

Nowo opracowana metoda pomiaru rozkładu azotu i dodatków stopowych w warstwie azotowanej i węglazotowanej w stopach żelaza

Newly developed method for measuring the decomposition of nitrogen and alloying elements in nitrated and carbonitrided layers of ferrous alloys

Jerzy Żebrowski¹, Beata Czawa¹, Anna Pawlińska¹

¹*Instytut Odlewnictwa, Zespół Laboratoriów Badawczych, Laboratorium Chemii i Materiałów Formierskich, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

¹*Foundry Research Institute, Complex of Accredited Research Laboratories, Laboratory of Chemistry and Moulding Materials, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

E-mail: jerzy.zebrowski@iod.krakow.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę oceny warstwy azotowanej oraz węglazotowanej na powierzchni badanego materiału (stali). W skład wyżej wymienionej metody wchodzi pomiar grubości warstwy, jak i rozkładu występujących w niej pierwiastków, z wykorzystaniem programu QDP (profilowa analiza ilościowa), w który wyposażony jest optyczny spektrometr emisyjny ze wzbudzeniem jarzeniowym GDS 850A firmy LECO Corp. Wyniki przedstawione w artykule pozwalają ocenić opracowaną metodę jako przydatną do badania warstw azotowanych i węglazotowanych.

Słowa kluczowe: optyczna spektrometria atomowa ze wzbudzeniem jarzeniowym, stal azotowana, analiza profilowa warstw

Abstract

This article presents the evaluation method for nitrated and carbonitrided layer on the surface of the examined material (steel). The above mentioned method comprises the measurement of layer thickness, as well as decomposition of elements occurring in it, with the use of QDP program (quantitative profile analysis) with which GDS 850A glow discharge optical emission spectrometer is equipped. Conditions presented in this article enable us to assess the developed method as useful in the examination of nitrated and carbonitrided layers.

Keywords: glow discharge optical atomic emission spectrometry, nitrated steel, layer profile analysis

1. Wprowadzenie

Stosowanie powłok ochronnych pozwala spełnić wysokie wymagania (takie jak: wysoka odporność na korozję, odporność na obciążenia mechaniczne oraz na zużycie przez tarcie) stawiane materiałom w wielu dziedzinach nowoczesnego przemysłu. Jednym z rodzajów stosowanych powłok jest wytwarzanie warstwy azotowanej na powierzchni materiału [1,2].

Spektrometr emisyjny optyczny z wyładowaniem jarzeniowym GDS850A (LECO) posiada odpowiednie kanały analityczne, dodatkowe źródło wzbudzenia dla materiałów przewodzących i nieprzewodzących (generator RF) oraz oprogramowanie QDP (profilowa analiza

1. Introduction

The application of protective coatings allows to meet important requirements (such as high corrosion resistance, resistance to high mechanical loads and high friction wear resistance), against which materials in numerous fields of modern industry. One of the coating types used is the production of nitrated layer on the surface of the material [1,2].

GDS850A (LECO) glow discharge optical emission spectrometer is featured with appropriate analytical channels, additional excitation source for conductive and non-conductive materials (RF generator), as well as QDP program (quantitative profile analysis) controlling the

ilościowa), sterujące pracą spektrometru. Oprogramowanie to umożliwia wykonywanie analiz profilowych warstwy powierzchniowej badanej próbki. Zwykle grubość warstwy azotowanej w stalach ustala się metodą pomiaru mikrotwardości (PN-EN ISO 2639:2005) lub metodami ultradźwiękowymi [3]. Analiza QDP jest tu metodą alternatywną, stosowaną do badania różnego rodzaju warstw powierzchniowych, w tym warstw azotowanych, do grubości około 100 mikrometrów, umożliwiającą otrzymanie większej ilości informacji o badanej warstwie (obok samej grubości warstwy, także jej skład chemiczny w funkcji odległości od powierzchni próbki).

2. Materiały i metodyka badań

Badania przeprowadzono na optycznym spektrometrze emisyjnym ze wzbudzeniem jarzeniowym GDS 850A firmy LECO Corp. Podstawowe dane spektrometru oraz opracowanego programu analitycznego [4]:

- 1) spektrometr próżniowy dyfrakcyjny, typ GDS850A firmy LECO o długości ogniskowej 0,75 m i rozdzielczości 0,017 nm/mm,
- 2) lampa Grimma o średnicy 4 mm,
- 3) wzbudzenie: wyładowanie jarzeniowe, stałonapięciowe: 700 V, około 30 mA,
- 4) czas przedpalenia: 30 s,
- 5) czas analizy: 5 s,
- 6) kanały analityczne: C, Si, Mn, P, S, Cr, Cu, Al, Sn, Ni, Mo, V, N, Fe.

Pierwszy etap opracowania metody badawczej polegał na ustaleniu parametrów pracy spektrometru, takich jak: czas wyładowania, długość wstępnego wzbudzenia oraz napięcie lampy. Wartości te były niezbędne do sporządzenia programu analitycznego typu „bulk”. Po ustaleniu wszystkich parametrów do programu wprowadzono atestowane koncentracje badanych pierwiastków występujących w posiadanych wzorcach kalibracyjnych. Następnie wykonano analizę spektralną materiałów odniesienia. Wzorce analizowano minimum trzykrotnie do uzyskania powtarzalnych wyników.

Kolejny etap polegał na wyznaczeniu przebiegu krzywych kalibracyjnych określających zależność między uzyskanymi średnimi wartościami intensywności a koncentracją pierwiastka we wzorcu. Przykładowe krzywe kalibracyjne podano na [rysunkach 1 i 2](#).

Materiały odniesienia wybrane do opracowania krzywych:

1. BRAMMER: 61A, 62A, 63A, 64A,

spectrometer operation. The program makes it possible to conduct the profile analysis of the surface layer of the investigated sample. Normally the depth of nitrated layer in steel is established with the use of microindentation hardness testing (PN-EN ISO 2639:2005), or ultrasound methods [3]. The QDP analysis is an alternative method employed to examine various types of surface layers, including nitrated, up to a depth of 100 micrometers, which allows for obtaining a greater volume of information on the tested layer (apart from layer depth and its chemical composition as a function of distance from the surface of the sample).

2. Materials and research method

The research was conducted with the use of GDS 850A glow discharge optical emission spectrometer by LECO Corp. Key parameters of the spectrometer and the developed analytical program [4]:

- 1) vacuum diffraction spectrometer, type GDS850A manufactured by LECO, 0.75 m focal length and 0.017 nm/mm resolution,
- 2) 4 mm diameter Grimm lamp,
- 3) excitation: glow discharge, DC: 700 V, approximately 30 mA,
- 4) pre-glow time: 30 s,
- 5) analysis time: 5 s,
- 6) analytical channels: C, Si, Mn, P, S, Cr, Cu, Al, Sn, Ni, Mo, V, N, Fe.

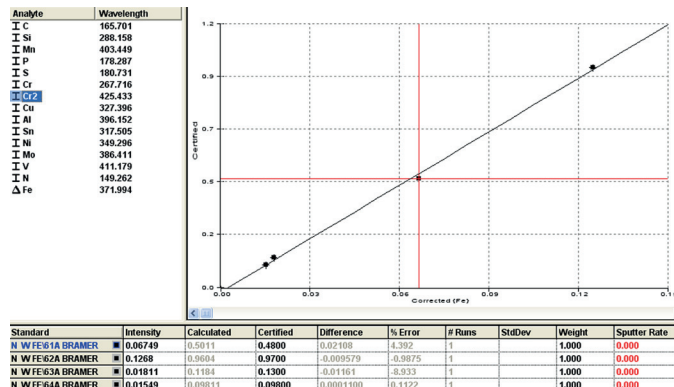
The first stage of research method development was to determine spectrometer operation parameters such as discharge time, duration of pre-excitation and lamp voltage. These values were required to create the bulk type analytical program. After all parameters had been determined, the certified concentrations of investigated elements occurring in the possessed reference models were introduced to the program. Afterwards, spectral analysis of reference materials was performed. The models were analysed at least three times in order to obtain repeatable results.

The next stage was to determine the course of calibration curves defining the relation between the obtained mean intensity values and element concentration in a model. Example calibration curves are provided on [Figures 1 and 2](#).

Reference materials selected for the determination of curves:

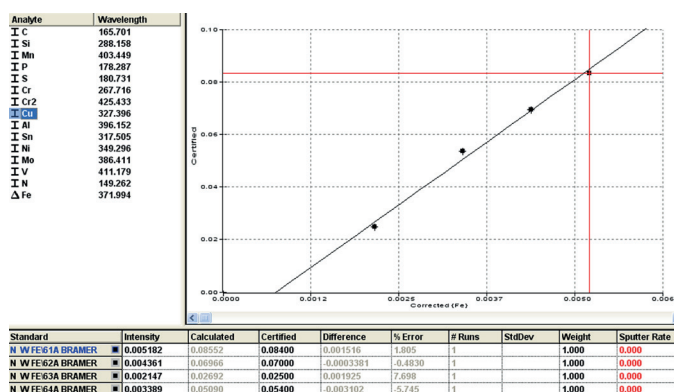
1. BRAMMER: 61A, 62A, 63A, 64A,

- | | | | |
|---------|-------------------------|---------|-------------------------|
| 2. IMZ: | 166A, 173, | 2. IMZ: | 166A, 173, |
| 3. NBS: | 1761, 1762, 1763, 1764, | 3. NBS: | 1761, 1762, 1763, 1764, |
| 4. MW: | 27, 36. | 4. MW: | 27, 36. |



Rys. 1. Wycinek z krzywej kalibracyjnej chromu

Fig. 1. Section of chromium calibration curve



Rys. 2. Wycinek z krzywej kalibracyjnej miedzi

Fig. 2. Section of copper calibration curve

Z opracowanego programu typu „bulk” krzywe kalibracyjne zostały przeniesione do właściwego programu analitycznego QDP. W celu sprawdzenia wskazań programu analitycznego z arkusza blachy ze stali gat. 16HG o grubości 16 mm wycięto próbki o wymiarach 50 mm × 50 mm × 16 mm i składzie chemicznym podanym w tabeli 1, które poddano procesowi azotowania.

The calibration curves were transferred from the developed bulk type program to the prime QDP analytical program. In order to check the readings of the analytical program, 50 mm × 50 mm × 16 mm samples were cut out from 16HG and 16 mm thick steel and chemical composition provided in Table 1, followed by the nitriding process.

Tabela 1. Skład chemiczny próbki przed procesem azotowania, % wag.

Table 1. Chemical composition of the sample before nitriding, wt. %

Materiał badany / Tested material	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Cu	V	Al	N
Stal 16HG / Steel 16HG	0,14	0,33	1,21	0,012	1,04	0,022	0,007	0,004	0,030	0,0031

3. Wyniki badań

Przeprowadzono badanie grubości warstwy azotowanej na przygotowanym wcześniej materiale. Grubość powłoki badana była w siedmiu punktach na powierzchni każdej próbki. Z uzyskanych wyników wyciągnięto wartości średnie, które podano w tabeli 2. W dalszej części artykułu zaprezentowane zostały wyniki badań próbki nr 1.

3. Test results

The test of nitrated layer depth was conducted on previously prepared material. The coating depth was tested at seven points of the sample surface. Mean values were calculated from the obtained test results and provided in Table 2. Further, the article presents sample 1 test results.

Tabela 2. Grubość warstwy azotowanej w badanych próbkach
Table 2. Nitrated layer depth of the tested samples

Material badany / Tested material	Próbka 1 / Sample 1	Próbka 2 / Sample 2	Próbka 3 / Sample 3
Grubość powłoki, μm / Coating depth, μm	175,91	170,46	180,04

Zamieszczone wykresy (rys. 3–5) przedstawiają grubość warstwy azotowanej oraz koncentrację azotu w wybranych miejscach próbki nr 1. W celu zachowania przejrzystości wyników przy sporządzeniu wykresów (rys. 3–9) zastosowano skalę logarytmiczną. Badania przeprowadzono na powierzchni o wymiarach 50 mm \times 50 mm. Wartości grubości uzyskane w różnych obszarach podczas analizy badanego materiału przedstawiono w tabeli 3.

The charts (Figs. 3–5) present nitrated layer depth and nitrogen concentration at selected points of sample 1. In order to maintain the clarity of tests during the preparation of charts (Figs. 3–9), the logarithmic scale was applied. The tests were conducted on 50 mm \times 50 mm samples. Depth values achieved in different areas during the analysis of the tested material are presented in Table 3.

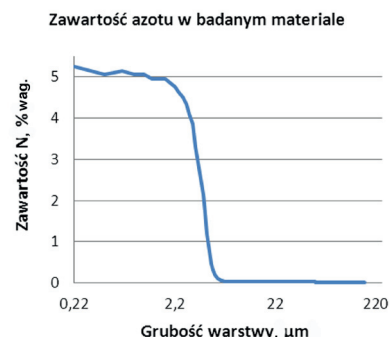
Tabela 3. Próbkę nr 1 – grubość warstwy azotowanej
Table 3. Sample no. 1 – nitrated layer depth

Próbka nr 1 / Sample no. 1	Obszar 1 / Area 1	Obszar 2 / Area 2	Obszar 3 / Area 3	Obszar 4 / Area 4	Obszar 5 / Area 5	Obszar 6 / Area 6	Obszar 7 / Area 7
Grubość powłoki, μm / Layer depth, μm	173,14	176,22	178,64	174,68	173,58	177,10	177,98



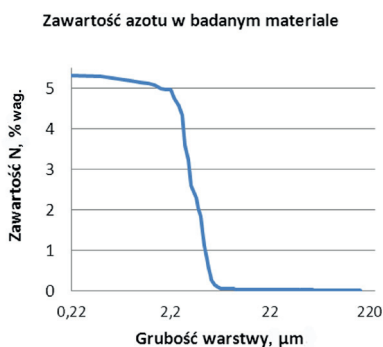
Rys. 3. Próbkę nr 1 obszar 1 – zawartość azotu w warstwie azotowanej

Fig. 3. Sample no. 1, area 1 – nitrogen content in the nitrated layer

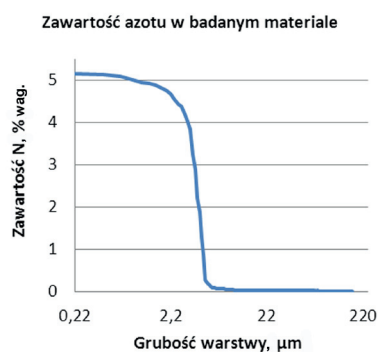


Rys. 4. Próbkę nr 1 obszar 2 – zawartość azotu w warstwie azotowanej

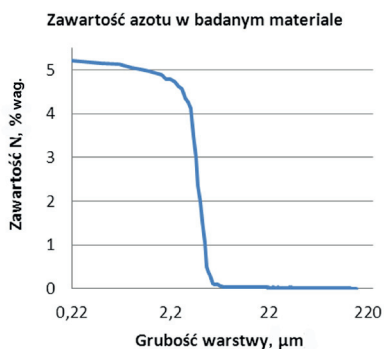
Fig. 4. Sample no. 1, area 2 – nitrogen content in the nitrated layer



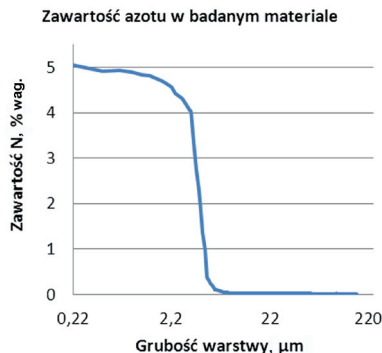
Rys. 5. Próbkę nr 1 obszar 3 – zawartość azotu w warstwie azotowanej
Fig. 5. Sample no. 1, area 3 – nitrogen content in the nitrated layer



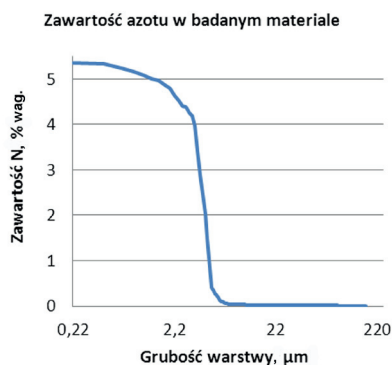
Rys. 6. Próbkę nr 1 obszar 4 – zawartość azotu w warstwie azotowanej
Fig. 6. Sample no. 1, area 4 – nitrogen content in the nitrated layer



Rys. 7. Próbkę nr 1 obszar 5 – zawartość azotu w warstwie azotowanej
Fig. 7. Sample no. 1, area 5 – nitrogen content in the nitrated layer



Rys. 8. Próbkę nr 1 obszar 6 – zawartość azotu w warstwie azotowanej
Fig. 8. Sample no. 1, area 6 – nitrogen content in the nitrated layer



Rys. 9. Próbkę nr 1 obszar 7 – zawartość azotu w warstwie azotowanej
Fig. 9. Sample no. 1, area 7 – nitrogen content in the nitrated layer

Ze względu na niski stopień wnikania azotu do powierzchni badanego materiału, w dalszej części artykułu zaprezentowano wyniki pierwszych 30 mikrometrów warstwy.

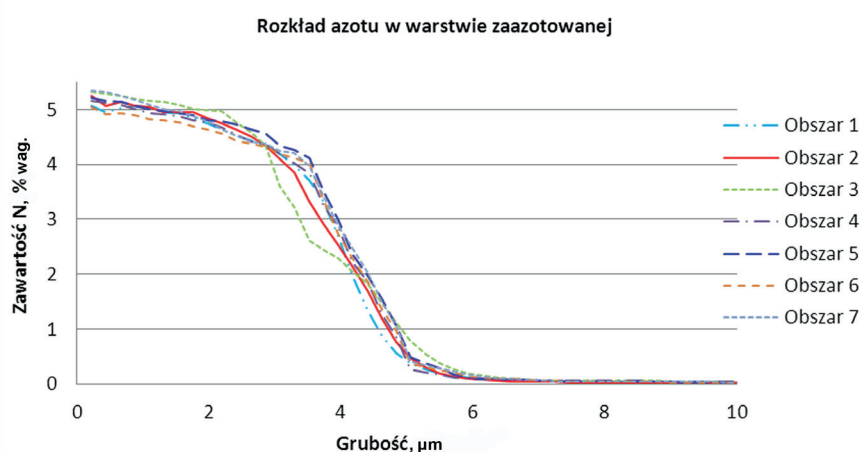
Due to the low rate of nitrogen penetration into the tested material surface, later in this article is presented the results of the first 30 micrometers layer.

Rysunek 10 i tabela 4 przedstawiają rozkład azotu w początkowych 10 µm warstwy azotowanej w próbce nr 1, uzyskany w trzech różnych obszarach.

Na rysunku 11 oraz w tabeli 5 przedstawiono zawartość węgla, manganu, krzemu, fosforu, chromu wraz z azotem i bez azotu (rys. 12) uzyskaną w pierwszym obszarze próbki nr 1 w początkowych 30 µm warstwy.

Figure 10 and Table 4 present the distribution of nitrogen in initial 10 µm of the nitrated layer of sample 1 obtained in three different areas.

Figure 11 and Table 5 present the content of carbon, manganese, silicon, phosphorus, chromium with and without nitrogen (Fig. 12) obtained in the first area of sample 1 in the first 30 µm of the layer.

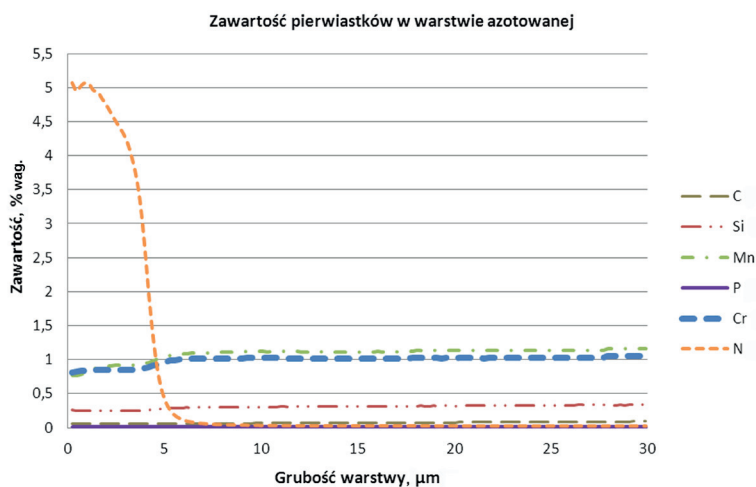


Rys. 10. Próbkę nr 1 – zmiana koncentracji azotu w warstwie azotowanej
Fig. 10. Sample no. 1 – nitrogen concentration change in the nitrated layer

Tabela 4. Próbkę nr 1 – zmiana koncentracji azotu w warstwie azotowanej, % wag.
Table 4. Sample no. 1 – nitrogen concentration change in the nitrated layer, wt. %

Głębokość/ Depth, µm	Obszar 1 / Area 1	Obszar 2 / Area 2	Obszar 3 / Area 3	Obszar 4 / Area 4	Obszar 5 / Area 5	Obszar 6 / Area 6	Obszar 7 / Area 7
	N	N	N	N	N	N	N
0,22	5,07	5,25	5,32	5,15	5,21	5,05	5,35
0,44	4,95	5,07	5,29	5,12	5,16	4,92	5,33
0,66	5,02	5,14	5,24	5,08	5,14	4,93	5,24
0,88	5,07	5,07	5,19	5,01	5,06	4,89	5,17
1,1	5,05	5,05	5,15	4,94	5,01	4,83	5,09
1,32	4,96	4,96	5,13	4,91	4,97	4,81	5,01
1,54	4,94	4,95	5,08	4,87	4,94	4,76	4,97
1,76	4,84	4,95	5,00	4,81	4,89	4,7	4,88
1,98	4,75	4,84	4,98	4,76	4,8	4,64	4,79
2,2	4,64	4,75	4,97	4,67	4,79	4,57	4,63
2,42	4,53	4,64	4,76	4,54	4,73	4,44	4,53
2,64	4,43	4,51	4,58	4,42	4,63	4,37	4,41
2,86	4,33	4,33	4,34	4,38	4,56	4,31	4,38
3,08	4,19	4,09	3,60	4,18	4,34	4,19	4,25
3,3	3,98	3,86	3,23	4,02	4,27	4,11	4,2
3,52	3,71	3,31	2,6	3,83	4,12	4,03	3,97
3,74	3,31	2,91	2,44	3,24	3,5	3,34	3,41
3,96	2,7	2,54	2,30	2,87	2,99	2,74	2,89
4,18	1,98	2,15	2,06	2,22	2,36	2,29	2,47

Głębokość/ Depth, μm	Obszar 1 / Area 1	Obszar 2 / Area 2	Obszar 3 / Area 3	Obszar 4 / Area 4	Obszar 5 / Area 5	Obszar 6 / Area 6	Obszar 7 / Area 7
	N	N	N	N	N	N	N
4,4	1,35	1,70	1,83	1,87	1,97	1,86	2,04
4,62	0,877	1,19	1,47	1,27	1,54	1,37	1,49
4,84	0,568	0,764	1,12	0,87	1,06	0,97	1,07
5,06	0,378	0,47	0,794	0,275	0,494	0,373	0,417
5,28	0,262	0,305	0,553	0,211	0,371	0,31	0,345
5,5	0,190	0,194	0,380	0,177	0,292	0,245	0,279
5,72	0,146	0,130	0,266	0,124	0,178	0,204	0,226
5,94	0,117	0,0926	0,194	0,097	0,124	0,145	0,179
6,16	0,0966	0,0707	0,147	0,084	0,097	0,112	0,134
6,38	0,0837	0,0566	0,113	0,081	0,092	0,0957	0,105
6,6	0,0737	0,0481	0,0897	0,078	0,0875	0,0947	0,0945
6,82	0,0640	0,0420	0,0741	0,075	0,0745	0,0823	0,0843
7,04	0,0599	0,0373	0,0627	0,0698	0,0612	0,0705	0,0645
7,26	0,0541	0,0343	0,0601	0,0672	0,0542	0,0591	0,0499
7,48	0,0502	0,0319	0,0587	0,0645	0,0421	0,0510	0,0454
7,7	0,0474	0,0318	0,0571	0,0621	0,0387	0,0467	0,0421
7,92	0,0454	0,0311	0,0556	0,0595	0,0374	0,0397	0,0376
8,14	0,0435	0,0308	0,0550	0,057	0,0364	0,0375	0,0357
8,36	0,0405	0,0301	0,0549	0,0554	0,0352	0,0367	0,0342
8,58	0,0396	0,0296	0,0539	0,0524	0,0341	0,0359	0,0341
8,8	0,0380	0,0294	0,0521	0,0493	0,0340	0,0342	0,0340
9,02	0,0369	0,0298	0,0500	0,0467	0,0337	0,0332	0,0338
9,24	0,0355	0,0291	0,0490	0,0449	0,0335	0,0314	0,0337
9,46	0,0342	0,0288	0,0462	0,0412	0,0332	0,0307	0,0337
9,68	0,0333	0,0284	0,0414	0,0397	0,0330	0,0302	0,0336
9,9	0,0321	0,0283	0,0405	0,0376	0,0327	0,0300	0,0334
10,12	0,0318	0,0282	0,0394	0,0357	0,0323	0,0298	0,0334

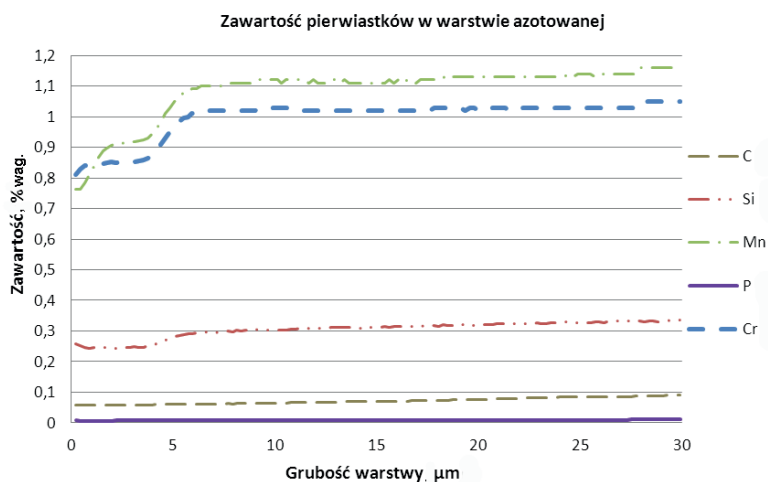


Rys. 11. Próbkę nr 1 obszar 1 – zawartość węgla, manganu, krzemu, fosforu, chromu oraz azotu w badanej warstwie
 Fig. 11. Sample no. 1 area 1 – content of carbon, manganese, silicon, phosphorus, chromium, as well as nitrogen in the tested layer

Tabela 5. Próbkę nr 1 obszar 1 – zawartość wybranych pierwiastków, % wag.
Table 5. Sample no. 1 area 1 – content of selected elements, wt. %

Głębokość/ Depth, μm	C	Si	Mn	P	Cr	N
0,22	0,0595	0,259	0,762	0,00738	0,811	5,07
0,44	0,0588	0,251	0,762	0,00716	0,829	4,95
0,66	0,0582	0,247	0,783	0,00712	0,839	5,02
0,88	0,0577	0,244	0,81	0,00718	0,841	5,07
1,10	0,0580	0,245	0,838	0,00705	0,842	5,05
1,32	0,0575	0,244	0,866	0,00715	0,845	4,96
1,54	0,0576	0,246	0,887	0,00715	0,847	4,94
1,76	0,0575	0,246	0,898	0,00731	0,849	4,84
1,98	0,0572	0,245	0,906	0,00731	0,851	4,75
2,20	0,0583	0,243	0,911	0,00734	0,849	4,64
2,42	0,0582	0,244	0,913	0,00733	0,852	4,53
2,64	0,0585	0,247	0,915	0,00739	0,852	4,43
2,86	0,0584	0,246	0,917	0,00757	0,850	4,33
3,08	0,0586	0,248	0,918	0,00749	0,852	4,19
3,30	0,0588	0,247	0,921	0,00764	0,854	3,98
3,52	0,0588	0,247	0,923	0,00762	0,858	3,71
3,74	0,0593	0,251	0,931	0,00788	0,863	3,31
3,96	0,0595	0,251	0,943	0,00796	0,872	2,70
4,18	0,0596	0,257	0,960	0,00819	0,888	1,98
4,40	0,0597	0,265	0,981	0,00853	0,910	1,35
4,62	0,0601	0,27	1,01	0,00869	0,931	0,877
4,84	0,0605	0,276	1,03	0,00894	0,952	0,568
5,06	0,0606	0,281	1,05	0,00887	0,970	0,378
5,28	0,0609	0,284	1,06	0,00907	0,984	0,262
5,50	0,0609	0,289	1,08	0,00913	0,995	0,190
5,72	0,0608	0,291	1,08	0,00915	1,00	0,146
5,94	0,0611	0,291	1,09	0,00920	1,01	0,117
6,16	0,061	0,295	1,09	0,00914	1,01	0,0966
6,38	0,0617	0,293	1,10	0,00923	1,02	0,0837
6,60	0,0615	0,296	1,10	0,00915	1,02	0,0737
6,82	0,0617	0,295	1,10	0,00928	1,02	0,0640
7,04	0,0616	0,295	1,10	0,00919	1,02	0,0599
7,26	0,0622	0,297	1,10	0,00912	1,02	0,0541
7,48	0,0619	0,300	1,10	0,00928	1,02	0,0502
7,70	0,0627	0,299	1,11	0,00921	1,02	0,0474
7,92	0,0623	0,298	1,11	0,00929	1,02	0,0454
8,14	0,0631	0,302	1,11	0,00938	1,02	0,0435
8,36	0,0630	0,299	1,11	0,00927	1,02	0,0405
8,58	0,0634	0,302	1,11	0,00926	1,02	0,0396
8,80	0,0637	0,301	1,11	0,00929	1,02	0,0380
9,02	0,0632	0,305	1,11	0,00938	1,02	0,0369
9,24	0,0637	0,303	1,12	0,00950	1,03	0,0355

Głębokość/ Depth, μm	C	Si	Mn	P	Cr	N
9,46	0,0636	0,302	1,12	0,00929	1,03	0,0342
9,68	0,0645	0,304	1,12	0,00949	1,03	0,0333
9,90	0,0646	0,302	1,12	0,00935	1,03	0,0321
11,00	0,0657	0,307	1,12	0,00935	1,03	0,0296
12,10	0,0677	0,310	1,11	0,00946	1,02	0,0284
13,20	0,0687	0,311	1,11	0,00933	1,02	0,0270
14,08	0,0692	0,309	1,11	0,00944	1,02	0,0266
15,18	0,0699	0,311	1,11	0,00956	1,02	0,0270
16,06	0,0710	0,315	1,12	0,00954	1,02	0,0263
17,16	0,0726	0,316	1,12	0,00965	1,02	0,0264
18,04	0,0735	0,316	1,13	0,00967	1,03	0,0268
19,14	0,0752	0,318	1,13	0,00976	1,03	0,0253
20,02	0,0767	0,319	1,13	0,00975	1,02	0,0258
21,12	0,078	0,323	1,13	0,00991	1,03	0,0248
22,00	0,0804	0,323	1,13	0,00978	1,03	0,0247
23,10	0,0815	0,325	1,13	0,00995	1,03	0,0249
24,20	0,0836	0,331	1,13	0,00997	1,03	0,0246
25,08	0,0842	0,328	1,14	0,01020	1,03	0,0246
26,18	0,0851	0,328	1,14	0,01020	1,03	0,0243
27,06	0,0858	0,333	1,14	0,01030	1,03	0,0246
28,16	0,0877	0,33	1,16	0,01050	1,05	0,0250
29,04	0,0889	0,334	1,16	0,01060	1,05	0,0242
29,92	0,0911	0,337	1,16	0,0107	1,05	0,0246



Rys. 12. Próbkę nr 1 obszar 1 – zawartość węgla, manganu, krzemu, fosforu, chromu w badanej warstwie
 Fig. 12. Sample no. 1 area 1 – content of carbon, manganese, silicon, phosphorus, chromium in the tested layer

4. Wnioski

Wyniki badań stali zaazotowanej otrzymane metodą profilowej analizy ilościowej QDP na spektrometrze optycznym GDS850A (LECO) pozwalają ocenić tę metodę jako przydatną do badania tych warstw. Opracowany program analityczny w porównaniu do aktualnie stosowanych metod pozwala na uzyskanie większej ilości informacji o badanej warstwie. Analiza profilowa poza pomiarem grubości posiada możliwość wyznaczenia koncentracji azotu i pozostałych pierwiastków w powłoce. Analiza QDP może być zakwalifikowana jako metoda porównawcza do aktualnie stosowanych metod pomiaru warstwy azotowanej. Stosować ją można dla warstw nieprzekraczających 200 mikrometrów.

Podziękowania

W artykule przedstawiono wyniki badań prowadzonych w ramach projektu statutowego pt. „Pomiar azotu i dodatków stopowych w warstwie azotowanej i węgloazotowanej w stopach żelaza techniką QDP (analiza profilowa) na spektrometrze optycznym emisyjnym ze wzbudzeniem jarzeniowym GDS850A firmy LECO Corp.” (zlec. 3015/00) finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura/References

1. Dobrzański L.A. (2012). *Podstawy nauki o materiałach*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
2. Szewieczek D. (1998). *Obróbka cieplna materiałów metalowych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
3. PN-EN ISO 2639:2005 – Stale. Określanie i sprawdzanie grubości warstw nawęglonych i zahartowanych.
4. *GDS850A Instruction Manual*. (February 2003), LECO Corporation.

4. Conclusions

Test results of the nitrated steel obtained with the use of GDP quantitative profile analysis with the GDS850A (LECO) optical spectrometer enable us to assess the method as useful for testing layers. The developed analytical program, compared to currently employed methods, allows for obtaining greater volumes of information on the investigated layer. Apart from depth testing, the profile analysis can also determine the concentration of nitrogen and other elements in a layer. The QDP analysis can be qualified as a comparative method for currently used nitrated layer testing methods. It can be used for layers up to 200 micrometers.

Acknowledgements

The article presented test results conducted within the statute program: “Measuring of nitrogen and alloying elements in nitrated and carbonitrided layers of ferrous alloys with the use of QDP (profile analysis) technique with the GDS850A (LECO) glow discharge optical emission spectrometer by LECO Corp.” (no. 3015/00) financed by the Ministry of Science and Higher Education.