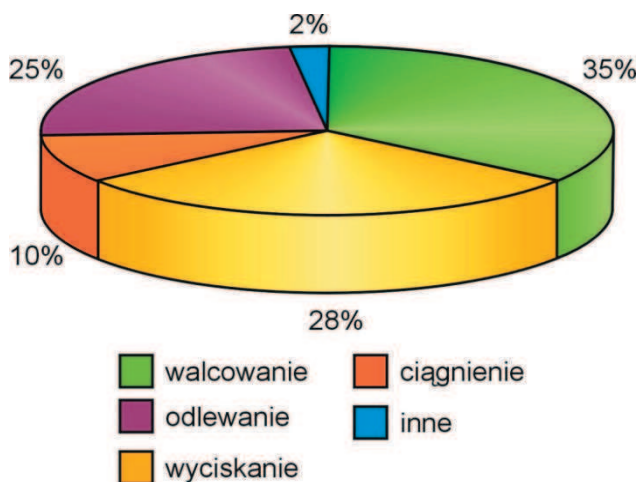


3. Geneza, teza, cel i zakres pracy

3.1. Geneza pracy

Obróbka plastyczna jest bardzo szeroko rozpowszechnioną technologią wytwarzania elementów o złożonych kształtach. Jednym z pięciu podstawowych procesów obróbki plastycznej stosowanych w przemyśle przetwórczym metali jest wyciskanie (rys. 6), którego udział szacuje się na około 28%. Obecnie panuje pogląd, że wyciskanie jest najbardziej ekonomiczną metodą z procesów obróbki plastycznej metali, a przewidywana perspektywa rozwoju tej gałęzi przemysłu jest optymistyczna.



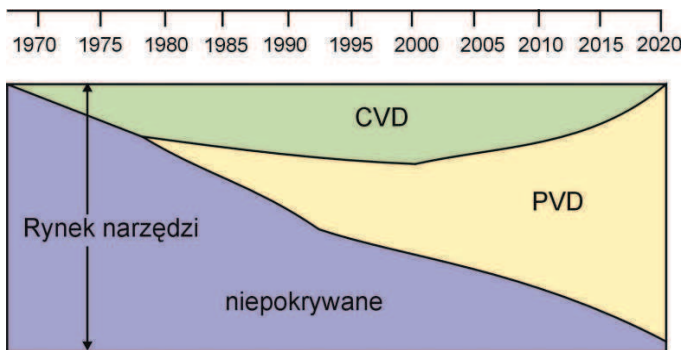
Rysunek 6. Udział poszczególnych metod obróbki plastycznej w wytwarzaniu półproduktów z aluminium (wg Aluminium Technology Roadmap 2006)

Szybkie zużycie powierzchni roboczych matryc w trakcie wyciskania ma istotne znaczenie technologiczne i gospodarcze, ponieważ pogarsza dokładność wymiarową oraz jakość powierzchni produktu finalnego. W Polsce działa wiele przedsiębiorstw wykorzystujących technologie wyciskania do produkcji różnego rodzaju profili i kształtowników z metali nieżelaznych, a liczbę nowych matryc wykorzystywanych w tych procesach w ciągu roku można oszacować na kilka tysięcy sztuk. Na podstawie danych rynkowych wielkość produkcji w przypadku wyciskanych kształtowników z aluminium kształtuje się na poziomie 100 000 t, co wymaga zastosowania około 4000 matryc o szacowanym koszcie 40 mln złotych.

Zwiększenie trwałości matryc na poziomie 10% powoduje oszczędności 5-8 mln złotych. Warto również zaznaczyć, że w Europie konsumpcja jedynie profili aluminiowych kształtuje się na poziomie 1,2 mln ton. Powyższa analiza, jak również wysokie wymagania odnośnie do gładkości powierzchni i tolerancji wymiarowej produktów uzyskiwanych z wykorzystaniem technologii wyciskania determinują poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań w obszarze inżynierii powierzchni, podwyższających trwałość i jakość eksploatacyjną matryc formujących.

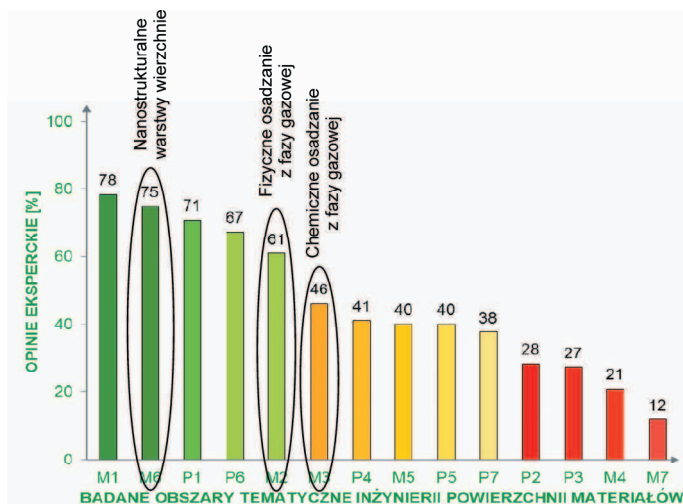
Najskuteczniejszym sposobem podwyższenia trwałości wielu produktów jest wytworzenie na ich powierzchni powłok, w szczególności o strukturze nanokrystalicznej metodami fizycznego osadzania z fazy gazowej lub chemicznego osadzania z fazy gazowej. Na własności mechaniczne oraz eksploatacyjne powłok można wpływać przez odpowiedni dobór składu chemicznego warstwy wierzchniej oraz optymalizację warunków procesu jej nanoszenia [131-134]. Analiza stanu zagadnienia w zakresie inżynierii powierzchni oraz kierunku jej rozwoju (rys. 7) wskazuje, że trendy rozwojowe zostaną utrzymane, zarówno w Polsce, jak i na świecie [43, 57, 121, 135, 136].

Również wyniki projektu FORSURF [58, 137, 138] realizowanego w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych w ramach badań foresightowych wskazują, że kierunkami rozwoju najkorzystniejszych rozwiązań technologicznych dotyczących kształtowania struktury i własności warstw powierzchniowych produktów i ich elementów w ciągu najbliższych 20 lat będą technologie nanostrukturalnych warstw wierzchnich, w skład których wchodzi także wybrane metody fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej (rys. 8-10). Jednocześnie należy podkreślić, że perspektywy rozwoju strategicznego spośród technologii fizycznego

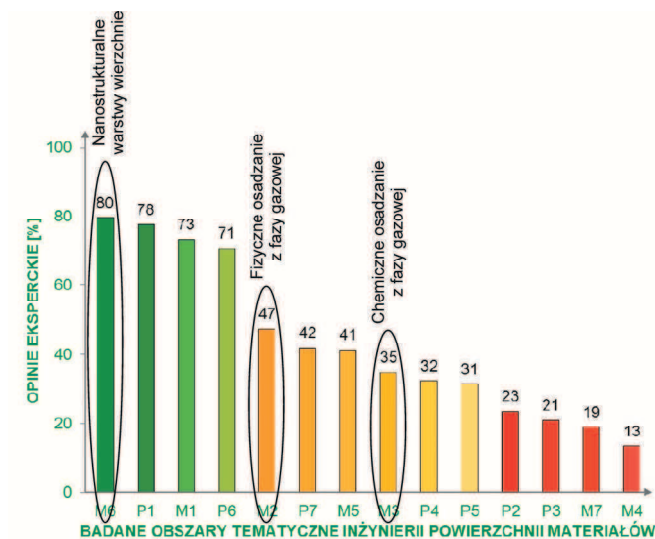


Rysunek 7. Rozwój technologii PVD i CVD na przykładzie materiałów stosowanych na narzędzia (według Oerlikon Balzers)

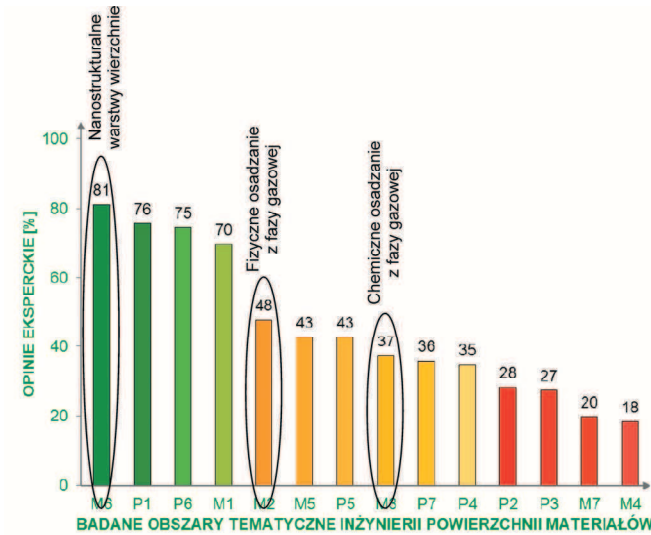
osadzania z fazy gazowej (PVD), określone jako bardzo wysokie, posiadają metody katodowego odparowania łukowego (CAD), natomiast w grupie technologii chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) najlepsze pozycje strategiczne, zajmują metody osadzania powłok z fazy gazowej wspomagane plazmą (PACVD/PECVD) (rys. 11-13).



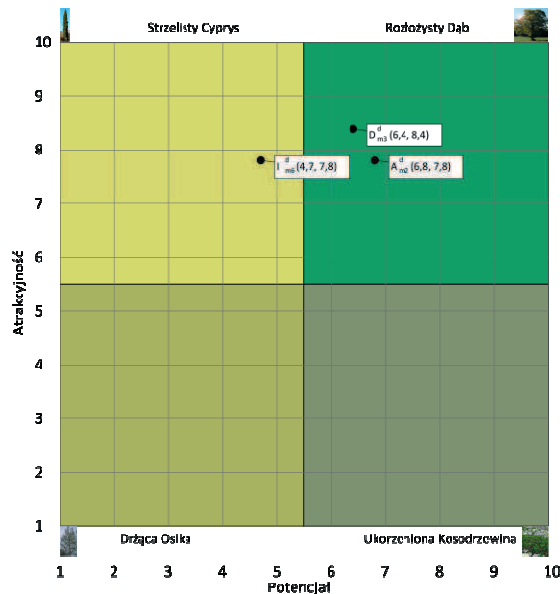
Rysunek 8. Wyniki badań heurystycznych dotyczące oceny możliwości praktycznej aplikacji w przemyśle analizowanych grup technologii w ciągu najbliższych 20 lat [138]



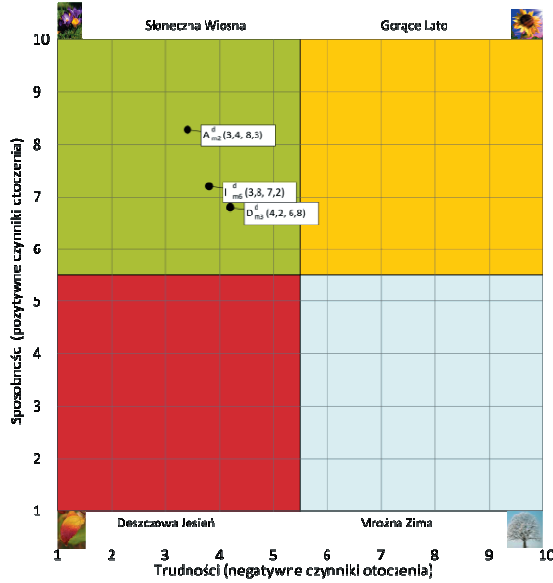
Rysunek 9. Wyniki badań heurystycznych dotyczące oceny, którym grupom analizowanych technologii w ciągu najbliższych 20 lat będą poświęcone prace naukowo-badawcze [138]



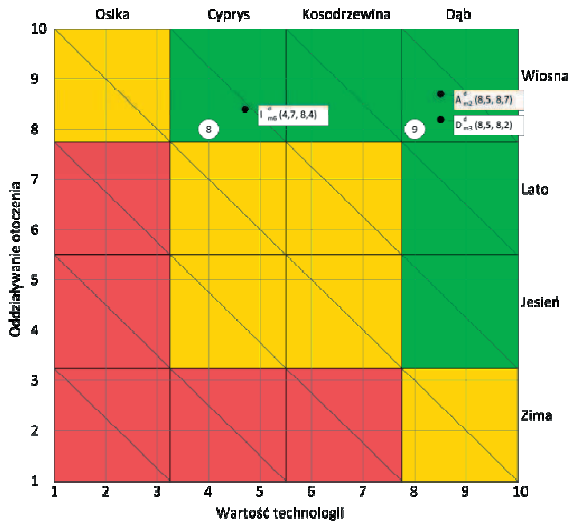
Rysunek 10. Wyniki badań heurystycznych dotyczące oceny, które grupy analizowanych technologii są kluczowe i ich znaczenie powinno wzrastać w ciągu najbliższych 20 lat [138]



Rysunek 11. Dendrologiczna macierz wartości technologii: (A_{m2}^d) katodowego odparowania lukowego (CAD), (D_{m3}^d) plazmo-chemicznego osadzania powłok z fazy gazowej (PACVD/PECVD), (I_{m6}^d) nakładania powłok nanokrystalicznych [138]



Rysunek 12. Meteorologiczna macierz oddziaływania otoczenia dotycząca technologii: ($A_{m_2}^d$) katodowego odparowania łukowego (CAD), ($D_{m_3}^d$) plazmo-chemicznego osadzania powłok z fazy gazowej (PACVD/PECVD), ($I_{m_6}^d$) nakładania powłok nanokrystalicznych [138]



Rysunek 13. Macierz strategii dla technologii: ($A_{m_2}^d$) katodowego odparowania łukowego (CAD), ($D_{m_3}^d$) plazmo-chemicznego osadzania powłok z fazy gazowej (PACVD/PECVD), ($I_{m_6}^d$) nakładania powłok nanokrystalicznych [138]

Zapewnienie niezawodności i wysokiej jakości wyciskanych produktów oraz dążenie do obniżania kosztów produkcji jest jednym z najważniejszych celów jaki stawia sobie współczesny przemysł. Dlatego poszukiwanie nowych rozwiązań oraz pozyskiwanie nowej wiedzy w obszarze zwiększania trwałości narzędzi poprzez wytwarzanie na ich powierzchni nanokrystalicznych warstw technologiami fizycznego i/lub chemicznego osadzania z fazy gazowej stanowi ważny element tych działań i jest warty uwagi.

3.2. Teza, cel i zakres pracy

Analiza studialna literatury wskazuje na fakt, że dotychczasowe metody modyfikacji powierzchni matryc stosowanych podczas wyciskania, m.in. poprzez azotowanie lub obróbkę hybrydową polegającą na azotowaniu i nanoszeniu powłok typu TiN, Ti(C,N) lub CrN wytwarzanych metodami fizycznego osadzania z fazy gazowej w celu uzyskania struktury wielowarstwowej typu "warstwa azotowana/powłoka PVD", pomimo zwiększenia efektywności procesu, nie rozwiązały wszystkich kwestii związanych z długofalową poprawą jakości powierzchni wytwarzanych produktów jak i czasem eksploatacji matryc, czy problemem przywierania wyciskanego materiału do narzędzia. Wynika stąd potrzeba poszukiwania alternatywnych sposobów udoskonalenia powierzchni matryc, które wyeliminują powyższe niedogodności związane z ich eksploatacją. Dokonany przegląd stanu wiedzy w zakresie powłok wytwarzanych techniką fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej wskazuje, iż dotychczas nie wykorzystano w pełni wszystkich możliwości technologicznych związanych z optymalizacją i właściwym doбором warstw powierzchniowych.

Przeprowadzone studium literaturowe oraz wyniki wykonanych dotychczas badań własnych pozwalają na sformułowanie następującej tezy pracy:

Wymagane cechy użytkowe matryc do plastycznego kształtowania metali w procesie wyciskania są efektem prawidłowego ukształtowania struktury, własności mechanicznych i trybologicznych twardych powłok nanokrystalicznych z cienką warstwą niskotarciową (synergiczne współdziałanie warstw składowych w procesie eksploatacji) z uwzględnieniem specyfiki procesu wyciskania z cyklicznym skręcaniem matrycy.

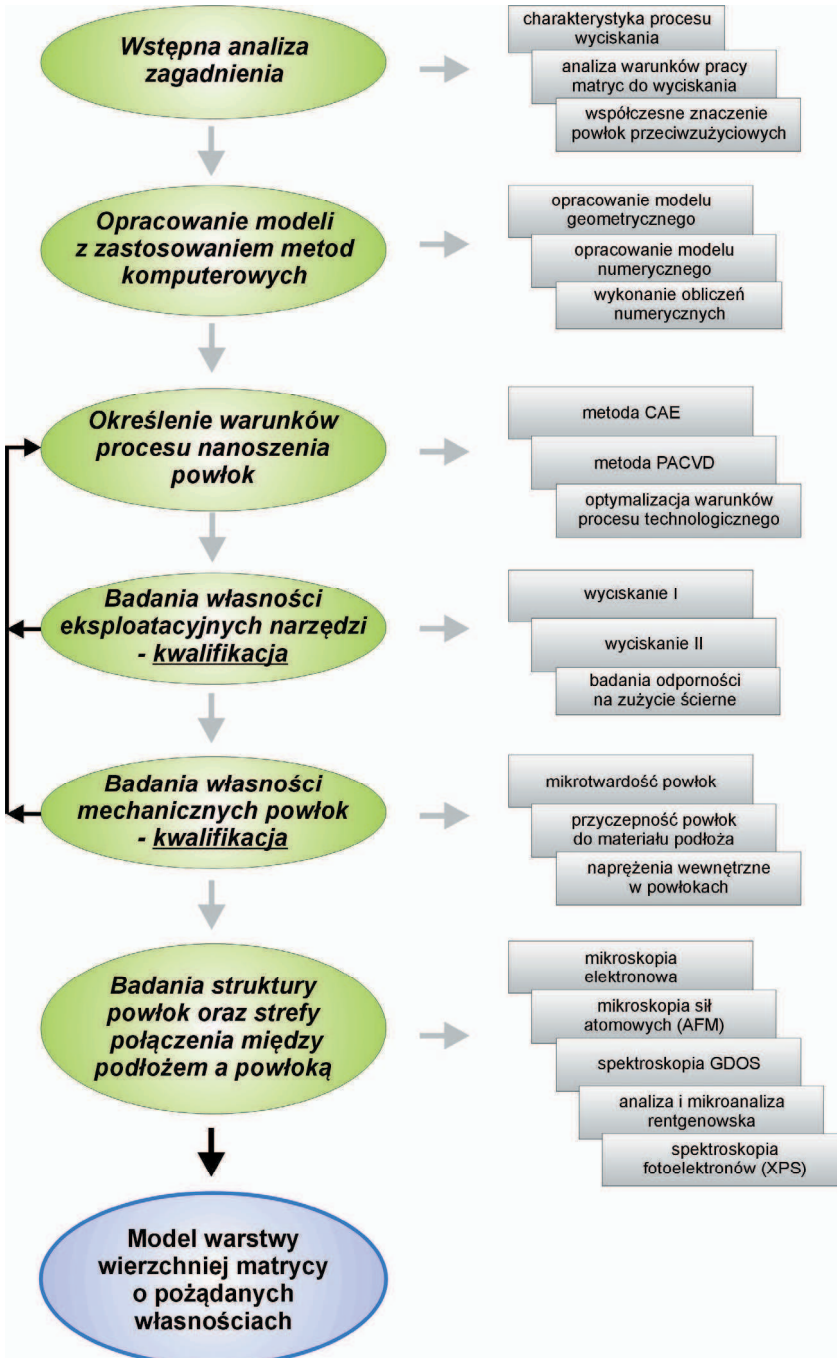
Wynika stąd konieczność realizowania programów badawczych, zarówno poznawczych, jak i aplikacyjnych uwzględniających zagadnienia inżynierii powierzchni i plastycznego kształtowania metali.

Zasadniczym celem badań było wykazanie prawdziwości sformułowanej tezy pracy. Osiągnięcie celu związane było z opracowaniem metodologii kształtowania, kwalifikacji własności oraz analizą struktury warstw wierzchnich (synergicznie współdziałających warstw wierzchnich), w szczególności strefy połączenia między rdzeniem a powłoką, jak również pomiędzy poszczególnymi warstwami wytworzonymi na powierzchniach roboczych matryc do plastycznego kształtowania metali nieżelaznych, ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki wyciskania z rewersyjnie skręcaną matrycą.

Weryfikacja przyjętej tezy wymagała zrealizowania odpowiednich zadań badawczych. Ujmuje to opracowany algorytm postępowania obejmujący zakres niezbędnych operacji technologicznych i badań zapewniających wymagane cechy użytkowe matryc do wyciskania (rys. 14). W celu znalezienia odpowiedzi na wynikające z tezy pytania badawcze w pierwszej kolejności do symulacji numerycznej procesu wyciskania przyjęto kształt matrycy stosowanej w metodzie wyciskania z rewersyjnie skręcaną matrycą (KOB0) ze względu na ekstremalnie trudne warunki pracy.

Rozwiązanie problemu w ramach zrealizowanej pracy wymagało:

- opracowania z zastosowaniem metod komputerowych modeli przestrzennych rozkładów naprężeń własnych i przemieszczeń badanych warstw oraz narzędzia w powiązaniu z warunkami eksploatacyjnymi,
- opracowania technologii wytwarzania warstw o strukturze nanokrystalicznej, w tym nanokompozytowej oraz warstw niskotarciowych o pożądanych własnościach użytkowych zapewniających zwiększenie trwałości, odporności na zużycie ściernie i adhezyjne,
- przeprowadzenia badań opracowanych powłok w warunkach pracy pokrytych nimi elementów (narzędzi – matryc) w celu ustalenia przewidywanych zachowań i własności podczas ich eksploatacji,
- wykonania badań własności mechanicznych i struktury wytworzonych warstw oraz charakteru połączenia między powłoką i powierzchnią pokrytego materiału podłoża, jak również pomiędzy poszczególnymi warstwami wytworzonymi na powierzchniach roboczych matryc.



Rysunek 14. Zakres prac i badań