



Projekt realizowany w ramach IV Osi Priorytetowej: „Zwiększenie potencjału naukowo-badawczego” Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020, Działania 4.1 „Badania naukowe i prace rozwojowe”, Poddziałania 4.1.4 „Projekty aplikacyjne” współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego pt.:

„Wykorzystanie technologii przyrostowej (*DLD – Direct Laser Deposition*) oraz SLM (*Selective Laser Melting*) do wykonywania elementów form metalowych w technologii odlewania ciśnieniowego i kokilowego o podwyższonych parametrach eksploatacyjnych”

Cel projektu

Odlewy ciśnieniowe wykonane z metali lekkich znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Optymalizacja procesu produkcji tego rodzaju odlewów polega z jednej strony na podwyższeniu jakości wyrobu, z drugiej natomiast na wzroście trwałości i niezawodności oprzyrządowania. Ogólne pojęcie wzrostu jakości odlewu zawiera w sobie wymagania dotyczące odpowiedniej struktury powierzchni, przewidywalnej struktury metalograficznej stopu po zakrzepnięciu oraz eliminacji wad w postaci porowatości rozproszonej. W technologii odlewania ciśnieniowego powierzchnia wnętrza wkładki formy narażona jest na znaczące zmiany temperatury ze względu na cykliczny kontakt z ciekłym metalem o temperaturze ok. 650°C do 700°C i nanoszoną natryskowo powłoką ochronną, której temperatura wynosi 25°C. Dodatkowo, oprócz cyklicznych zmian temperatury, na wkładkę wywierane jest ciśnienie wynoszące ok. 1500 MPa podczas fazy wtrysku metalu. W efekcie powierzchnia wkładki, która ma kontakt z metalem, poddawana jest działaniu naprzemiennie działających sił ściskających i rozciągających, powodujących powstanie zjawiska zmęczenia i w konsekwencji inicjacji oraz propagacji przypowierzchniowych pęknięć, które można klasyfikować jako pęknięcia termiczne, naprężeniowe i wykruszenia. Zjawiska opisane powyżej powodują stosunkowo szybkie zużycie powierzchni wkładki i stopniowe pogarszanie się gładkości powierzchni odlewu. Częściowe wyeliminowanie niekorzystnych zjawisk

będących efektem zmęczenia cieplnego, a wpływających na trwałość formy, można osiągnąć przez optymalizację procesu chłodzenia formy. Właściwie zaprojektowany system kanałów chłodzących spowoduje redukcję czasu pojedynczego cyklu pracy maszyny ciśnieniowej, jak również wpłynie na polepszenie jakości powierzchni odlewów przez aktywny wpływ na regulację temperatury we wkładce. Chłodzenie konformalne jest metodą tworzenia kanałów chłodzących wewnątrz formy, które podążają za konturami powierzchni wnęki formy. Pozwala to na szybsze chłodzenie i bardziej efektywne krzepnięcie odlewu. Kształt i średnice kanałów powinny być tak dobrane, aby spowodować obniżenie poziomu naprężeń cieplnych w odlewie przez wyrównywanie temperatury w czasie krzepnięcia odlewów. W całym systemie kanałów można wydzielić ten, który ma za zadanie globalne chłodzenie formy oraz system miejscowej regulacji temperatury. Wykonanie wkładki metodami obróbki skrawaniem CNC z układem kanałów regulacji temperatury, który miałby spełnić wymagania opisane powyżej, nie jest możliwy do wykonania ze względu na ich położenie, przebieg, kształt oraz średnicę kanałów. Nowe metody wytwarzania przyrostowego (*AM – Additive Manufacturing*) stwarzają okazję do wykonania tych części wkładek lub rdzeni, w których przewiduje się umiejscowienie kanałów służących do lokalnej regulacji temperatury. Średnica kanałów powinna być dobierana w zależności od ich odległości względem powierzchni wnęki formy. Jeżeli średnica jest prawidłowo dobrana, to w formach ciśnieniowych krzepnięcie następujące po fazie wtrysku powinno przebiegać równomiernie w całym odlewie. W ramach projektu zostaną wykorzystane dwie technologie AM: *Selective Laser Melting (SLM)* oraz *Direct Laser Deposition (DLD)*. Urządzenie pracujące w oparciu o technologię DLD znajduje się na wyposażeniu Konsorcjanta – Radomskiego Centrum Innowacji i Technologii (RCiIT). RCiIT dysponuje także drukarką funkcjonującą w technologii SLM, która może posłużyć we wstępnej fazie badań, ale dla osiągnięcia celów projektu (udostępnienie narzędzi odlewowych w nowej technologii małym i średnim odlewniom w kraju) należy dokonać leasingu dedykowanego urządzenia SLM. Istotnym, z punktu widzenia projektu, jest zdolność Konsorcjanta do profesjonalnej obsługi obu wymienionych technik przyrostowych, nabyta przy realizacji innych projektów wdrożeniowych – w tym wspólnego projektu z Beneficjentem funduszy przyznanych przez NCBR w dziedzinie medycyny. RCiIT wdraża także na polskim rynku zbliżoną technologię dla wtrysku mas plastycznych – obecnie znajduje się ona w fazie prototypowania (w pełni funkcjonalne wkładki) z jej wczesnymi użytkownikami. Zaawansowanie RCiIT we wdrażaniu tej pokrewnej technologii znacząco zwiększa szanse na osiągnięcie deklarowanego IX poziomu TRL. Wtrysk mas plastycznych przy wykorzystaniu narzędzi tworzonych techniką przyrostową jest pośrednim dowodem na zdolność technik SLM i DLD do dostarczenia oczekiwanego rezultatu projektu. Tak, jak zostało to zaznaczone – wykorzystanie technologii przyrostowej do wtrysku metali jest o wiele trudniejszym wyzwaniem, a stopień zaawansowania prac nad tą technologią w świecie jest niewielki. Zaprojektowanie optymalnego układu regulacji temperatury we wkładce za pomocą konformalnego układu kanałów wymaga przeprowadzenia szeregu symulacji numerycznych procesów cieplnych zachodzących w formie ciśnieniowej podczas następujących po sobie cykli pracy maszyny. Na ich podstawie określony zostanie wpływ ukształtowania konformalnego systemu chłodzenia wkładki, na zmiany pola temperatury w ich sąsiedztwie oraz pole naprężeń cieplnych w samej wkładce oraz w odlewie. Najlepsze rozwiązanie, które umożliwi otrzymanie jednorodnego pola temperatury w odlewie oraz skrócenie cyklu pracy maszyny

zostanie poddane analizie technologiczności wykonania za pomocą wyżej wymienionych metod przyrostowych. Ze względu na brak wystarczających danych materiałowych dotyczących odporności na zmęczenie cieplne oraz mechaniczne warstw wykonanych z przetwarzanych proszków metali metodami SLM i DLD przewiduje się przeprowadzenie odpowiednich prób w celu wytypowania rodzaju materiału oraz określenia odpowiednich parametrów prowadzenia procesu AM. Opisany powyżej ciąg działań projektowych i badawczych zostanie zrealizowany w oparciu o istniejący już i wykorzystywany do wykonywania odlewów model formy ciśnieniowej, który posłuży jako sprawdzian do porównania uzyskanych rezultatów z testów wkładki o zmienionym, konformalnym systemie chłodzenia. Dopuszcza się również prowadzenie badań porównawczych w oparciu o dwie nowe testowe wkładki, jedną zaprojektowaną zgodnie z konwencjonalnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, a drugą z wykorzystaniem metod przyrostowych oraz konformalnym układem chłodzenia. W przypadku uzyskania pozytywnych rezultatów prób testowych planowane jest wdrożenie w produkcji odlewów wkładek do form ciśnieniowych o zmienionej konstrukcji układu chłodzenia oraz wykorzystanie zgromadzonych doświadczeń w projektowaniu różnych typów wkładek. Głównym celem ekonomicznym projektu jest skrócenie czasu cyklu wytworzenia odlewu przy zachowaniu tej samej ilości cykli pracy wkładki/rdzenia tworzonej nową technologią. Lider Konsorcjum (Łukasiewicz – Instytut Odlewnictwa) pragnie wykorzystać doświadczenia Konsorcjanta (RCiIT) zdobyte przy wdrażaniu technologii przyrostowych w tworzeniu narzędzi do ciśnieniowego odlewania mas plastycznych. Faza prototypowania będzie prowadzona przy zaangażowaniu tzw. „wczesnych użytkowników” (*Early Adopters* według nomenklatury teorii dyfuzji innowacji Everetta Rogersa). Pozwoli to na rekurencyjny proces doskonalenia nowego rozwiązania technologicznego oraz opracowanie tzw. „historii sukcesu”, niezbędnej do propagacji technologii i jej skutecznej sprzedaży do „wczesnej większości” (*Early Majority*). Taki proces jest gwarantem osiągnięcia IX poziomu TRL. Prototypowanie w rzeczywistych warunkach przemysłowych (po fazie badań, rozwoju i testów wewnętrznych w środowisku badawczo-testowym Instytutu) jest pewnym i ostatecznym testem przydatności rozwiązania i osiągnięcia oczekiwanych rezultatów. Należy zwrócić uwagę, że Konsorcjum przez realizowany projekt wkracza w same sedno problemów technologicznych związanych z przyrostowymi technikami wytwarzania. Jest to: odporność materiałów wytwarzanych w technologii druku 3D na wysokie i cykliczne obciążenia oraz powiązany z tym problem struktury powierzchniowej wydruków: porowatości i mikroszczelin.

Wartość projektu: 9 810 530,00 PLN

Wkład Funduszy Europejskich: 9 810 530,00 PLN

Okres realizacji: czerwiec 2019 r. – maj 2022 r.

Kierownik B+R: inż. Stanisław Pysz

Kierownik Zarządzający Projektem: inż. Stanisław Pysz

Projekt realizowany jest przez Konsorcjum, w skład którego wchodzi: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Odlewnictwa (Lider) i Radomskie Centrum Innowacji i Technologii sp. z o.o.

Krótki opis projektu

Technologie przyrostowe znajdują nisze rynkowe, w których potwierdzają swoją opłacalność. W projekcie na wybranych przykładach, wykorzystując technikę przyrostową *DLD* – *Direct Laser Deposition* oraz *Selective Laser Melting* z dedykowanych proszków metalowych przewiduje się wykonanie elementów do form metalowych o podwyższonych parametrach eksploatacyjnych. Celem projektu jest opracowanie gotowych do stosowania i rozpoczęcie sprzedaży wkładek drukowanych w technologii druku 3D z chłodzeniem konformalnym do form metalowych. Zakres prac badawczo-rozwojowych i prototypowych obejmować będzie:

- wybór materiałów bazowych do druku oraz utwardzania powierzchni wkładek,
- doskonalenie zasad projektowania wkładek z wykorzystaniem programów symulacyjnych,
- opracowanie technologii napawania gradientowego,
- zastosowanie nowoczesnych metod obróbczych do wykańczania powierzchni wkładki i kanałów konformalnych w celu optymalizacji przepływów wtryskiwanych metali i płynów chłodzących.

W technologii odlewania ciśnieniowego oraz kokilowego (od 70% do 90% elementów odlewanych stanowiących konstrukcję produkowanych obecnie samochodów jest wykonywana tą technologią) powierzchnia wnętrza wkładki formy narażona jest na znaczące zmiany temperatury. W efekcie powierzchnia wkładki poddawana jest działaniu naprzemiennie działających sił ściskających i rozciągających. Powodują one stosunkowo szybkie zużycie powierzchni wkładki i stopniowe pogarszanie się gładkości powierzchni odlewu i konieczność ich częstej naprawy. Zastosowanie wkładek z chłodzeniem konformalnym wykonanym w technologii druku 3D pozwala na skrócenie cykli wtrysku i osiągnięcie wyższej wydajności wytwarzania. Utwardzanie powierzchni wkładek metodą druku 3D pozwala na zwiększenie ich wytrzymałości. Nowoczesne, elektrochemiczno-erozyjne metody obróbki powierzchniowej przyczyniają się do optymalizacji efektów wykorzystania wkładek drukowanych. Efektem projektu będzie skrócony cykl wtrysku oraz zwiększenie trwałości wkładek.