

Krzysztof Rutkowski

ZASADY RACJONALNEGO DOBORU TWORZYW NA ODLEWY

Streszczenie

Mimo decydującego wpływu rodzaju materiału na jakość, koszty produkcji oraz efekty eksploatacji wyrobów, problem specyfikacji tworzyw na odlewy nie został do tej pory ściśle i naukowo opracowany i rozwiązywany jest dorywczo w nie zawsze właściwy sposób. Racjonalną metodą doboru oraz kryterium oceny przydatności materiałów na odlewy powinna być zasada maksymalnego efektu, a więc jakości i żywotności eksploatacyjnej odlewów, przy minimalnych nakładach, tj. kosztach ich produkcji i eksploatacji. W związku z tym postępowanie mające na celu specyfikację, powinno uwzględniać wszystkie czynniki decydujące w tym względzie i składać się z następujących, kolejnych elementów: określenie warunków i wymagań eksploatacyjnych, określenie kryteriów oceny przydatności tworzywa w w/w warunkach, eliminacja tworzyw spełniających w/w kryteria, określenie kosztów przeróbki tworzyw na odlewy, wg różnych technologii, wybór najkorzystniejszego wariantu "materiał-technologia".

Podano schematy, wzory i przykłady, dowodzące, że postępowanie według w/w zasad jest możliwe do przeprowadzenia w sposób stosunkowo prosty i daje doskonałe rezultaty.

1. Znaczenie, zastosowanie, zużycie, zasoby oraz konieczność oszczędzania metali w odlewnictwie

1.1. Znaczenie metali

Metale od niepamiętnych czasów stanowią podstawowe tworzywo konstrukcyjne cywilizacji ludzkiej. O wczesnym zastosowaniu i podstawowej roli jaką odegrały metale w gospodarce człowieka zdecydowały początkowo ich wyjątkowo przydatne własności użytkowe i technologiczne, a w wielu przypadkach również stosunkowo duża ich dostępność i łatwość otrzymywania. Do najważniejszych własności użytkowych, nadających metalom tak duże znaczenie praktyczne, zaliczyć należy w pierwszym rzędzie odporność na działanie różnego rodzaju i kombinacji sił oraz czynników fizyko-chemicznych i związaną z tym wybitną żywotność wyrobów metalowych oraz coraz częściej i szerzej ostatnio wykorzystywane specyficzne własności elektro-magnetyczne.

Do najważniejszych własności technologicznych, należy zaliczyć zdolność metali do tworzenia olbrzymiej ilości różnorodnych stopów oraz podatność na różnego rodzaju metody kształtowania i przeróbki, a zwłaszcza odlewania.

1.2. Eksploatacja i zastosowanie

Eksploatacja tworzyw metalowych ograniczona pierwotnie do metali szlachetnych /Au, Ag/, następnie do ich stopów oraz do metali i stopów półszlachetnych /Cu/, jeszcze później do metali i stopów niskotopliwych /Sn, Pb, Sb, Zn/, rozprzestrzeniła się w miarę postępu nauk i technik metalurgicznych kolejno na żelazo i inne metale wysokotopliwe oraz ich stopy /Ni, Cr, Mn, V, W, Mo itp./, metale wybitnie aktywne i ich stopy zwane też lekkimi /Al, Mg, Ti/, metale i stopy grupy tzw. ziem rzadkich itd., obejmując obecnie wszystkie rodzaje metali i ogromną ilość ich sto-

pów, a nawet wiele stopów metali z niemetalicznymi pierwiastkami. Zastosowanie tworzyw metalowych ograniczone początkowo przez długi czas do wyrobu ozdób, broni i narzędzi, rozprzestrzeniło się stopniowo na coraz to większą ilość różnorodnych urządzeń, maszyn, a nawet konstrukcji budowlanych, obejmujące obecnie wszystkie niemal wyroby i dziedziny działalności człowieka.

1.3. Zapotrzebowanie, zużycie i przeznaczenie

Konsekwentnym następstwem rozwoju cywilizacji, a zwłaszcza właściwej ostatnim czasem rewolucji społecznej, politycznej, kulturalnej, technicznej i ekonomicznej i związanej z tym eksplozji demograficznej, jest również intensywny wzrost zapotrzebowania na cechujące się dużą żywotnością wyroby przemysłowe, głównie maszyny, pojazdy i urządzenia oraz niezbędne do ich produkcji wysokojakościowe tworzywa, w tym również metale i ich stopy, w wielu przypadkach niezastąpione pod względem właściwości i możliwości eksploatacyjnych. Wzrost zużycia metali jest tak ściśle związany z postępem nauki i techniki, przemysłu i stopy życiowej społeczeństw, że wielkość zużycia tych metali przypadająca na głowę ludności stanowi podstawowe kryterium oceny stopnia cywilizacji i rozwoju gospodarczo-kulturalnego poszczególnych krajów.

1.4. Zasoby, deficyt i konieczność oszczędzania

Dysproporcje między szybkim tempem rozwoju przemysłu elektro-maszynowego i związanego z tym zapotrzebowania z jednej strony, oraz ograniczoną zasobowością złóż, znacznie wolniejszym rozwojem kopalnictwa i hutnictwa i związaną z tym wielkością zapasów i dostaw z drugiej strony, stwarzają szybko pogłębiający się ogólno-światowy deficyt tych metali i systematyczny, szybki wzrost ich cen. Problem ten jest tak poważny, że celem jego rozwiązania, względnie tylko złagodzenia, podejmuje się w wię-

kszości krajów świata bardzo poważne prace naukowo-badawcze oraz daleko-
idące kompleksowe udoskonalenia i zmiany techniczno-organizacyjne, mające
na celu zarówno zwiększenie dostaw jak i ograniczenie zużycia metali. Do
przedsięwzięć tych należą: intensyfikacja kopalnictwa złóż dotychczasow-
ych, intensyfikacja poszukiwań złóż nowych i eksploatacji niewykorzysty-
wanych do tej pory złóż uboższych, intensyfikacja hutnictwa i eksploata-
cja surowców wtórnych, udoskonalenia obrotu i gospodarki zapasami i wresz-
cie racjonalizacja użytkowania wyrobów i procesów technologicznych wy-
tworzenia. Mimo tych starań i znacznych nieraz efektów uzyskiwanych na
poszczególnych odcinkach, problem deficytu metali w większości krajów, a
między innymi w Polsce systematycznie się zaostrza i musi być ostatecz-
nie rozwiązywany na drodze importu znacznych nieraz ilości tych metali, ce-
wobec wysokiej ich ceny stanowi bardzo poważne dewizowo obciążenie i zde-
cydowanie ujemnie odbija się na gospodarce kraju.

Jak wynika z przytoczonych uprzednio krótkich ale znamiennych infor-
macji, wzrost zużycia metali jest nieuchronną konsekwencją postępu i roz-
woju cywilizacyjnego, to też nie można ani nie należy go ograniczyć w spo-
sób nieprzemysłany, jednakże ze względu na deficyt, koniecznością i celem
dobrze gospodarującego się społeczeństwa powinno być dążenie, aby zużycie
to było jaknajbardziej racjonalne, efektywne i oszczędne, tj. celowe, opła-
calne i połączone z maksymalnym wykorzystaniem, czyli maksymalnym uzys-
kiem i minimalnymi stratami.

1.5. Podstawowe czynniki decydujące o wielkości zużycia i możliwoś- ciach oszczędności metali w odlewnictwie

Udział odlewów w sumie zużycia metali jest tak poważny, że akcja
oszczędzania tych metali w przemyśle odlewniczym jest specjalnie celowa
i ważna dla gospodarki krajowej. Podstawowe aspekty akcji, mającej na ce-
lu racjonalne zmniejszenie zużycia metali w odlewnictwie, prowadzają się

do:

- 1/ racjonalnego projektowania konstrukcji odlewów
- 2/ racjonalnego doboru tworzyw
- 3/ racjonalnego doboru technologii odlewniczej.

W warunkach bogactwa możliwości współczesnej techniki i nauki w zakresie w/w problematyki decyzje produkcyjne uwzględniające w maksymalnym stopniu możliwości ograniczania, a zarazem oszczędności zużycia metali w odlewnictwie muszą być podejmowane na drodze optymalizacji możliwych wariantów rozwiązań, przy zastosowaniu jako kryterium wyboru, minimalnego zużycia tych metali w kolejności ich deficytowości, czyli wartości jednostkowych nakładów materiałowych. Określając bezwzględną wielkość zużycia metalu w produkcji odlewów $\sum w_z$, jako jego ilość niezbędną do utworzenia $\sum p$ wyrobów oraz pokrycia związanych z tym, nieuniknionych strat $\sum s^x$, wzorem:

$$\sum w_z = \sum p + \sum s \text{ kg} \quad /1/$$

oraz określając względną wielkość tego zużycia przypadającą na jednostkę ciężaru odlewów, czyli tzw. normę zużycia metalu wzorem:

$$N = \frac{\sum w_z}{\sum p} = 1 + \frac{\sum s}{\sum p} \text{ kg/kg odlewu} \quad /2/$$

wielkość wspomnianego kryterium - wskaźnika określającego wartość jednostkowych nakładów materiałowych w produkcji odlewów wyrazić można wzorem:

$$X = N \cdot C = /1 + \frac{\sum s}{\sum p} C^5/ \text{ zł/kg odlewu} \quad /3/$$

gdzie: C - cena jednostkowa metalu w zł/kg.

Czynniki decydujące o wielkości produkcji $\sum p$, strat i naddatków materiału $\sum s$ oraz cena materiału C , zależą w znacznej mierze od rodzaju tworzywa wytypowanego przez konstruktora-projektanta odlewów.

^{x/} $\sum s$ - oznacza sumę strat technologicznych i naddatków obróbczych

2. Zasady racjonalnej specyfikacji tworzyw do produkcji odlewów

Mimo wielkiego znaczenia tak dla przemysłu odlewniczego, jak i dla całokształtu gospodarki narodowej, problem racjonalnego doboru tworzyw do produkcji odlewów w ogólności, a deficytowych odlewów z metali nieżelaznych w szczególności nie doczekał się do tej pory ścisłego - metodycznego opracowania i rozwiązywany jest każdorazowo i dorywczo w sposób nie zawsze właściwy, a często nawet na drodze czysto administracyjnej.

W ostatnich czasach popularna stała się metoda oszczędności metali, realizowana drogą szerokiego stosowania tzw. stopów zamiennych, polegająca na zastępowaniu tradycyjnie stosowanych stopów innymi tworzywami tańszymi, przy czym brane są tutaj pod uwagę nie tylko mniej deficytowej stopy tych samych co do tej pory metali, lecz również stopy całkowicie odmienne, a nawet tworzywa niemetaliczne. Słuszna ta idea daje dobre rezultaty, jeżeli jest racjonalnie stosowana, tzn. wówczas, gdy tworzywa zamiennie są nie tylko tańsze od zastępowanych, ale przy tym co najmniej jakościowe równorzędne lub nawet lepsze, na co składa się cały szereg specyficznych własności obu tworzyw i warunków ich przyszłej eksploatacji. W wyniku tego, racjonalny dobór, czyli specyfikacja eksploatacyjna tworzyw, jest problemem złożonym i skomplikowanym, wymagającym uwzględnienia wielu czynników i różnorodnych informacji oraz ich właściwej interpretacji. Postępowanie mające na celu racjonalną specyfikację tworzywa, uwzględniające wszystkie aspekty zagadnienia powinno mieć charakter kompleksowy i składać się z szeregu kolejnych etapów.

2.1. Założenia, warunki i wymagania eksploatacyjne

Pierwszym etapem, a zarazem podstawą działania w tym względzie jest ścisłe sprecyzowanie i gruntowna znajomość warunków pracy tworzywa w postaci projektowanego odlewu i wynikających stąd wymagań eksploatacyjnych, a więc informacji na temat jego kształtu, wymiarów i warunków pracy. Dane

te określone być muszą ściśle, liczbowo, możliwie w formie prostych i znanych wskaźników i pojęć reprezentujących stopień nasilenia wchodzących w grę fizykochemicznych czynników niszczących. Sprecyzowanie tego stopnia w sposób ścisły i porównywalny z danymi literatury, sprawia szczególną trudność praktyczną. Ze względu na wielką ilość i różnorodność mogących wchodzić w grę czynników, a jeszcze większą ilość możliwych ich kombinacji, określenie tych warunków jako sumy wpływu poszczególnych czynników jest rzeczą bardzo trudną, nie mniej jednak konieczną i mającą kardynalne znaczenie dla trafności podjętych decyzji.

Na podstawie tych informacji powstaje zespół wymagań-założeń eksploatacyjnych, którym odpowiadać powinno poszukiwane tworzywo.

2.2. Kryteria oceny przydatności

Drugim elementem doboru jest sprecyzowanie kryteriów oceny, tj. wymagań-wskaźników, sprawdzających przydatność tworzywa do pracy w założonych warunkach. Jest to również problem do tej pory nie ustalony w sposób ścisły ze strony naukowej i rozwiązywany zazwyczaj na podstawie doświadczenia. Pomocą w doborze odpowiednich kryteriów dla poszczególnych warunków pracy może służyć schemat podany w tablicy 1.

Schemat ten przedstawia tylko sytuacje proste, w których decydującą rolę odgrywa tylko jeden z czynników niszczących, może być jednak pomocą w opracowaniu podobnych schematów więcej złożonych uwzględniających kombinację równoczesnego wpływu kilku prostych czynników.

W takich przypadkach ilość kryteriów oceny musi być odpowiednio większa.

2.3. Selekcja tworzyw

Trzecim elementem doboru jest selekcja tworzyw spełniających uprzednio sprecyzowane wymagania. Przeprowadza się ją na drodze porównania włas-

ności poszczególnych tworzyw, ustalonych empirycznie i w warunkach standardowych, z wymaganiami przyszłych warunków pracy wyrobu, określonych założeniami eksploatacyjnymi i kryteriami ich oceny.

T a b l i c a 1

Schemat precyzowania wymagań eksploatacyjnych i związanych z tym kryteriów oceny jakości odlewów, na podstawie warunków pracy i związanych z tym czynników niszczących

Lp.	Czynniki niszczące	Wymagania eksploatacyjne	Kryteria oceny jakości
A	Obciążenia mechaniczne /ogólnie/	Wysokie własności mechaniczne	Poszczególne własności mechaniczne
B	Ciśnienie hydrauliczne i pneumatyczne	Duża zwartość struktury	Szczelność, ciężar właściwy
C	Ścieranie	Dobre własności łożyskowe	Współczynnik tarcia, ubytki masy
D	Zmiany temperatury	Stabilność własności mechanicznych	Stabilność poszczególnych własności przy zmianie temperatury
E	Przepływ prądu elektrycznego	Wysokie przewodnictwo elektryczne i cieplne	Przewodność lub oporność właściwa
F	Korozja /ogólnie/	Duża odporność chemiczna	Ubytki masy, głębokość wżerów

Przykład stosowania schematu w złożonych przypadkach praktycznych:

1/ Śruby okrętowe - A+C+F

3/ Armatura chemiczna - B+F

2/ Tłoki silników spalinowych - A+B+C+D

4/ Łożyska przewodzące prąd C+E+F

Przeprowadzenie tego rodzaju porównań nastrocza z zasady poważne kłopoty, ze względu na trudność utożsamiania warunków praktycznych ze standardowymi warunkami stosowanymi przy ustaleniu wskaźników jakości analizowanych tworzyw. Często brak jest również odpowiednich informacji na temat interesujących wskaźników jakości tworzyw, względnie są one zbyt szczupłe, niekompletne lub też nie obejmują interesujących zakresów i wymagają ekstra - względnie interpelacji. Z tych względów w wielu przy-

padkach bierze się pod uwagę tylko niektóre, z ważniejszych wskaźników jakości tworzyw.

Tęgo rodzaju porównanie prowadzi na ogół do wyboru szeregu tworzyw różniących się stopniem przydatności w stosunku do założeń eksploatacyjnych. Stopień ten wyrażać się może jednym lub wieloma wskaźnikami. Najkorzystniejszą jest, gdy można go wyrazić żywotnością wyrobu w danych warunkach pracy.

2.4. Kalkulacja kosztów produkcji

Czwartym elementem specyfikacji tworzyw jest określenie sumy bezpośrednich kosztów produkcji związanych z zastosowaniem w produkcji danego wyrobu z wytypowanych uprzednio najkorzystniejszych tworzyw i optymalnej dla każdego z nich technologii przeróbki.

Problem ten wymaga gruntownej znajomości właściwości technologicznych danego tworzywa i jego metod przeróbki oraz znajomości wielkości zużycia i cen jednostkowych poszczególnych nakładów produkcyjnych, co znowu wiąże się z zagadnieniem normowania zużycia nakładów i kosztów produkcji.

2.5. Optymalizacja wariantów

Piątym i ostatnim etapem specyfikacji jest wybór najkorzystniejszych wariantów produkcji wyrobu z poszczególnych tworzyw przy założeniu kryterium oceny w postaci ilorazu

$$V = \frac{E}{X}$$

gdzie: E - efekt uzyskany w wyniku zastosowania danego tworzywa,

X - koszty związane z uzyskaniem w/w efektu, przypadające na jednostkę objętości wyrobu.

Wielkość E wyrażać najlepiej jako żywotność eksploatacyjną wyrobu w jednostkach czasu, względnie przy pomocy wskaźników jakości proporcjonalnych do tej żywotności, wyrażonych w jednostkach naturalnych /np. R_m w

kg/mm², ubytki masy w g/m³ itp./.

W przypadkach złożonych, gdy założenia eksploatacyjne i kryteria oceny wyrażone są kilkoma wskaźnikami /patrz uwaga do tablicy 1/ wówczas wielkość efektu eksploatacyjnego E wyrazić można jako funkcję złożoną tych wskaźników, wyrażającą w odpowiedni sposób proporcje ich znaczenia. Mogą to być znane i stosowane często w praktyce, stosunkowo proste wyrażenia, jak np.:

$$E = R_m + 3 A_5 \quad \text{lub} \quad E = \frac{R_m + A_5}{H_B} \quad \text{itp.,}$$

więcej złożone, np. typu:

$$E = a \lambda + b \mu + c u + \dots$$

oraz bardzo skomplikowane, wnikające matematycznie wiele różnych wskaźników. W razie braku w literaturze tego rodzaju wzorów, stosować można tzw. sumaryczny wskaźnik przydatności materiału /ΣV/, którego obliczenie wyjaśnia poniższy schemat:

Stopy	Elementarne wskaźniki przydatności stopów /wartości względne %/							
	V ₁	V ₂					V _n	ΣV
M1	V ₁₁	V ₂₁					V _{n1}	ΣV ₁
M2	V ₁₂							ΣV ₂
Mr	V _{1n}						V _{nn}	ΣV _n

oraz wzory: $\Sigma V_1 = a_1 V_{11} + a_2 V_{21} + \dots + a_n V_{n1}$

$$\Sigma V_2 = a_1 V_{12} + a_2 V_{21} + \dots + a_n V_{n2}$$

$$\Sigma V_n = a_1 V_{1n} + a_2 V_{2n} + \dots + a_n V_{nn}$$

gdzie: a₁, a₂ a_n = współczynniki, wyrażające proporcję znaczenia /waga/ przywiązywanego do własności stopów, reprezentowanych przez odpowiednie wskaźniki /V₁, V₂ V_n/

oraz V_1, V_2, \dots, V_n = elementarne wskaźniki przydatności stopów tworzone w opisany uprzednio sposób jako ilorazy efektów eksploatacyjnych oraz kosztów produkcji, wyrażonych w % w odniesieniu do najwyższej wartości danego wskaźnika jako 100 %.

Wielkość kosztów produkcji X , występująca w w/w wzorach i wskaźnikach, wyrażać należy w jednostkach wartości /zł/, przypadających na jednostkę objętości wyrobu, zgodnie ze wzorem:

$$X = X_1 \cdot \gamma \text{ zł/dcm}^3$$

gdzie: γ - ciężar właściwy tworzywa w kg/dcm^3

$$X_1 = N \cdot C + \sum_{i=1}^{i=m} N_i \cdot C_i \text{ zł/kg jednostkowe koszty bezpośrednie}$$

oraz $N = \frac{100}{P \cdot R} \text{ kg/kg /norma zużycia materiałów podstawowych/}$

$$N_i = n_i \cdot t \cdot N \cdot R \text{ kg/kg /norma zużycia nakładów pozamateriałowych/}$$

gdzie: P - uzysk jednorazowy odlewów w %

R - wskaźnik wielokrotności przerobu materiałów

t - wskaźnik stopnia rozwinięcia kształtu odlewów

n_i - normatyw zużycia nakładu pozamateriałowego.

Dokładny opis obliczania kosztów produkcji odlewów podane w pracy Instytutu Odlewnictwa nr 3894-TM z 1966 r. oraz w nr 11 miesięcznika "Organizacja - Samorząd - Zarządzenie" z 1967 r. Porównanie obliczonych w powyższy sposób wskaźników zezwala na wybór tworzywa najkorzystniejszego równocześnie pod względem użytkowym, technologicznym i ekonomicznym.

Opisana metoda specyfikacji daje tym lepsze i ściślejsze wyniki, im trafniej i dokładniej sprecyzowane zostaną obydwie czasy kryterium V . Zebranie informacji i przeprowadzenie niezbędnych do tego celu porównań jest na ogół bardzo pracochłonne i kosztowne i wymaga współpracy użytkownika, konstruktora, materiałoznawcy, technologa i ekonomisty, którzy w

dotadku posługiwać się muszą porównywalnymi pojęciami, kryteriami i wskaźnikami oceny, co jak wiadomo w praktyce jest trudne do realizacji i często okazuje się nieopłacalne, względnie nawet niewykonalne. W takich przypadkach dokonuje się doboru tworzywa na zasadach uproszczonych, biorąc pod uwagę tylko najistotniejsze elementy efektów i kosztów oraz upraszczające założenia i kryteria oceny. Postępowanie takie jakkolwiek prostsze i łatwiejsze, jest jednak nieściśle i prowadzić może do decyzji nieoptymalnych, a nawet obciążonych dużym błędem, to też stosowane być powinno tylko w sytuacjach wyjątkowych.

Szczególnie potrzebne jest przeprowadzenie pełnej analizy racjonalnego doboru tworzywa w przypadkach planowania produkcji wielkoseryjnej i wielotonażowej, kiedy to ewentualne błędy i ich konsekwencje sumują się i przybrać mogą szczególnie duże rozmiary.

Принципы рационального отбора материала
для отливок

Р е з ю м е

Несмотря на решающее влияние рода материала, от которого зависят качество, производственные издержки и эксплуатационный эффект изделий, вопрос спецификации материалов по-прежнему остаётся неразрешённым не-точно и ненаучно. Поэтому не всегда правильно его решают. Рациональным методом отбора и критерием оценки пригодности материала для отливок надо считать принцип максимального эффекта, то есть качества и эксплуатационной долговечности отливок в условиях минимальных затрат, это значит при минимальных производственных и эксплуатационных издержках.

Желая провести спецификацию, необходимо учесть все решающие в этой области факторы, причём надо выполнить нижеследующее: определить эксплуатационные условия и требования, определить критерий оценки пригодности материала в вышеназванных условиях, элиминировать материалы отвечающие вышеназванным критериям, определить издержки связанные с переработкой материала при изготовлении отливок по различным технологиям, подобрать самый выгодный вариант "материал-технология".

Приведённые схемы, формулы и примеры наглядно доказывают, что осуществление вышесказанного вполне реально и несложно. Результаты исчисляются отличные.

Principles of the rational choice
of casting material

S u m m a r y

In spite of the decisive influence of the kind of a material upon the quality, production costs and effects of the exploitation of products, the problem of specifying the most advantageous material for casting has not been exactly and scientifically settled so far, being solved only haphazardly and not always in the

most proper way. A rational method of selection and a suitable criterion of evaluating the adaptability of some material for the purpose of casting should consist in the criterion of the maximum effect, i.e. the quality and durability of castings at a normal outlay, i.e. at normal costs of production and exploitation. Thus the procedure of specification should take into account all the factors which are of some importance in this respect, and it should comprise the following elements : determination of the conditions and requirements of exploitation ; determination of criteria of evaluating the adaptability of the material in those conditions ; elimination of those materials that meet the criteria mentioned above ; determination of the costs of processing the chosen materials into castings according to various technologies ; selection of the most advantageous variant of "material and technology".

The paper presents diagrams, formulae and examples, which prove that it is possible to follow the principles set out in the paper, realising them by comparatively easy means and obtaining very good results.