

# Analiza przyczyn pęknięć w złączu rura płuczkowa-zwornik w wiertnictwie

Analysis of the causes of cracks in the drill  
pipe-nipple joint region

## Streszczenie

W pracy omówiono przyczyny występowania pęknięć złączy rura-zwornik podczas eksploatacji rur płuczkowych. Na podstawie badań stwierdzono niewłaściwy sposób wykonania złącza – elektrody zostały źle dobrane i sprzyjały powstawaniu pęknięć. Ujawniono również wykorzystanie do produkcji rur płuczkowych niewłaściwego gatunku stali. Dla porównania przedstawiono zmiany właściwości i mikrostruktury złącza rura-zwornik wykonanego metodą zgrzewania tarcowego.

## Abstract

The paper presents analysis of the causes of cracks in the pipe-nipple joint region of the drill pipes occurred during service. The results of performed examinations showed the wrong way of making the pipe-nipple joint by welding instead of friction welding. In addition, electrodes used for welding were incorrect and favored crack nucleation and propagation in the heat affected zone of nipple joint. Also discloses the use of the drill pipe of the wrong steel grade. The changes in hardness and microstructure of the pipe-nipple joint properly made by friction welding were shown for comparison.

## Wstęp

Rury płuczkowe, łączone za pomocą zworników, są jednym z zasadniczych elementów przewodu wierniczego i najczęściej wykonywane z wysokojakościowych gatunków stali. Trudne warunki pracy powodują jednak występowanie przypadków uszkodzeń rur płuczkowych, głównie na skutek pęknięć lub nieszczelności [1]. Praca tych elementów w warunkach cyklicznie zmiennych naprężeń rozciągających, cyklicznego skręcania i zginania powoduje częste występowanie pęknięć zmęczeniowych [2-5]. Agresywne korozyjne środowisko pracy sprzyja również uszkodzeniom rur

na skutek korozji naprężeniowej i zmęczeniowej [6]. Także stosowane często, w celu podwyższenia odporności na ścieranie, napawanie utwardzające sprzyja powstawaniu pęknięć w strefie wpływu ciepła, zwłaszcza w obszarze złączy rur [7]. Celem pracy było określenie powodów uszkodzeń rur, które nastąpiły po stosunkowo krótkim okresie eksploatacji.

## Metodyka i wyniki badań

Badaniami objęto uszkodzone rury płuczkowe. Rury płuczkowe oraz elementy łączące (zworniki) powinny być wykonane ze stali stopowej konstrukcyjnej do ulepszenia cieplnego 42CrMo4 i wykonane techniką zgrzewania tarcowego. Ze względu na wysoką wartość równoważnika węgla CEV, wynoszącą dla tej stali ok. 0,8%, stal 42CrMoCr4 uważana jest

Dr inż. Bogdan Pawłowski, dr inż. Janusz Krawczyk, dr inż. Piotr Bała, mgr inż. Sławomir Parzych – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

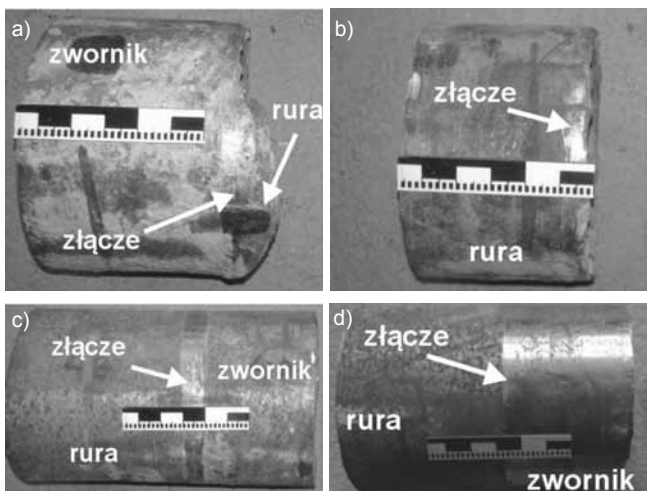
za trudnospawalną. Widok pękniętych rur płuczkowych przedstawiono na rysunku 1. Z uszkodzonych rur odcięto do badań ich fragmenty w pobliżu pęknięć i z nieuszkodzonych obszarów rura-zwornik. Pobrane próbki przedstawiono na rysunku 2.

Po wycięciu fragmentów uszkodzonych rur płuczkowych potwierdziło się, że złącza pękniętych fragmentów rur były spawane (przykładową makrofotografię, z widocznymi niezgodnościami spawalniczymi w postaci braku przetopu od strony grani, przedstawiono na rysunku 3a). Prawidłowo wykonane połączenie zwornik-rura (wykonane przez zgrzewanie tarciove), widoczne na fragmencie odciętym z nieuszkodzonej rury płuczkowej, pokazano na rysunku 3b.

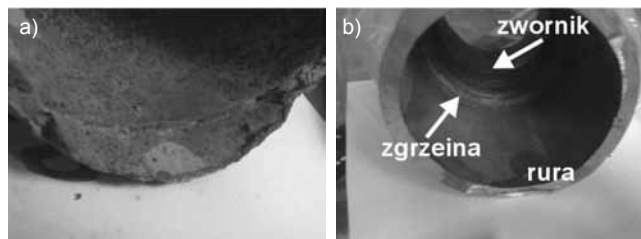
Mimo że już na tym etapie badań ujawniono, że rury płuczkowe były wykonane niezgodnie z zasadami (łączenie zwornika z rurą jest możliwe tylko metodą zgrzewania tarciovego z uwagi na wysoką wartość równoważnika CEV dla stali 42CrMo4), postanowiono wykonać badania składu chemicznego pobranych fragmentów oraz analizę metalograficzną pobranych próbek.



**Rys. 1.** Uszkodzone rury płuczkowe  
**Fig. 1.** Damaged drill pipes



**Rys. 2.** Pobrane do badań fragmenty reklamowanych rur: a) nr 1, b) nr 2, c) nr 3, d) nr 4  
**Fig. 2.** Selected for test samples of pipes: a) no. 1, b) no. 2, c) no. 3, d) no. 4



**Rys. 3.** Makrofotografie fragmentów rur wykonane od strony grani (wnętrze rury w miejscu złącza): a) od głębi zdjęcia: zwornik, złącze spawane, fragment pękniętej rury, b) od głębi zdjęcia: zwornik, złącze zgrzewane tarciove (widoczna wypływka materiału), rura  
**Fig. 3.** Macro photographs of pipes parts made from the root of weld (weld inside of the tube: a) from background: nipple, welded joint, a part of a broken pipe, b) from background: nipple, friction welded joint (visible burr of material), the tube

Próbki do badań składu chemicznego wycięto z trzech fragmentów złączy spawanych oraz z fragmentu zgrzewanego tarciove. Analizę składu chemicznego wykonano przy użyciu spektrometru iskrowego Foundry-Master WAS, przeprowadzając dla każdej z próbek po trzy napalenia. Wartości średnie analiz składu chemicznego przedstawiono w tabelicy I.

W przypadku złącza zgrzewanego tarciove analizę składu chemicznego wykonano dla materiału zwornika oraz rury (próbka nr 1). Dla próbek spawanych badania wykonano na trzech próbkach: próbce nr 2 – pęknięty fragment złącza, analizowano skład chemiczny zwornika oraz spoiny, próbce nr 3 – pęknięty fragment złącza, analizowano skład chemiczny rury oraz spoiny, próbce nr 4 – nieuszkodzony fragment złącza, analizowano skład chemiczny zwornika, rury oraz spoiny.

Z zamieszczonych w tabelicy I danych wynika, że wszystkie zworniki (w złączach zgrzewanych tarciove i spawanych) wykonane były z właściwego materiału – stali 42CrMo4. W przypadku próbki nr 1 górna granica zawartości węgla w stali 42CrMo4 wynosząca 0,45% została przekroczona o 0,03%, co jest dopuszczalne przez normę EN 10083. Również materiał rury dla próbki nr 1 jest materiałem właściwym – stal stopowa konstrukcyjna do ulepszania cieplnego 42CrMo4.

Analiza składu chemicznego materiału rury w złączach spawanych wykazała, że wykonano je ze stali niestopowej konstrukcyjnej S235JR zamiast ze stali 42CrMo4. Również skład chemiczny spoiny wskazuje, że spoino zostało dobrane w sposób niewłaściwy. Prawdopodobnie wykorzystano spoino do spawania stali austenitycznych AISI 304L, np. OK61.30 (ESAB). Wydaje się, że lepsze byłoby użycie spoina stosowanego do spawania stali AISI 309, 309Mo, np. OK67.62, OK67.70 (ESAB) (rys. 4, 5).

Na rysunku 6 przedstawiono mikrostruktury próbki 1 z obszaru materiału rodzimego rury i zwornika oraz z obszaru linii mieszania. Mikrostruktury złącza spawanego (próbka 4) pokazano na rysunkach 7÷9.

Analizując mikrostruktury przedstawione na rysunku 7, można stwierdzić, że materiał rodzimy rury wykonanej ze stali S235JR wykazuje, charakterystyczną dla wyrobów długich, pasmowość ferrytyczno-perlityczną spowodowaną procesami segregacyjnymi zachodzącymi w czasie krystalizacji, które uwidaczniają się na skutek dalszych procesów przeróbki plastycznej. Mikrostruktura zwornika – wykonanego ze stali 42CrMo4 – składa się z odpuszczonego martenzytu.

W połączeniach spawanych, oprócz mikrostruktury charakterystycznej dla obu rodzajów materiału rodzimego (rura i zwornik), można wyróżnić również obszary strefy wpływu ciepła (SWC) (rys. 8) oraz obszary w pobliżu linii wtopienia (rys. 9).

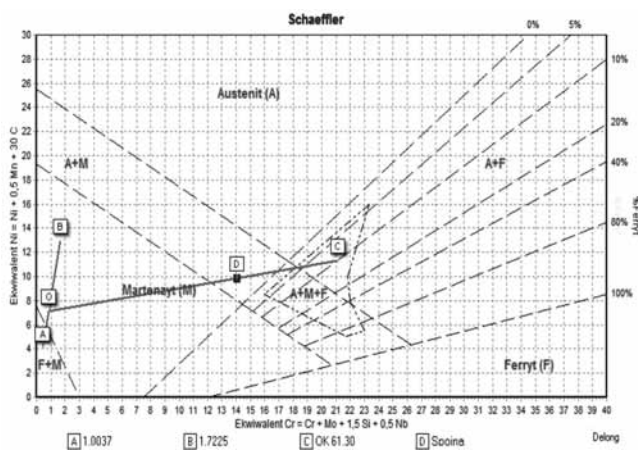
O ile przedstawiona na rysunku 8a mikrostruktura SWC rury jest typową mikrostrukturą dla spawalnej stali niestopowej, jaką jest stal S235JR, to mikrostruktura SWC materiału zwornika (stal 42CrMo4) różni się w sposób znaczący od mikrostruktury martenzytu odpuszczonego, jaką powinna mieć ta stal w elementach łączących rury płuczkowe, czyli w zwornikach. Można przypuszczać, że na skutek procesu spawania w pobliżu linii wtopienia oraz w strefie wpływu ciepła w tej stali mogły powstać obszary zahartowane na martenzyt, co doprowadziło do ich znacznej kruchości. Mikrostrukturę spoiny od strony lica oraz od strony grani pokazano na rysunku 10.

W obszarach złączy wykonano również pomiary twardości HV10, których wyniki pokazano na

**Tablica I.** Wyniki analizy składu chemicznego badanych próbek (% mas.)

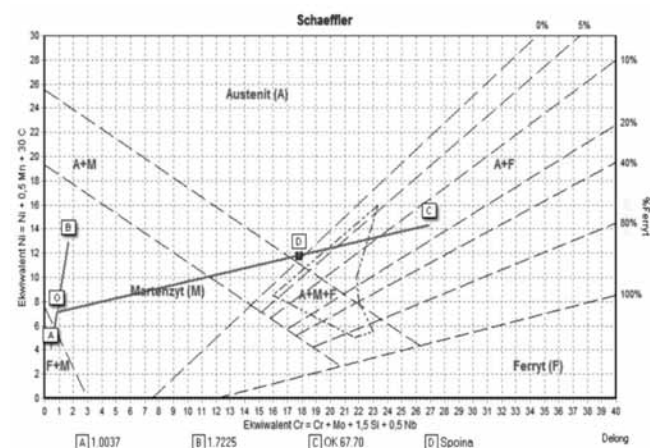
**Table I.** The results of the chemical composition analysis of samples (% wt.)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al <sub>c</sub>	V
Próbka nr 1, zwornik	0,48	0,26	0,72	0,008	0,030	0,98	0,19	0,03	0,03	0,01
Próbka nr 1, rura	0,30	0,32	0,60	0,007	0,004	0,92	0,20	0,01	0,02	0,01
Próbka nr 2, zwornik	0,42	0,32	0,70	0,011	0,005	1,10	0,20	0,10	0,03	0,02
Próbka nr 2, spoina	0,15	0,61	1,61	0,014	0,006	16,3	0,11	8,67	0,01	0,06
Próbka nr 3, rura	0,24	0,22	0,99	0,020	0,008	0,17	0,02	0,06	0,02	0,03
Próbka nr 3, spoina	0,27	0,57	1,44	0,016	0,011	14,5	0,14	7,44	0,01	0,07
Próbka nr 4, zwornik	0,43	0,31	0,61	0,020	0,027	0,97	0,17	0,16	0,03	<0,02
Próbka nr 4, spoina	0,19	0,51	1,28	0,023	0,007	14,6	0,13	8,04	0,01	0,06
Próbka nr 4, rura	0,26	0,23	1,00	0,022	0,011	0,17	0,02	0,05	0,03	0,06



**Rys. 4.** Wykres Schaefflera dla badanych złączy spawanych: materiał A – 1.0037 (S235JR), materiał B – 1.7225 (42CrMo4), spoiwo – OK61.30 (ESAB), gatunek 304L (0,1% C; 0,8% Mn; 0,8% Si; 19,5% Cr; 10,5% Ni)

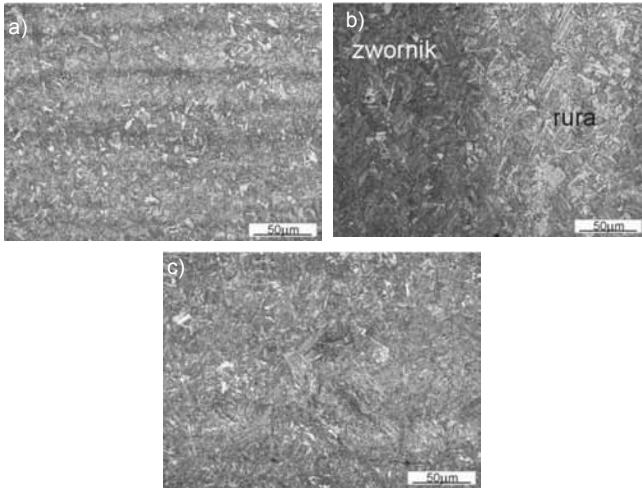
**Fig. 4.** Schaeffler diagram for the investigated welded joints: material A: 1.0037 (S235JR), material B: 1.7225 (42CrMo4), filler metal OK61.30 (ESAB): grade 304L (0.1% C, 0.8% Mn, 0.8% Si, 19.5% Cr, 10.5% Ni)



**Rys. 5.** Wykres Schaefflera wskazujący możliwość lepszego doboru spoiwa: materiał A – 1.0037 (S235JR), materiał B – 1.7225 (42CrMo4), spoiwo – OK67.70 (ESAB), gatunek 309Mo (< 0,03% C; 0,8% Mn; 0,8% Si; 23% Cr; 13% Ni; 2,7% Mo)

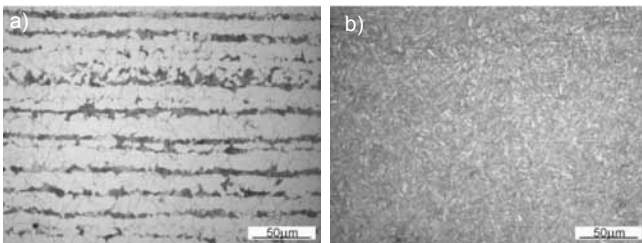
**Fig. 5.** Schaeffler diagram indicating the possibility of a more proper selection of filler metal: material A: 1.0037 (S235JR), material B: 1.7225 (42CrMo4), filler metal: OK67.70 (ESAB), grade 309Mo (< 0.03% C, 0.8% Mn; 0.8% Si, 23% Cr, 13% Ni, 2.7% Mo)





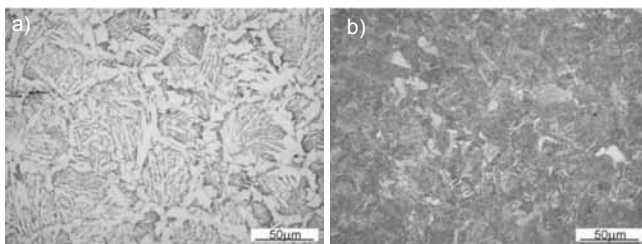
**Rys. 6.** Mikrostruktura złącza rura-zwornik zgrzewanego tarciovo (próbka 1): a) materiał rodzimy rury, b) obszar złącza, c) materiał rodzimy zwornika

**Fig. 6.** Microstructure of pipe-nipple friction welded joint (sample No. 1): a) base metal of tube, b) joint, c) base metal of nipple



**Rys. 7.** Mikrostruktura złącza spawanego (próbka 4): a) rura, b) zwornik

**Fig. 7.** Microstructure of welded joint (sample No. 4): a) pipe, b) nipple

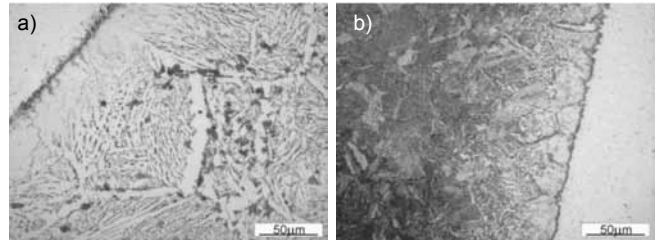


**Rys. 8.** Mikrostruktura SWC złącza spawanego (próbka 4) wykonanego niewłaściwie: a) rura, b) zwornik

**Fig. 8.** HAZ microstructure of sample No. 4 of joint – made improperly: a) HAZ in tube, b) SWC in nipple

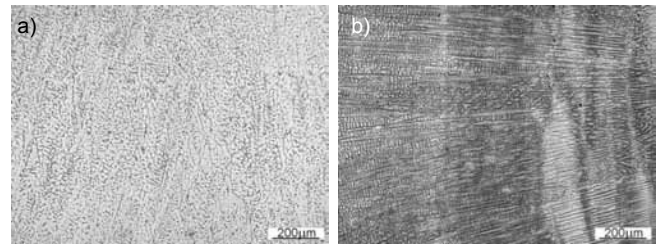
rysunkach 11 i 12. Zmiany twardości w obszarze przejścia od strefy wpływu ciepła (SWC) złącza zgrzewanego tarciovo nie są zmianami gwałtownymi, różnica twardości wynosi tylko 35 HV10.

Natomiast w złączu spawanym w porównaniu ze złączem zgrzewanym stwierdzono ponad dwukrotnie większą różnicę (77 HV10) twardości w obszarze przejścia od SWC do materiału rodzimego, co przy uwzględnieniu różnic w mikrostrukturach badanych



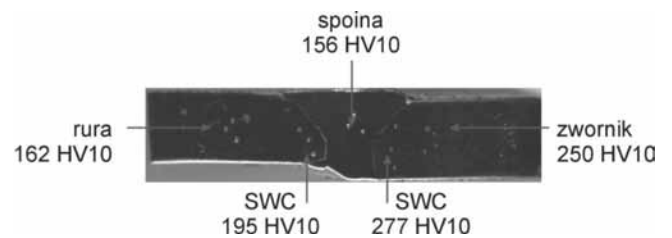
**Rys. 9.** Mikrostruktura z obszaru w pobliżu linii wtopienia złącza spawanego (próbka 4): a) rura, b) zwornik

**Fig. 9.** Microstructure of the area near the fusion line (sample No. 4): a) pipe, b) nipple



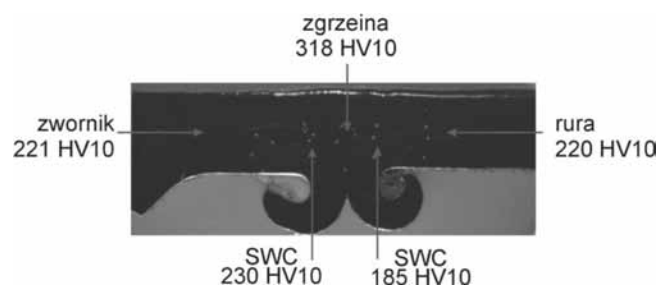
**Rys. 10.** Mikrostruktura spoiny: a) od strony lica, b) od strony grani

**Fig. 10.** Microstructure of a weld: a) from the face of weld, b) from the root of weld



**Rys. 11.** Rozkład twardości w złączu spawanym

**Fig. 11.** The hardness distribution in the welded joint



**Rys. 12.** Rozkład twardości w złączu zgrzewanym tarciovo

**Fig. 12.** The hardness distribution in the friction welded joints

obszarów może świadczyć o istnieniu w tej strefie karbu strukturalnego, który może ułatwiać powstawanie pęknięć eksploatacyjnych.

Observacje tę potwierdza fakt, że we wszystkich uszkodzonych rurach płuczkowych pęknięcia występowały tylko w obszarze złącza spawanego, a droga pęknięcia przebiegała przez SWC złącza od strony materiału zwornika.

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań uszkodzonych (pękniętych w obszarze złącza rura-zwornik) oraz nieuszkodzonych rur płuczkowych, obejmujących obserwacje makroskopowe, analizy składu chemicznego, badania metalograficzne na zgładach wytrawionych oraz pomiary twardości, można sformułować następujące wnioski:

- uszkodzone złącza rura-zwornik wykonano niewłaściwą technologią łączenia.
- pęknięcia obwodowe rur płuczkowych wystąpiły tylko w spoinach.
- spawane rury wykonano ze stali S235JR (nie-stopowej stali konstrukcyjnej) zamiast ze stali 42CrMo4 (stali stopowej konstrukcyjnej do ulepszenia cieplnego).
- do spawania stali 42CrMo4 (materiał zwornika) ze stalą S235JR (nieprawidłowy materiał rury) zalecane jest spoiwo OK67.62 (ESAB) lub OK67.70 (ESAB) stosowane do spawania stali AISI 309 lub 309Mo.
- niewłaściwa technologia wykonywania złączy (spawanie), gatunek stali (stal S235JR) oraz spoiwo spowodowały wystąpienie karbu strukturalnego w obszarze strefy wpływu ciepła w pobliżu linii wtopienia spoina-zwornik ze stali 42CrMo4, co doprowadziło do wystąpienia pęknięć w tym obszarze i obwodowego pęknięcia rur.

## Literatura

- [1] Han L., Hu F., Wang H., Feng Y., Li H.: A new method to determine the required impact toughness for petroleum drill pipe used in critical sour environment. *Procedia Engineering*, 16, (2011), 667+672.
- [2] Miscow G.F., de Miranda P.E.V., Netto T.A., Plácido J.C.R.: Techniques to characterize fatigue behaviour of full size drill pipes and small scale samples. *International Journal of Fatigue*, 26, (2004), 575+584.
- [3] Liu Y., Li F., Xu X., Yang B., Lu C.: Simulation technology in failure analysis of drill pipe. *Procedia Engineering*, 12, (2011), 236+241.
- [4] Li F., Liu Y., Wang X., Lu C.: Failure analysis of Ø127 mm IEU G105 drill pipe wash out. *Engineering Failure Analysis*, 18, (2011), 1867+1872.
- [5] Shuan-lu L., Ji B., Kang Y., Zhang H., Qin T., Chi J.: Cause analysis on drill pipe bending and fracture. *Engineering Failure Analysis*, 17, (2010), 1483+1489.
- [6] Lu S., Feng Y., Luo F., Qin C., Wang X.: Failure analysis of IEU drill pipe wash out. *International Journal of Fatigue*, 27, (2005), 1360+1365.
- [7] Murthy G.V.S., Das G., Das S.K., Parveen N., Singh S.R.: Hardbanding failure in a heavy weight drill pipe. *Engineering Failure Analysis*, 18, (2011), 1395+1402.

## Spotkania Spawalników w 2012

### 5 Warmińsko-Mazurska Biesiada Spawalnicza

Piaski k. Ruciane-Nida, 13-14.06.2012, Ośrodek Exploris.  
Zgłoszenia i informacje: Mirosława Reschke, tel.: 58 511 28 01

### I Dolnośląskie Sympozjum Spawalnicze

Wrocław, 20.06.2012, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej.  
Zgłoszenia i informacje: Artur Lange, e-mail: Artur.lange@pwr.wroc.pl

### XI Szczecińskie Seminarium Spawalnicze

Szczecin, 6.09.2012, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zgłoszenia i informacje: Katarzyna Rudzka, tel.: 91 46 24 451

### XVI Pomorskie Spotkanie Spawalników

Gdańsk, 13.09.2012, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.  
Zgłoszenia i informacje: Iwona Janson, tel.: 58 511 28 00

### I Kieleckie Spotkanie Spawalników

Kielce, 20.09.2012, Zakład Doskonalenia Zawodowego w Kielcach.  
Zgłoszenia i informacje: Ewelina Janus, tel.: 41 368 74 80 w. 102

### Organizatorzy

Linde Gaz Polska, Esab, Abicor-Binzel, Lincoln Electric, Technika Spawalnicza w Poznaniu, Urząd Dozoru Technicznego, Supra-Elco, Rywal-RHC, Belse, 3M, GCE, Eckert AS, Figel, Witt, Spaw-Ekspert, Trumf, Messner Eutectic Castolin

*Materiały konferencyjne zawierające m.in. wybrane artykuły ze spotkań zostaną opublikowane w numerze 10/2012 miesięcznika naukowo-technicznego Przegląd Spawalnictwa*