cynkowej na podłożu przygotowanym przez normalizację różni się od struktury powłoki na podłożu przygotowanym mechanicznie (śrutowanie, piaskowanie), co może mieć wpływ na jej odporność korozyjną.

higher hardness and other structure. The reason for this may be the fact that both operations cause a loss of material and ensure the surface roughness. Because of their application, the surface layer after cutting and after grinding was even more thoroughly cleaned. This is confirmed by microscopic observations, which show that the surface layer after sandblasting was characterized by the highest roughness. This will have an impact on obtaining thicker zinc coatings.

Analysis of the chemical composition of the zinc coating confirmed that the phase structure of the zinc coating is typical for the S355J2 grade. Phases δ , ζ and Γ are identified in the zinc coating structure [1,3,10]. However, they have different thicknesses depending on the method of surface preparation. For samples after normalization, the zinc coating contains of a thin δ phase and the dominant ζ phase. In contrast to other samples, the η – pure zinc layer is present. The S2 and K3 samples have a slightly different structure. In the case of a zinc coating created on the surface after shot blasting, the crystals of ζ phase can be distinguished. They are on the whole cross-section of the zinc coating.

The zinc coating structure formed on the surface after sandblasting (K3) is similar as after shot blasting. However, many inclusions can be identified. This variation in the microstructure could possibly have a major impact on its corrosion resistance. The corrosion resistance of a zinc coating depends on many factors, its thickness and microstructure, and above all the size of the sub-layer, its continuity and homogeneity are the decisive factors.

On the basis of tests results the following conclusions can be formulated:

1. Sandblasting carried out after grinding provides very good surface preparation, which affects the thickness of the zinc coating.
2. Normalization after flame-cutting in comparison to mechanical methods (grinding, sandblasting and galvanizing) does not guarantee obtaining zinc coatings with the highest thickness.
3. The zinc coating structure on the surface after normalization differs from the zinc coating structure on the mechanically prepared surface (shot blasting, sandblasting) which may affect its corrosion resistance.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Kania Henryk, Liberski Piotr. 2009. „Wpływ dodatków stopowych w kąpielach cynkowej na jakość otrzymanych powłok”. *Inżynieria materiałowa* 30 (3) : 182-188.
- [2] Kuklik Vlastimil. 2011. „Povlaky žárového zinku na pálených plochach,” in 17 konference zaroveho zinkovani, Ostrava, Czech Republic: 26-38.
- [3] Liberski Piotr, Kania Henryk, Podolski Paweł, Mendala Jacek, Talarek Adam. 2006. „Rola warstwy zewnętrznej powłoki cynkowej w ochronie stopów żelaza przed korozją”. *Ochrona przed Korozją* 49 (4): 132-136.
- [4] PN-EN ISO – 1461:2011 Powłoki cynkowe nanoszone na wyroby stalowe i żeliwne metodą zanurzeniową – Wymagania i metody badań.
- [5] PN-EN ISO 14713-2:2010 Powłoki cynkowe – Wytyczne i zalecenia dotyczące ochrony przed korozją konstrukcji ze stopów żelaza – Część 2: Cynkowanie zanurzeniowe.
- [6] PN-EN ISO 6507-1:2007 Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań.
- [7] Węgrzynkiewicz Sylwia, Jędrzejczyk Dariusz, Szłapa Ilona, Hajduga Maciej. 2014. „The influence of additional processing after oxy-acetylene cutting on the structure and corrosion resistance of the zinc coating”, Metal 2014: 23rd International Conference on Metallurgy and Materials: conference proceedings, Brno, Česká Republika, 21-23.5.2014, 69.
- [8] Węgrzynkiewicz Sylwia, Jędrzejczyk Dariusz, Sołek Dariusz, Szłapa Ilona, Cedro Leon, Hajduga Maciej. 2013. „Wpływ metody cięcia stali S355JR na strukturę i odporność korozyjną powłoki cynkowej”. *Ochrona przed Korozją* 56 (5) : 196-200.
- [9] Węgrzynkiewicz Sylwia, Jędrzejczyk Dariusz, Szłapa Ilona, Hajduga Maciej. 2014. „Wpływ przygotowania powierzchni elementów stalowych ciętych metodami termicznymi na proces cynkowania ogniowego”. *Ochrona przed Korozją* 57 (4) : 136-141.
- [10] Wołczyński Waldemar, Pogoda Zdzisław, Garzeł Grzegorz, Kucharska Barbara, Sypień Anna, Okane Toshimitsu. „Part I. Thermodynamic and Kinetic Aspects of the Hot Dip (Zn) – Coating Formation”. *Archives of Metallurgy and Materials* (59) : 1223-1233.