

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Sylwii Styczyńskiej**  
**pt. *Optymalizacja mikrostruktury i właściwości napoin nakładanych na powierzchnię***  
***roboczą świerdów trójgryzowych***  
**do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej**

Mgr inż. Sylwia Styczyńska w swojej pracy doktorskiej podjęła istotną dla przedsiębiorstwa Narzędzia i Urządzenia Wiertnicze Glinik Sp. z o. o. w Gorlicach tematykę poprawy jakości i właściwości użytkowych świerdów trójgryzowych, które są podstawowym wyrobem tego przedsiębiorstwa. Wyrób ten jest oferowany firmom wykonującym odwierty w twardych i niejednorodnych podłożach skalnych i mineralnych. Musi posiadać wysoką udarność oraz odporność na ścieranie i kruche pękanie. W celu wydłużenia bezawaryjnego okresu eksploatacji świerdów stosuje się napawanie zębów roboczych. W firmie podstawową technologią napawania jest ręczne napawanie gazowe, kosztowne i długotrwałe. Dla efektywnego konkurowania na światowym rynku firma wzbogaca swoje wyposażenie produkcyjne o nowoczesne roboty do napawania plazmowego i laserowego oraz prowadzi własne badania nad doskonaleniem swoich wyrobów. Prace badawczo-rozwojowe realizowane m.in. we współpracy z Politechniką Warszawską dotyczą poprawy właściwości napoin i technologii ich nakładania. Przedmiotem badań z tego obszaru, zrealizowanych przez Doktorantkę i zawartych w rozprawie doktorskiej, jest optymalizacja mikrostruktury i właściwości napoin poprzez dobór składu chemicznego osnowy i cząstek umacniających napoin o budowie jedno lub wielowarstwowej oraz dobór technik napawania i stosowanych parametrów procesowych.

**Charakterystyka pracy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Sylwii Styczyńskiej zawiera 149 stron i obejmuje następujące podstawowe rozdziały: informacja o firmie Glinik i jej wyrobach oraz przegląd literatury dotyczącej tematyki doktoratu (24 str.), zdefiniowanie celu i opis metodyki badań (13 str.), badanie materiałów napawanych trzema metodami: gazową, plazmową i laserową oraz omówienie i dyskusja wyników (87 str.), podsumowanie i wnioski (7 str.). Uzupełnieniem są: zestawienie literatury obejmujące 89 pozycji oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

We wstępie Doktorantka przedstawiła motywację wyboru tematyki badań. Wskazała potrzeby firmy Glinik, światowego producenta narzędzi wiertniczych, w zakresie wdrażania innowacyjnych technologii napawania świerdów w celu wydłużenia ich bezawaryjnej eksploatacji. Określiła aplikacyjny cel swojej pracy doktorskiej w postaci *optymalizacji mikrostruktury i właściwości napoin przez dobór materiału oraz technologii i parametrów ich nanoszenia w celu poprawy ścieralności i udarności*.

Przegląd literatury obejmuje pięć podrozdziałów, z których dwa dotyczące metod nanoszenia napoin i obróbki cieplno-chemicznej po procesie napawania odnoszą się bezpośrednio do celu rozprawy doktorskiej. W podrozdziałach tych Doktorantka scharakteryzowała trzy rodzaje napawania: gazowego, plazmowego i laserowego oraz proces obróbki cieplno-chemicznej gryzów po napawaniu, obejmujący nawęglanie oraz hartowanie i odpuszczanie.

Kolejny rozdział obejmuje opis zastosowanej metodyki badań, w tym parametry stosowanych w NUW Glinik urządzeń do napawania gazowego, plazmowego i laserowego. [REDACTED]

[REDACTED] W następnym podrozdziale Doktorantka opisała zastosowane metody badania proszków do napawania oraz jakości i właściwości uzyskanych napoin, w tym badania prądowirowe, penetracyjne, mikroskopowe, rentgenowskie, pomiary twardości oraz testy udarnośći i ścieralności.

Badania własne Doktorantka przeprowadziła na materiałach pozyskanych z firmy Glinik, dotyczy to proszków do napawania, jak i wykonanych napoin w trzech technologiach napawania [REDACTED]

W procesie napawania gazowego NUW Glinik stosuje pałeczki [REDACTED] w postaci rurek stalowych wypełnionych sproszkowaną mieszaniną węglików wolframu, metalicznego kobaltu i stopu Si-Mn. Wykonane przez Doktorantkę badania dyspersji proszków (4,5 – 810  $\mu\text{m}$ ) oraz ich składu chemicznego i fazowego (WC,  $\text{W}_2\text{C}$  i Co) potwierdziły zadeklarowane przez producenta parametry. Ocena napoin [REDACTED] wykazała, że 10% próbek nie spełniło kryteriów jakościowych z powodu pęknięć napoiny. Badania na próbkach niewykazujących pęknięć wykazały rozpuszczanie węglików pierwotnych i występowanie węglików wtórnych  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$  i  $\text{Ni}_{17}\text{W}_3$  w przetopionej osnowie stali. Zdaniem Doktorantki osnowa Fe sprzyja rozpuszczaniu węglików pierwotnych, co można byłoby ograniczyć stosując osnowę niklową. Metodą dyfrakcji rentgenowskiej stwierdzono w napoinie i podłożu stalowym występowanie ściskających naprężeń własnych, wynoszących odpowiednio -900 i -400 MPa.

W procesie napawania metodą plazmową przetestowano dwa proszki ceramiczne zawierające węgliki wolframu w osnowie niklu [REDACTED] Próby napawania z zastosowaniem proszku [REDACTED] nie spełniły oczekiwań, ponieważ proszek ulegał aglomeracji, a wytworzone napoiny zawierały liczne wady: pustki, pęknięcia i słabe połączenie z osnową. Pozytywne wyniki uzyskano natomiast przy zastosowaniu proszku [REDACTED] Napoiny wytworzone metodą plazmową z zastosowaniem tego proszku posiadały dobre połączenie z podłożem i brak nieciągłości oraz równomierne rozmieszczenie węglików. Doktorantka porównując właściwości napoin uzyskanych metodą plazmową i gazową, wykazała szereg zalet metody plazmowej na osnowie niklu. Stwierdziła niższy poziom degeneracji węglików pierwotnych oraz większą udarność i odporność na ścieranie napoiny. Ponadto przy napawaniu plazmowym występuje niższy poziom ściskających naprężeń własnych (-500 MPa) oraz brak gradientu pomiędzy napoiną a materiałem podłoża. Oceniając całościowo przemysłowe stosowanie technologii napawania plazmowego Doktorantka podkreśliła fakt, że mimo jej wielu zalet, nie sprawdza się w stosunku do detali o małym przekroju oraz do prowadzenia procesu w pozycji innej niż podolna, co ogranicza jest zastosowanie do elementów o skomplikowanej geometrii, jakimi są gryzy w świdrach.

Powyższych ograniczeń nie posiada napawanie metodą laserową, która została uznana za docelowe rozwiązanie dla firmy Glinik. Doktorantka przeprowadziła szczegółowe badania napoin wykonanych tą metodą z zastosowaniem proszku [REDACTED] W pierwszym wariantcie technologii stwierdzono liczne nieciągłości i pęknięcia napoiny, które powstały wskutek naprężeń wytworzonych podczas obróbki cieplnej. [REDACTED]

Obok proszku [REDACTED] Doktorantka zastosowała również w procesie napawania laserowego autorskie proszki wytwarzane w firmie NUW Glinik, [REDACTED] Stwierdziła, że wzbogacona kompozycja cząstek umacniających w napoinie spowodowała znaczną poprawę odporności na ścieranie o około 60%, przy zachowaniu pozostałych paramentów na niezmiennym poziomie.

W podsumowaniu i wnioskach z obszernego zakresu badań własnych Doktorantka pokreśliła pozytywne efekty optymalizacji mikrostruktury i właściwości użytkowych napoin nakładanych na powierzchnię roboczą świdrów trójgryzowych technologiami plazmowymi i laserowymi w stosunku do stosowanej w firmie Glinik technologii napawania gazowego. Najlepszą ocenę zyskała technologia napawania laserowego [REDACTED] która pozwala znacznie zwiększyć odporność na ścieranie i udarność napoin w stosunku do technologii napawania gazowego. Wykonane przez Doktorantkę szczegółowe badania materiałowe i technologiczne wskazują na celowość zastosowanych optymalizacji materiałowych i procesowych napawania. W zakresie materiałowym istotne znaczenie ma zastosowanie stopów niklu w miejsce żelaza i wzbogacenie rodzaju cząstek umacniających [REDACTED] W zakresie technologicznym na potrzeby napawania złożonych geometrycznie świdrów użyteczna jest technologia laserowa, przy optymalnym doborze parametrów pracy robota.

### **Ocena pracy**

Podjęta przez mgr inż. Sylwię Styczyńską tematyka badawcza, dotycząca wytwarzania napoin na powierzchni roboczej świdrów trójgryzowych, stanowi pozytywny przykład aktywności naukowej na potrzeby podnoszenia innowacyjności polskiego przemysłu. Wsparcie badawcze przy wdrażaniu efektywnej jakościowo i ekonomicznie technologii laserowej do produkcji zaawansowanych wyrobów pozwoli na poprawę konkurencyjności NUW Glinik na rynku światowym. Ocena trzech technologii napawania gazowego, plazmowego i laserowego oraz różnych parametrów tych procesów stanowi użyteczny materiał dla badań rozwojowych prowadzonych przez specjalistów firmy NUW Glinik nad wdrażaniem nowych rozwiązań produkcyjnych i doskonaleniem swoich wyrobów.

Jednocześnie praca badawcza posiada walory naukowe związane z badaniem składu chemicznego i fazowego oraz mikrostruktury napoin kształtowanych w procesie ich napawania i obróbki cieplno-chemicznej. Doktorantka zastosowała bogaty zestaw metod badawczych do badań struktury oraz właściwości mechanicznych napoin, które pozwoliły jej na zidentyfikowanie i wyjaśnienie zależności pomiędzy budową i właściwościami użytkowymi napoin. Szczególnie cenne są badania napoin z zastosowaniem skaningowej mikroskopii elektronowej, mikroanalizy i dyfrakcji rentgenowskiej, [REDACTED]

[REDACTED] Ten obszar badań i ich wyniki stanowią cenny wkład w rozwój dyscypliny inżynierii materiałowej. Niewątpliwym osiągnięciem Doktorantki jest wprowadzenie dodatkowej międzywarstwy w napoinach laserowych, która istotnie poprawia ich właściwości użytkowe.

Oceniając znaczący wkład Doktorantki w realizację przedstawionych wyników badań, należy zauważyć brak wskazania, które napoiny zostały pozyskane z NUW Glinik z procesu produkcyjnego, a które zostały wytworzone w ramach własnych eksperymentów w pracy doktorskiej.

Brakuje również jednoznacznego opisu przygotowania próbek z napoinami. Czy napawaniu poddawano zęby świdrów przemysłowych, a następnie wycinano z nich próbki do badań, czy napawano specjalnie przygotowane płytki do badań.

Dla prawidłowej oceny wpływu poszczególnych metod napawania na mikrostrukturę i właściwości napoin wskazane byłoby zastosowanie identycznych wymiarowo próbek podłoża, umożliwiających zapewnienie identycznych warunków nakładania napoin, krzepnięcia i odprowadzenia ciepła, jak również warunków pomiaru naprężeń własnych, udarności oraz odporności na ścieranie. Natomiast ostateczną weryfikację nowej technologii napawania zapewnią testy eksploatacyjne świdrów trójgryzowych podczas odwiertów w porównywalnym podłożu skalnym.

Zastosowane przez Doktorantkę bieżące konfrontowanie wyników badań z literaturą powoduje niejednokrotnie wątpliwości, które interpretacje wyników badań są autorstwa Doktorantki, a które są cytowaniem opinii z literatury (str.55, 58, 80). Pozytywnie należy natomiast ocenić wprowadzenie odrębnych podrozdziałów poświęconych omówieniu wyników badań odnoszących się do trzech technologii napawania.

Jeżeli chodzi o ocenę jakości opracowania całej rozprawy należy przyznać, że napisana jest poprawnym i logicznym językiem. Drobne błędy gramatyczne, interpunkcyjne i językowe oraz „literówki” zaznaczono w tekście i przekazano Doktorantce do wykorzystania przy opracowaniu przyszłych publikacji.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że mimo wskazanych powyżej zastrzeżeń o charakterze dyskusyjnym należy uznać, że Doktorantka zrealizowała zaplanowany program badań i osiągnęła założony cel pracy. Uzyskała *poprawę ścieralności i udarności napoin poprzez dobór materiału oraz technologii i parametrów napawania*. Na uznanie zasługuje Jej dobra znajomość inżynierii materiałowej w zakresie technologii i urządzeń do napawania powłok ochronnych narzędzi wiertniczych oraz w zakresie zaawansowanych metod badań materiałoznawczych, takich jak pomiary właściwości mechanicznych i analizy mikrostruktury materiałów metodami mikroskopii elektronowej i rentgenowskiej analizy dyfrakcyjnej, jak również testów odporności na ścieranie i obciążenia udarowe. Należy również podkreślić, że Doktorantka wykonała obszerny zakres badań oraz udokumentowała go szczegółowo i przejrzysto w postaci licznych zdjęć, wykresów i tablic.

#### **Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Sylwii Styczyńskiej stanowi wykonane na wysokim poziomie naukowym opracowanie zagadnienia, określonego celem pracy. Posiada bezpośrednie odniesienie do światowego dorobku w zakresie badań napoin nanoszonych metodami gazową, plazmową i laserową, dla ochrony przed zużyciem ściernym i udarowych narzędzi wiertniczych, stosowanych do urabiania formacji skalnych oraz wzbogaca go o nowe wyniki. Spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim. **Stawiam więc wniosek o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Sylwii Styczyńskiej do publicznej obrony.**

