

Prof. dr hab. inż. Adam Zieliński
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Górnośląski Instytut Technologiczny

Gliwice, 12.11.2024 r.

Recenzja
pracy doktorskiej mgr. inż. Piotra Maliszewskiego
p.t. „Analiza i badania technologiczności materiałowej w wybranych wytwórczych
procesach materiałowych” wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej

Charakterystyka zagadnienia

Praca doktorska mgr. inż. Piotra Maliszewskiego dotyczy metodologii działań inżynierskich związanych z procesem konstrukcyjnego i technologicznego projektowania, uwzględniającego kryterium technologiczności. Pojęcie technologiczności jest rzadko używane w praktyce inżynierskiej, gdzie główną rolę odgrywają mierzalne parametry materiałowe, technologiczne i ekonomiczne odzwierciedlające tę właściwość. Intuicyjnie technologiczność jest rozumiana jako realność wykonania wyrobu oraz przeprowadzenia procesu produkcyjnego, w tym technologiczność materiałowa jako podatność materiału do przetworzenia w zaprojektowany wyrób o określonej funkcjonalności. Podręcznikowa definicja technologiczności wyrobu obejmuje zbiór cech jego wytwarzania, dobieranych pod kątem minimalizacji nakładów pracy, materiałów, energii i czasu w trakcie technologicznego przygotowania produkcji, wytwarzania, eksploatacji oraz remontów w określonych warunkach organizacyjno-technicznych przy zachowaniu wskaźników jakościowych.

Wytworzenie (produkcja) nawet prostego wyrobu, a tym bardziej złożonej wieloelementowej konstrukcji wymaga przeprowadzenia wstępnej analizy przygotowawczej obejmującej:

- zaprojektowanie konstrukcji wyrobu spełniającej wymagane parametry użytkowe i eksploatacyjne oraz obowiązujące normy i przepisy;
- dobór lub opracowanie składu chemicznego, struktury i postaci materiału (surowca), który zapewni wymagane parametry eksploatacyjne oraz parametry technologiczne potrzebne do wytworzenia wyrobu finalnego;
- dobór lub opracowanie technologii wytwarzania (produkcji) elementów składowych i wyrobu finalnego z uwzględnieniem dostępnej bazy wytwórczej.

Te trzy istotne elementy projektowania produktów i procesów powinny spełniać kryteria technologiczności. Zagadnienie to jest przedmiotem pracy doktorskiej mgr. inż. Piotra Maliszewskiego, przy czym Autor analizuje je w podziale na: technologiczność konstrukcji, technologiczność materiałową oraz technologiczność procesu wytwarzania.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 18.11.2024
RDJMa.1.1761.5.11.2024
nr zał.

Szczególną uwagę poświęcił technologiczności materiałowej, uznając, że jest ona nie zawsze doceniana przez projektantów, którzy koncentrują się na dwóch pozostałych elementach.

Technologiczność konstrukcji określa się i porównuje dla różnych technologii wytwarzania i zastosowanych materiałów poprzez wyliczenie wskaźników ilościowych. Proces ten jest skomplikowany z uwagi na dużą liczbę rozpatrywanych kryteriów, dlatego częściej wykonuje się analizę procesów cząstkowych lub poszczególnych etapów procesu wytwórczego. Znaczna liczba publikacji dotyczy analizy technologiczności wieloelementowych konstrukcji z wykorzystaniem metody DFA (Design For Assembly). Wyznaczenie ilościowego wskaźnika efektywności montażu (łatwości montażu) w postaci- tzw. indeksu DFA pozwala optymalizować projektowanie wyrobów pod kątem zmniejszenia liczby części i łatwości montażu, co ma znaczący wpływ na całkowite koszty produkcji. Z tego punktu widzenia problematyka technologiczności posiada aspekt aplikacyjny. Wybór tematyki rozprawy doktorskiej należy więc ocenić jako zasadny i wartościowy.

Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Maliszewskiego zawiera łącznie 206 stron wraz z zestawieniem literatury obejmującym 103 pozycje, streszczeniami oraz spisami rysunków i tablic. Część zasadnicza obejmuje 5 rozdziałów: wstęp (2 str.), przegląd piśmiennictwa (16 str.), badania własne (155 str.), podsumowanie (8 str.) i wnioski (3 str.). Pod względem formalnym taki podział pracy nie jest optymalny. Rozdział 3 *Badania własne* jest nieproporcjonalnie obszerny, a ponadto zawarte w nim podrozdziały 3.5, 3.6 i 3.7 zawierają w obszernej części omówienie wyników badań zawartych w cytowanej literaturze.

W przeglądzie piśmiennictwa Autor w głównej mierze koncentruje się na przedstawieniu, analizie i porównaniu różnych definicji technologiczności w podziale na technologiczność materiałową, technologiczność konstrukcji i technologiczność procesu wytwarzania. Sama nazwa „technologiczność” pojawia się w tytule zaledwie dwóch cytowanych publikacji: w odniesieniu do konstrukcji stalowych [7] i konstrukcji maszyn [83], co podkreśla oryginalność pracy.

W procesie projektowania i modelowania wyrobu finalnego, analiza technologiczności konstrukcji pozwala na właściwe zaprojektowanie poszczególnych elementów konstrukcji, uwzględniając racjonalny dobór materiałów, kształtowanie półfabrykatów, ich obróbkę oraz montaż. Do oceny produktywności konstrukcji i produktywności procesu wytwarzania sformułowano szereg szczegółowych kryteriów. Natomiast technologiczność materiałowa jest rzadziej analizowana i w części publikacji zawęża się ją do zdolności materiału do jego wytworzenia i przetworzenia surowca w gotowy wyrób.

W podrozdziale 3.1 Autor określił cel i tezę swojej pracy doktorskiej. Przyjął, że celem pracy jest *analiza problematyki dotyczącej technologiczności materiałowej w projektowaniu i konstruowaniu produktów oraz projektowaniu procesów technologicznych*, natomiast tezę pracy określił w postaci stwierdzenia, że *projektowanie i wytwarzanie produktu powinno być warunkowane na każdym etapie potrzebą uwzględnienia wymagań dotyczących technologiczności, w szczególności materiałowej* w korelacji z dwoma pozostałymi. Sformułowany cel pracy jest bardzo ogólny, nie precyzuje, jaki ma być osiągnięty efekt przeprowadzonej analizy. Należy wnosić, że zakłada potwierdzenie sformułowania tezy pracy. W podrozdziałach 3.2 i 3.3 Autor przedstawił sposób realizacji pracy oraz koncepcję i metodykę swoich badań, określając poszczególne elementy wspomnianej analizy technologiczności. Jego zdaniem technologiczność materiałowa jest równie ważna i obejmuje funkcje użytkowe materiału, które można kształtować również w procesie technologicznym wytwarzania i przetwarzania wyrobu. Przyjął założenie, że pomiędzy poszczególnymi rodzajami technologiczności występuje silna korelacja i współzależność. Technologiczność konstrukcji, tj. spełnienie jej funkcji użytkowych to złożenie cech konstrukcyjnych wyrobu, cech użytkowych materiału oraz parametrów zastosowanego procesu wytwarzania. Uznał, że każdy z tych elementów jest równie istotny i dla oceny ich technologiczności opracował specjalne kwestionariusze (Tabele 1 i 2). W części dotyczącej oceny technologiczności materiałowej uwzględnił - jako nowe- właściwości materiału spełniające funkcjonalność gotowego wyrobu, w tym właściwości mechaniczne, fizyczne, chemiczne, obok podatności do przetwarzania. W kolejnym podrozdziale 3.4 sformułował kryteria technologiczności konstrukcji, technologiczności procesu wytwarzania oraz kryteria technologiczności materiałowej, obejmujące:

- właściwości technologiczne materiału,
- właściwości mechaniczne materiału,
- właściwości fizyczne i chemiczne materiału,

zestawiając dla każdego zakresu mierzalne parametry pomiarowe.

W dalszych podrozdziałach Autor wskazał na potrzebę wprowadzenia do dwóch podstawowych działań inżynierskich: projektowania konstrukcji i projektowania procesu technologicznego kwestii technologiczności materiałowej, co pozwoli zoptymalizować produktywność konstrukcji gotowego wyrobu. Zwrócił uwagę na istotny wpływ dziedziczenia technologii w kolejnych etapach procesu wytwórczego oraz na analizę technologiczności w procesie produkcyjnym po kolejnych jego etapach.

W podrozdziałach 3.6 i 3.7 Autor omówił różne próby technologiczne stosowane dla oceny właściwości materiału, jako kryteria jego doboru do planowanej konstrukcji finalnej. Posłużyły mu one dla podparcia dość oczywistej tezy, że dobór materiału powinien uwzględniać aspekt technologiczności materiałowej, tj. spełnienie wymaganych właściwości technologicznych w procesach: odlewania, skrawania, obróbki plastycznej, spawania oraz obróbki cieplnej i cieplnochemicznej.

W kolejnym obszernym (90 str.) podrozdziale 3.8 Autor przeprowadził analizę i ocenę technologiczności produkcji trzech wyrobów: uchwytu ładowarki (tłoczonego elementu karoserii samochodowej), odkuwki osi piasty oraz odlewu wirnika pompy.

Materiałem do analiz wykonanych przez Autora były pozyskane z trzech przedsiębiorstw: dokumentacja projektowa i technologiczna oraz wypełniony przez pracownika kwestionariusz obejmujący opis wymagań materiałowych oraz procesów technologicznych. Na podstawie tych materiałów Autor wykonał ocenę technologiczności trzech wskazanych wyrobów posługując się opracowanym przez siebie Kwestionariuszem. Kwestionariusz ten obejmuje kryteria oceny technologiczności materiałowej, technologiczności konstrukcji i technologiczności procesu wytwarzania. Z przeprowadzonej oceny technologiczności uzyskał potwierdzenie, że każdy z zaprojektowanych i wytworzonych produktów jest technologiczny.

W *podsumowaniu* Autor przedstawił własne poszerzone definicje trzech rodzajów technologiczności, uwzględniając występujące między nimi zależności i uwarunkowania. Sformułował warunki pozwalające na spełnienie kryteriów oceny technologiczności materiałowej, technologiczności konstrukcji i technologiczności procesu wytwarzania. Stwierdził, że podstawowym kryterium technologiczności materiałowej jest spełnienie wymaganych właściwości technologicznych materiału.

Wnioski zawierają zestawienie zrealizowanego zakresu pracy. Szerzej Autor odniósł się do użyteczności opracowanego przez siebie kwestionariusza oceny technologiczności, wskazując na potrzebę jego dalszego doskonalenia. Badania technologiczności trzech przykładowych procesów produkcyjnych z wykorzystaniem kwestionariusza uznał, jako część praktyczną swojej pracy. Odnosząc się do analizy technologiczności materiałowej podkreślił, że przedsiębiorstwa realizują jej wymogi, często bez świadomości istnienia tego pojęcia.

Ocena rozprawy doktorskiej

Elementy pozytywne

Podjęta przez Autora tematyka badawcza wpisuje się w obszar nowoczesnego projektowania i modelowania konstrukcji technicznych. Właściwe zaprojektowanie nowego wyrobu (konstrukcji) powinno uwzględniać szczegółową analizę czynników wpływających na jego funkcjonalność i koszty wytworzenia, przy nadrzędnym założeniu realności przedsięwzięcia. Wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest zasadny i wartościowy, szczególnie, że problematyka technologiczności posiada aspekt aplikacyjny.

W swojej rozprawie doktorskiej Autor udowadnia, że kryterium materiałowe scharakteryzowane przez technologiczność materiałową stanowi zasadniczy element dla funkcjonalności wyrobu i procesu jego wytworzenia. Pokazuje, że na technologiczność finalnego wyrobu składają się, obok właściwie zaprojektowanej konstrukcji, wyjściowe parametry materiałowe oraz właściwości funkcjonalne wyrobu, nabyte w trakcie procesu wytwarzania, co oznacza silną korelację pomiędzy technologicznością konstrukcji, technologicznością materiałową i technologicznością procesu wytwarzania. Zauważa ponadto, że w procesie produkcyjnym produktywności te ulegają ewolucji pod wpływem dziedziczenia skutków poszczególnych operacji technologicznych (dziedziczenie technologii). Oznacza to potrzebę szacowania produktywności w trakcie procesu wytwórczego, w szczególności podczas walidacji prototypu lub nowej technologii, poprzez korektę wstępnych założeń projektowych.

Wkład własny Autora do metodologii działań inżynierskich związanych z procesem projektowania konstrukcyjnego i technologicznego obejmuje opracowanie następujących elementów:

- zasad dziedziczenia technologii w produkcji,
- kryteriów oceny technologiczności materiałowej, technologiczności konstrukcji i technologiczności procesu wytwarzania
- kwestionariusza dotyczącego analizy technologiczności procesu technologicznego (ankiety do wypełnienia przez pracownika zakładu produkcyjnego),
- kwestionariusza oceny technologiczności,
- własnych definicji technologiczności materiałowej, technologiczności konstrukcji i technologiczności procesu wytwarzania, z uwzględnieniem wzajemnego powiązania.

Biorąc pod uwagę cel, tezę oraz przyjętą metodologię pracy, należy uznać, że ma ona charakter koncepcyjno-eksperymentalny. Część koncepcyjna dotyczy teoretycznych podstaw technologiczności, uzupełnionej o technologiczność materiałową, natomiast charakter eksperymentalny posiada ewaluacja opracowanych kwestionariuszy i kryteriów w odniesieniu do oceny produktywności procesu wytwarzania trzech wyrobów przemysłowych.

Elementy dyskusyjne

Zdaniem recenzenta słabością opracowanej i zastosowanej w pracy metodologii oceny produktywności jest jej charakter jakościowy. Pracochłonne analizy technologiczności, opracowane na podstawie dokumentacji i ankiet pozyskanych z trzech przedsiębiorstw, dla trzech wyrobów: uchwytu ładowarki ze stali 10346 DX z powłoką cynkową Z100MB, osi piasty ze stali S355J2 oraz wirnika pompy z brązu cynowego CuSn10-C zakończyły się każdorazowo konkluzją, że zaprojektowany i wytworzony produkt jest technologiczny. Można było oczekiwać takiego wyniku, skoro wybrane do analizy wyroby są wytwarzane, co oznacza realność przyjętych kryteriów materiałowych i konstrukcyjnych. Nie określono natomiast ilościowego wskaźnika technologiczności, w szczególności technologiczności materiałowej, analizując w jakim zakresie zastosowany materiał jest optymalny dla zapewnienia funkcjonalności wyrobu. Dlatego też w dalszych badaniach Autor powinien skoncentrować się na wypracowaniu mierzalnych wskaźników ilościowych, wartościujących technologiczność materiałową, które pokazywałyby, czy uzyskana konstrukcja posiada optymalną funkcjonalność. Właściwości technologiczne pozwalają bowiem różnicować technologiczność materiałową różnych stali i stopów i mogą posłużyć do doboru optymalnego materiału dla zapewnienia wysokiej technologiczności konstrukcji.

Jak wspomniano w charakterystyce pracy jej struktura i podział na rozdziały nie są optymalne. Większość opracowania zawarto w nieproporcjonalnie obszernym rozdziale *Badania własne*, przy czym zamieszczony w nim materiał, obok konkluzji Autora, zawiera również opisy eksperymentów i omówienie wyników badań zaczerpniętych z literatury. Do zawartych w tym rozdziale opisów, wyników i konkluzji w większości przypisane są bowiem pozycje literaturowe. Wymieszanie własnych i literaturowych danych i opinii, utrudnia ocenę oryginalnego wkładu Autora do prezentowanej rozprawy doktorskiej.

Ponadto znaczną objętość pracy stanowią podręcznikowe definicje: właściwości materiałowych (lejność, skurcz odlewniczy, skrawalność, plastyczność, kujność, ciągliwość, tłoczność, formowalność, hartowność, spawalność) i procesów technologicznych (odlewanie, obróbka skrawaniem, obróbka plastyczna, spawanie, obróbka cieplna i cieplnochemiczna) oraz opisy stosowanych norm i procedur dla pomiaru wymienionych właściwości materiałowych. Bez umniejszenia wartości rozprawy można byłoby pominąć podrozdziały 3.6 i 3.7 zawierające wymienione powyżej, znane każdemu inżynierowi dane, które nie mają pełnego uzasadnienia dla potwierdzenia tezy i koncepcji pracy.

Jeżeli chodzi o ocenę jakości opracowania całej rozprawy należy przyznać, że praca została napisana jasnym i poprawnym językiem, a omawiane zagadnienia zostały zobrazowane w postaci 61 poglądowych schematów i zdjęć oraz 45 tabel.

Występujące w pracy błędy językowe i „literówki” oraz propozycje poprawek naniesiono w tekście i przekazano Autorowi do skorygowania przy opracowaniu przyszłych publikacji.

Reasumując należy stwierdzić, że mimo wskazanych powyżej zastrzeżeń o charakterze dyskusyjnym Autor osiągnął założony cel pracy, realizując zaplanowany program badań i analiz. W opracowanych przez siebie *Kwestionariuszach oceny technologiczności* uwzględnił zawarte w tezie pracy wymagania, uzyskując ich potwierdzenie w przeprowadzonych analizach procesów przemysłowych. Na uznanie zasługuje Jego dobra praktyczna znajomość definicji, norm oraz metod pomiaru parametrów materiałowych i technologicznych w odniesieniu do produktywności materiałowej i technologicznej. Należy również podkreślić, że Autor wykonał obszerną analizę produktywności trzech procesów przemysłowych

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Maliszewskiego stanowi wykonane na wymaganym poziomie naukowym opracowanie zagadnienia, określonego tezą i celem pracy. Posiada bezpośrednie odniesienie do światowego dorobku w dyscyplinie inżynierii materiałowej w zakresie metodologii projektowania konstrukcyjnego i technologicznego, uwzględniającego kryterium technologiczności. Zawiera aspekty praktyczne w postaci opracowania kryteriów i procedur oceny technologiczności procesów przemysłowych. Spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim. Stawiam więc wniosek o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr. inż. Piotra Maliszewskiego do publicznej obrony.

