

## KLEJENIE WĘGLIKÓW SPIEKANYCH GLUING OF SINTERED CARBIDES

*W artykule przedstawiono klejenie węglików spiekanych ze stalą w aspekcie wytwarzania narzędzi. Porównano klejenie z procesami lutowania twardego. Zwrócono szczególną uwagę na różnice we właściwościach łączonych materiałów i wynikające z nich problemy łączenia. Wykonano połączenia klejowe przy użyciu kleju anaerobowego LOCTITE 638. Przedstawiono wyniki statycznej próby ścinania połączeń klejowych węglików spiekanych gat. S 20 ze stalą 45 (C45 wg PN EN 10083 – 1) oraz WC – 45, kobalt – 45 i 45 – 45. Wykazano wyraźne różnice we własnościach wytrzymałościowych połączeń klejowych metali i węglików spiekanych, które są zaliczane do materiałów pasywnych przy łączeniu klejami anaerobowymi.*

**Słowa kluczowe:** klejenie, węgliki spiekane, przygotowanie powierzchni, wytrzymałość na ścinanie

*In this article presented is gluing of sintered carbides with steel in aspect of tool fabrication. Gluing and hard soldering processes were compared. Particularly attention was drawn to the differences in properties of joint materials and resulting from this bonding problems. Glue joints were executed with usage of anaerobes glue LOCTITE 638. The results of static shearing test of glue joints of sintered carbides grade S 20 with steel 45 (C45 according to PN EN 10083 – 1) and WC – 45, cobalt – 45 and 45 - 45 are presented. Distinct differences in shear strength properties of glue joints of metals and sintered carbides, which are classified as a materials passive during bonding, are showed.*

**Keywords:** gluing, sintered carbides, surface preparation, shear strength

### 1. Wprowadzenie

Narzędzia z kształtkami z węglików spiekanych często pracują w bardzo trudnych warunkach eksploatacyjnych. Zalicza się do nich specjalne narzędzia do obróbki skrawaniem i obróbki plastycznej, narzędzia górnicze wykorzystywane w kopalniach węgla kamiennego i rud miedzi oraz narzędzia do obróbki drewna i kamienia. Połączenia z węglnikami spiekanyymi powinny być wykonane przy użyciu techniki zapewniającej długą, bezpieczną i efektywną pracę narzędzi. Najbardziej pożądanymi parametrami, na które powinni zwrócić uwagę konstruktorzy i technolodzy to duża odporność połączeń na obciążenia udarowe oraz plastyczność warstwy pośredniej między łączonymi materiałami. Pozwala to na przejście nadmiernych naprężeń powstających w złączu, a przez to zapobiega się odkształceniom stali i pęknięciom węglików spiekanych. Szeroko stosowane metody spajania węglików spiekanych takie jak lutowanie twarde i wysokotemperaturowe, wykazują często niekorzystne oddziaływanie wysokiej temperatury, co prowadzi do uzyskania połączeń o niezadowalającej jakości. Aby tego uniknąć, zwrócono się w kierunku

klejenia wykazującego szereg zalet, niezbędnych przy łączeniu materiałów różnoimiennych.

### 2. Problemy występujące przy łączeniu węglików spiekanych ze stalą

Spajanie węglików spiekanych ze stalą odbywa się przede wszystkim za pomocą lutowania twardego i wysokotemperaturowego, rzadko za pomocą spawania, zgrzewania dyfuzyjnego czy tarcowego [1,2]. Główne trudności łączenia tych materiałów wynikają z ich zróżnicowanych właściwości fizycznych i mechanicznych. Na korpusy narzędzi najczęściej stosowane są stale charakteryzujące się wysoką granicą plastyczności i wytrzymałością na rozciąganie (w granicach 700-1000 MPa). Warunek ten spełniają stale węglowe konstrukcyjne oraz stale stopowe do ulepszenia cieplnego o zawartości węgla od 0,45 do 0,7 % wag [3]. Spośród częściej używanych należy wymienić stale węglowe konstrukcyjne gat. 45 i 55 oraz, w przypadku większych wymagań wytrzymałościowych, stale stopowe do ulepszenia cieplnego gat. 35 HGS, 40 H i 40 HM [1]. Węgliki spiekane charakteryzują się prawie 3-krotnie mniejszym współczynnikiem

rozszerzalności liniowej ( $\alpha = 4,5 \div 7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ) i zwykle 2-krotnie większą przewodnością cieplną właściwą ( $\lambda = 80 \div 100 \text{ W/mK}$ ) w porównaniu ze stalami węglowymi konstrukcyjnymi i stopowymi ( $\alpha = 11 \div 14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ,  $\lambda = 35 \div 55 \text{ W/mK}$ ) [4,5]. Struktura węglików spiekanych, stosowanych w górnictwie, składa się najczęściej z fazy węglikowej WC oraz kobaltu stanowiącego fazę wiążącą. W grupach spieków narzędziowych przeznaczonych do obróbki skrawaniem występują ponadto węgliki tytanu, tantalu i niobu. Podstawowe właściwości wybranych węglików spiekanych gat. S20 o składzie według PN – 88/H – 89500, węglików wolframu WC, kobaltu i stali 45 (C45 według PN EN 10083 – 1) zamieszczono w tabeli 1.

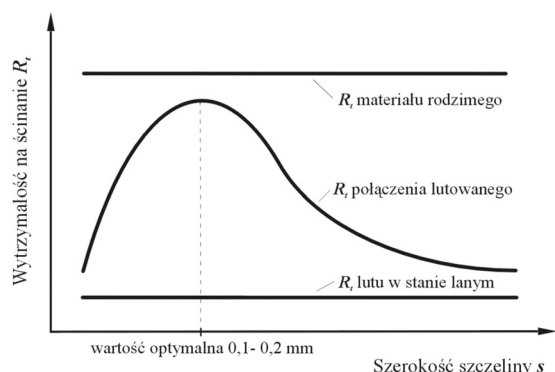
Różnice w rozszerzalności liniowej łączonych materiałów powodują powstawanie podczas chłodzenia połączenia lutowanego niekorzystnych naprężeń rozciągających, które mogą doprowadzić do pęknięć w węglkach spiekanych. Dlatego też lutowina powinna być plastyczna i o takiej szerokości, aby przejąć zarówno naprężenia skurczowe powstające podczas

studzenia, jak i naprężenia eksploatacyjne. Zaleca się, aby szerokość szczeliny przy łączeniu węglików spiekanych ze stalą wynosiła minimum  $0,2 \div 0,3 \text{ mm}$  (dla silnie obciążonych połączeń nawet  $0,5 \div 0,6 \text{ mm}$ ) [1,2]. Należy się także liczyć z tym, że przy stosowaniu szerokich szczelin, następuje utrata właściwości kapilarnych lutu i pojawiają się trudności z ich wypełnieniem [2]. Zwykle optymalna szczelina dla połączeń materiałów jednoimiennych leży w zakresie  $0,1 - 0,2 \text{ mm}$ , dla lutowania pod osłoną topnika, i jest zależna od rodzaju lutu. Ogólną zależność wytrzymałości na ścinanie połączeń w funkcji szerokości szczeliny pokazano na rysunku 1.

### 3. Zalety i wady klejenia w porównaniu z lutowaniem twardym narzędzi z kształtkami z węglików spiekanych

Klejenie węglików spiekanych z metalami uważane jest za technologię przyszłości. Podjęto już próby łączenia tych materiałów, np. w krzyżowych koronkach wiertniczych przy użyciu kleju na bazie żywicy metakrylowej [8] (rys. 2). Próbowano również wklejać płytki węglkowe w narzędziach do obróbki plastycznej klejem na bazie kauczuku i żywicy fenolowej oraz w 12 – segmentowej pile tarczowej klejem opartym na żywicy epoksydowej [9].

Podstawowe czynniki, które ograniczają stosowanie techniki klejenia w produkcji narzędzi to stosunkowo niewielka wytrzymałość na ścinanie  $R_t$  połączeń, zwykle nie przekraczająca  $40 \text{ MPa}$ , oraz brak odporności na wysokie temperatury. Jednakże dynamiczny rozwój techniki klejenia w ostatnich latach spowodował znaczny wzrost parametrów wytrzymałościowych i odporności na wysokie temperatury dostępnych na rynku materiałów klejowych. Obecnie oferowane przez producentów kleje konstrukcyjne często mają wytrzymałość na ścinanie  $R_t$  większą niż  $40 \text{ MPa}$  (np. kleje epoksydowe utwardzane przez dodatkowe nagrzewanie indukcyjne). Dodatkowo można ją jeszcze zwiększyć stosując kleje o budowie kompozytowej, składające się z osnowy (matrycy) kleju właściwego i napełniacza – fazy obcej w postaci:



Rys. 1. Ogólna zależność wytrzymałości na ścinanie połączenia lutowanego  $R_t$ , od wartości szerokości szczeliny  $s$  dla lutowania pod osłoną topnika [7]

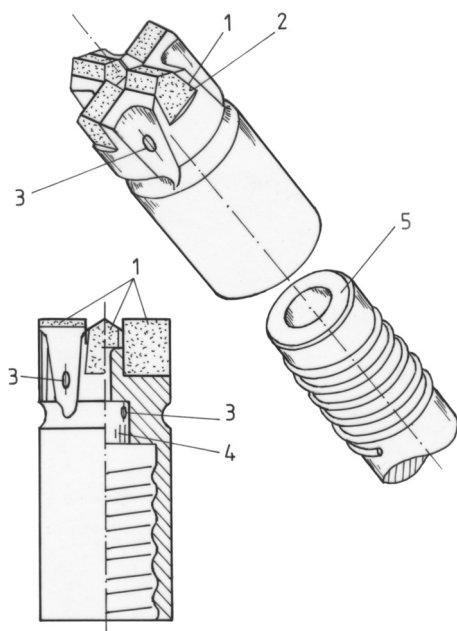
Fig. 1. General relation of soldered joint shear strength  $R_t$  and the value of gap width  $s$  for soldering under flux shield [7]

Tab. 1. Podstawowe właściwości węglików spiekanych gat. S20, węglika wolframu, kobaltu i stali 45 [2,5,6]  
Tab. 1. Basic properties of sintered carbides grade S20, wolfram carbide, cobalt and steel 45 [2,5,6]

Materiał	Skład chemiczny % wag			Gęstość $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	Twardość	HV30	Współczynnik rozszerzalności liniowej $\alpha$ 10 <sup>-6</sup> 1/K
	WC	TiC+TaC+NbC	Co				
S20	78	14	8	11,6	1500	5,8	42
WC	100	—	—	15,7	1790	5,7-7,2	—
kobalt	—	—	100	8,9	125	13,2	96
stal 45	0,42÷0,5%C; 0,5÷0,8%Mn; 0,1÷0,4%Si; max po 0,3% Cr,Ni,Cu; max po 0,04% P i S;			8,0	190-260	13,6	52 w 0 °C

cząstek, włókien i siatek. Wstępne próby modyfikacji klejów w Zakładzie Spawalnictwa ITMiA PWr przyniosły wzrost wytrzymałości na ścinanie  $R_t$  o 30% (klej metakrylowy + napełniacz w postaci proszku aluminiowego, w stosunku obj. 1:1 do zawartości kleju) w porównaniu z klejem bez zbrojenia [10]. Innym sposobem zwiększania funkcjonalności połączeń klejowych jest odpowiednia konstrukcja złącza, przy wykorzystaniu możliwie największej powierzchni łączenia oraz wyeliminowaniu niekorzystnych obciążeń powodujących oddzieranie i rozszczepianie złącza (rys. 3 c,d). Powinny być one projektowane przede wszystkim jako złącza zakładkowe, pracujące na ścinanie (rys. 3a). Naprężenia rozciągające mogą być dobrze przenoszone, ale przez duże powierzchnie (rys. 3b). Poprawa konstrukcji złącza to nie tylko zmniejszenie naprężeń, ale także ich równomierne rozłożenie. Bardzo korzystnym rozwiązaniem jest usytuowanie kształtki z węglików spiekanych w tzw. jaskółczym ogonie (rys. 2). Narzędzia z wklejonymi kształtkami węglkowymi pracują prawidłowo, gdy działają na nie naprężenia ściskające.

Problem odporności klejów na wysokie temperatury został już częściowo rozwiązany. Znane są uszczelnienia silikonowe, o zdolnościach klejących, odporne na temperatury w zakresie 300 – 350 °C. Produkowane są również nowoczesne produkty pra-



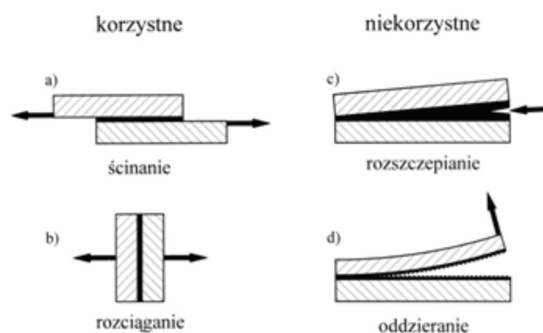
Rys. 2. Koronka wiertnicza z wklejonymi węglnikami spiekany: kształtka węglkowa (1), gniazdo krzyżowe (2), otwór wodny (3), kanał wodny (4), żerdź (5) [8]

Fig. 2. Drill bit with inserted sintered carbides: carbide shape (1), cross seat (2), water orifice (3), water duct (4), rod (5) [8]

cujące w temperaturach powyżej 400 °C [2], a nawet uszczelniacze i kleje wytrzymujące zakres do 1200 °C [12]. Przykładem wysokiej odporności termicznej klejów jest zastosowanie ich do łączenia ponad 30 tysięcy płytek krzemowych z powierzchnią promu kosmicznego Columbia. Takie połączenia klejowe wykazywały odporność na temperatury sięgające do 1500 °C [13].

Eliminując powyższe wady klejenia można otrzymać połączenie o dobrej jakości, wykazujące w porównaniu z lutowaniem następujące zalety [1,2,10,14]:

- przejmowanie przez elastyczną warstwę kleju niekorzystnych zmian współczynnika rozszerzalności liniowej materiałów różnoimiennych,
- równomierne obciążenie złącza,
- brak strefy wpływu ciepła w połączeniach,
- pomijalnie małe naprężenia w złączu,
- uszczelnienie połączenia oraz ochrona przed wnikaniem wilgoci i powstawaniem korozji elektrochemicznej w połączeniach materiałów różnoimiennych,
- brak problemów zwilżalności węglików wolframu, a szczególnie węglików tytanu, tantalu i niobu występujących w spiekach narzędziowych (za wyjątkiem klejów anaerobowych),
- przeprowadzanie łączenia zwykle w temperaturze pokojowej, bez potrzeby wykorzystania atmosfer ochronnych lub próżni,
- łatwe uzyskanie powtarzalnej szerokości szczeliny,
- nie jest wymagane studzenie złącza w określonych warunkach po procesie spajania,
- eliminowanie dodatkowych obróbek powierzchniowych po procesie klejenia,
- możliwość łączenia dużych powierzchni, znacznie przekraczających 100 mm<sup>2</sup>.



Rys. 3. Korzystne (a, b) i niekorzystne (c, d) obciążenia mechaniczne połączeń klejowych [11]

Fig. 3. Beneficial (a, b) and adverse (c, d) mechanical loads of glue joints [11]

#### 4. Przygotowanie powierzchni węglików spiekanych do klejenia

Odpowiednie przygotowanie powierzchni węglików spiekanych, podobnie jak w przypadku lutowania, w znacznym stopniu decyduje o prawidłowej pracy złącza. Przez uzyskanie maksymalnych sił adhezji na granicy klej – materiał łączony, można nawet 4 – krotnie zwiększyć wytrzymałość mechaniczną połączeń. W praktyce stosuje się różne metody przygotowania powierzchni węglików spiekanych, w celu jej rozwinięcia: mechaniczne (szlifowanie, obróbka strumieniowo – ścierna), chemiczne, termiczne (lub łączenie tych metod: chemiczno-termiczne) oraz elektrochemiczne [15]. Optymalną metodą przygotowania powierzchni węglików spiekanych jest trawienie elektrolityczne, polegająca na selektywnym rozpuszczaniu anodowym trudno zwilżalnego węgla wolframu WC, czego efektem jest uzyskanie rozwiniętej warstwy kobaltowej na powierzchni łączenia [2]. Końcowym etapem przygotowania powierzchni jest jej odtłuszczenie zwykle za pomocą rozpuszczalników organicznych. Nie zaleca się stosowania benzyny ekstrakcyjnej, ponieważ zawiera ona kilka procent frakcji tłuszczowych, niekorzystnie wpływających na siły adhezji w połączeniach klejowych [16]. Adhezję właściwą, przy klejeniu węglików spiekanych, można również zwiększyć nanosząc na powierzchnie węglików spiekanych warstwy metalowe z miedzi, niklu czy kobaltu, zwykle metodami elektrochemicznymi. Są one łatwiej zwilżane i klejone, szczególnie przy użyciu klejów anaerobowych. Dla zwiększenia przyczepności kleju i wytrzymałości połączenia, powierzchnie elementów klejonych poddaje się często gruntowaniu tj. nanoszeniu primeru (zwykle w ilości około 5 g/m<sup>2</sup>), który zwiększa również odporność połączenia na oddziaływanie wilgoci i korozji.

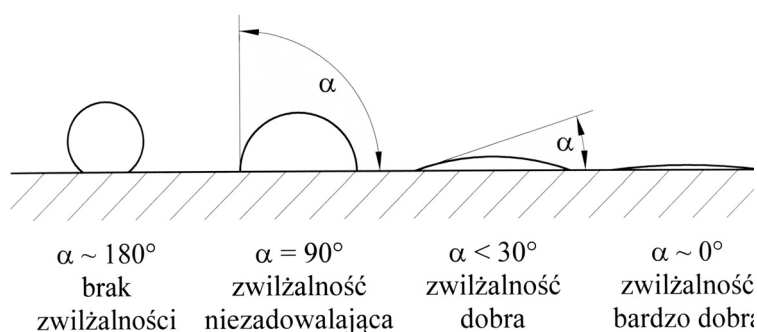
Dobór metody przygotowania powierzchni bezpośrednio wpływa na adhezję mechaniczną, związaną z chropowatością (wysokość nierówności  $R_z$  powinna zawierać się w granicach 15 ÷ 40 μm) i rozwinięciem powierzchni łączącej. Aby klej dokładnie wypełnił

wszelkie nierówności, graniczny kąt zwilżania  $\alpha$  powinien być jak najmniejszy. Przyjmuje się, że zwilżalność kleju jest optymalna, gdy  $\alpha \sim 0^\circ$  (rys. 4).

#### 5. Wykonanie połączeń klejowych i statyczna próba ścinania

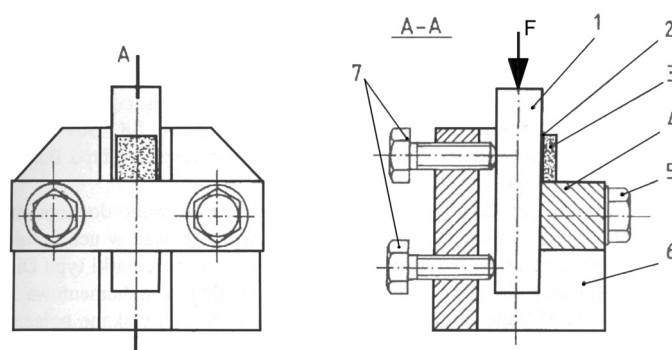
Łączono stal 45 z płytkami z węglików spiekanych gat. S20 oraz węglikiem wolframu WC. Wykonano także próbne połączenia stal 45 – Co oraz stal 45 – stal 45. Wszystkie złącza wykonano przy użyciu kleju Loctite 638, należącego do grupy klejów anaerobowych, utwardzających się po odcięciu tlenu z powietrza i zapewnieniu kontaktu z metalem. Jest to klej, który może być stosowany do łączenia metali, przy szczelinie dochodzącej nawet do 0,25 mm. Wytrzymałość na ścinanie połączeń stalowych (według ISO 10123) wynosi 22 – 40 MPa w temperaturze pokojowej, natomiast w temperaturze 150 °C zmniejsza się 2 – krotnie [17]. Jako aktywatora użyto jednoskładnikowego produktu Loctite 7649 na bazie rozpuszczalnika (acetonu), przyspieszającego utwardzanie produktów anaerobowych, ale nie wpływającego na adhezję kleju do podłoża. Szczelina klejowa s we wszystkich przypadkach wynosiła 0,05 mm. Powierzchnia stali 45 po frezowaniu charakteryzowała się następującymi parametrami chropowatości:  $R_a = 1,52 \mu\text{m}$  i  $R_z = 9,23 \mu\text{m}$ . Powierzchnia węglików spiekanych gat. S20 po szlifowaniu miała chropowatość odpowiednio:  $R_a = 0,17 \mu\text{m}$  i  $R_z = 1,49 \mu\text{m}$ . W celu uzyskania poprawnych połączeń łączone elementy przed procesem klejenia odtłuszczono rozpuszczalnikiem nitro. Powierzchnia klejenia próbek o przekroju kołowym wynosiła 104 mm<sup>2</sup>.

Statyczną próbę wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy INSTRON, model 1126, przy następujących parametrach: zakres obciążenia 10000 N, prędkość posuwu belki  $V_b = 0,2 \text{ cm/min}$  oraz prędkość przesuwu papieru  $V_p = 5 \text{ cm/min}$ . Ścinane próbki mocowano w specjalnie skonstruowanym przyrządzie, pokazanym na rys. 5. Umieszczano go między dwoma uchwytami,



Rys. 4. Przypadki zwilżania klejem podłoża klejonego [11]

Fig. 4. Cases of wetting the glued base with glue [11]



Rys. 5. Przyrząd do statycznej próby ścinania połączeń klejowych: 1 - korpus stalowy próbki, 2 - połączenie klejowe, 3 - płytka z węglików spiekanych, 4 - stempel tnący, 5 - śruba mocująca, 6 - korpus przyrządu, 7 - śruby ustalające

Fig. 5. Device for static shearing test of glue joints: 1 - sample steel body, 2 - glue joint, 3 - sintered carbides plate, 4 - punch, 5 - clamping bolt, 6 - device frame, 7 - fixing bolts

z których górny był wahlwy, co zapewniało osiowe obciążanie próbek. Rodzaje próbek, udział aktywatora oraz uzyskane wyniki ze statycznej próby ścinania zamieszczono w tabeli 2. Liczebność próbek klejonych wynika z zestawienia tabelarycznego. Połączenia typu kobalt – stal 45 i stal 45 – stal 45 wykonano wstępnie dla pojedynczych próbek.

Najmniejszą wytrzymałość na ścinanie, średnio 7 MPa, uzyskano dla połączeń czystego węglika wolframu ze stalą 45. Wynika to z właściwości pasywnych fazy WC w obecności kleju anaerobowego. Największe wartości  $R_t$  osiągnięto dla połączeń typu metal – metal, dochodzące do 24 MPa. Charakter złomu we wszystkich próbkach wykazywał oznaki zniszczenia adhezyjnego, przy czym dla złączy WC – stal 45 cała warstwa kleju pozostawała na stali. Nie odnotowano wpływu aktywatora na wytrzymałość połączeń klejowych.

## 6. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Podstawowym czynnikiem ograniczającym stosowanie techniki klejenia do łączenia węglików spiekanych ze stalą w narzędziach jest mała wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych.
- Dla połączeń klejowych węglików spiekanych gat. S20 ze stalą 45 uzyskano wytrzymałość na ścinanie dochodzącą do 20 MPa.
- Istotne znaczenie w połączeniach klejowych wykonanych przy użyciu kleju anaerobowego odgrywa udział fazy metalowej o właściwościach katalitycznych. W węglkach spiekanych uzyskuje się to przez zwiększenie udziału fazy kobaltowej.

Wykonanie przedstawionych w artykule połączeń oraz przeprowadzone próby wytrzymałościowe zapoczątkowały cykl badań połączeń klejowych węglików

Tab. 2. Wyniki statycznej próby ścinania złączy klejowych  
Tab. 2. Results of static shearing test of glue joints

Łączone materiały	Nr próbki	Aktywator	Wytrzymałość	na ścinanie $R_t$ MPa
S20 - 45	S20 1	+	11	adhezyjny
S20 - 45	S20 2	+	20	adhezyjny
S20 - 45	S20 3	-	18	adhezyjny
S20 - 45	S20 4	-	19	adhezyjny
WC - 45	WC 1	+	7	adhezyjny
WC - 45	WC 2	+	7	adhezyjny
WC - 45	WC 3	-	6	adhezyjny
WC - 45	WC 4	-	7	adhezyjny
Co - 45	Co	-	19	adhezyjny
45 - 45	45	-	24	adhezyjny

spiekanych ze stałą przeprowadzanych w Zakładzie Spawalnictwa ITMiA Politechniki Wrocławskiej. Będą one uwzględniać szereg czynników, takich jak stan przygotowania powierzchni dla zwiększenia sił

adhezji, dobór klejów oraz modyfikacje klejów napęczniaczami w postaci siatek, włókien oraz cząstek metalowych i niemetalowych dla zwiększenia sił kohezji w połączeniach.

### 7. Literatura

- [1] Mirski Z., Granat K.: *Poprawa jakości połączeń lutowanych narzędzi z węglkami spiekаныmi*, Przegląd Spawalnictwa, nr 8-9, 2004, s. 27-30.
- [2] Mirski Z.: *Sterowanie szerokością szczeliny lutowniczej w procesach spajania materiałów różnoimiennych*, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, seria: Monografie nr 22, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [3] Mahler W., Zimmermann K.F.: *Löten von Hartmetallen*, *Schriftenreihe der Degussa*, Technik die verbindet, Berichte aus Forschung und Praxis, Zeszyt nr 30, Hanau 1985.
- [4] Mirski Z.: *Społwa o budowie kompozytowej do lutowania spieków narzędziowych*, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, nr 6, 1999, s. 48-53
- [5] Paland E-G.: *Technisches Taschenbuch*, INA - Schäffler KG, Herzogenaurach 2002.
- [6] BAILDONIT: *Tabelaryczne zestawienie niektórych własności węglików spiekanych produkowanych w Spółce z o.o. Baildonit Węgliki Spiekane*, Katowice 2004.
- [7] Hohn H.: *Hartlöten – Allgemeine Regeln für Konstruktion und Fertigung*. Schweisstechnik (A), 1976, Nr. 7, s. 144-145.
- [8] Klen Timothy F.: *Bohrenkopf*, Offenlegungsschrift Nr.2803735, Patent RFN, 1978.
- [9] Schliekelmann R.J.: *Metallkleben – Konstruktion und Fertigung in der Praxis*, Deutscher Verlag für Schweisstechnik (DVS), Düsseldorf 1972.
- [10] Mirski Z., Piwowarczyk T.: *Klejenie metali*, Przegląd Spawalnictwa, nr 6, 2003, s. 10-18.
- [11] Praca zbiorowa pod redakcją Pilarczyka J.: *Poradnik inżyniera. Spawalnictwo*, tom II, rozdz. 17, MIRSKI Z.: *Klejenie*, WNT, Warszawa 2005, w druku.
- [12] Den Braven: *Karta techniczna kleju Fire Sealant 1200 °C*, Oosterhout, www.denbraven.pl.
- [13] Bernaciak M.: *Seria materiałów informacyjno – szkoleniowych*, Proxima NTR. Belchatów, 2002.
- [14] Mirski Z.: *Wpływ szczeliny na własności mechaniczne połączeń lutowanych*, Przegląd Spawalnictwa, nr 1-2, 1990, s. 10-14
- [15] Mirski Z., Drzeniek H.: *Die Benetzbarkeit von Hartmetallen beim Hartlöten*, 5. Internationales Kolloquium: Hart- und Hochtemperaturlöten und Diffusionsschweißen, Aachen, 16-18 Juni 1998, DVS-Berichte, Bd. 192, Düsseldorf, DVS Verlag 1998.
- [16] Kowalczyk S., Raczkowski D.: *Właściwości technologiczne kompozytów regeneracyjnych*, Przegląd Spawalnictwa, 1997, nr 11, s. 7-9.
- [17] Loctite: *Arkusz danych technicznych dla produkt 638*, 1995.

---

**Dr hab. inż. Zbigniew MIRSKI**

**Mgr inż. Tomasz PIWOWARCZYK**

Politechnika Wroclawska

Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji

Wroclaw ul. Łukasiewicza 3/5

tel. 320 21 42

e-mail: zbigniew.mirski@pwr.wroc.pl

e-mail: tomasz.piwowarczyk@pwr.wroc.pl

---