

Krzysztof Mrozek, Andrzej Gessner ¹⁾

OPTIMALIZACJA NADDATKÓW OBRÓBKOWYCH WIELKOGABARYTOWYCH ODLEWÓW ŻELIWNYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę optymalizacji naddatków obróbkowych wielkogabarytowych odlewów żeliwnych. Jako kryterium optymalizacyjne przyjęto minimalizację objętości zebranego materiału. Na wielkość skrawanych naddatków ma wpływ przede wszystkim: wartość przyjętych naddatków odlewniczych, dokładność wykonania odlewu oraz proces technologiczny obróbki, w którym najważniejszym elementem jest odpowiedni dobór pomocniczej i zasadniczej bazy obróbkowej. W zależności od odlewni i sposobu wykonania odlewy mogą różnić się między sobą w znacznym stopniu. Powoduje to, że w przypadku zmiany dostawcy lub nawet podczas kolejnej partii odlewów z tego samego źródła może istnieć konieczność opracowania nowej dokumentacji technologicznej. Zmniejszenie ilości wiórów niesie ze sobą przede wszystkim mniejsze zużycie energii, ograniczenie pracochłonności obróbki oraz redukcję zużycia narzędzi, co bezpośrednio przekłada się na niższy koszt wytworzenia. W opracowaniu przedstawiono wyniki symulacyjnych badań optymalizacyjnych naddatków obróbkowych trzech odlewów wielkogabarytowych o różnym stopniu skomplikowania. Posłużono się w nich parametryzacją i wzajemnymi powiązaniem geometrycznymi naddatków obróbkowych, które podzielono na trzy grupy kierunkowe (zgodne z osiami kartezjańskiego układu współrzędnych). Analiza miała za zadanie pokazać różnice objętościowe zebranego materiału między istniejącym procesem technologicznym części oraz procesem zoptymalizowanym.

Słowa kluczowe: naddatek obróbkowy, odlewy żeliwne, optymalizacja.

WSTĘP

Współcześnie produkowane obrabiarki oparte są głównie na korpusach żeliwnych, polimerobetonowych oraz stalowych spawanych [5]. Te ostatnie charakteryzują się znacznie mniejszą masą przy zachowaniu tej samej sztywności w porównaniu z innymi rozwiązaniami, co wynika z wysokiego modułu sprężystości stali (ok. 210GPa). Ich wadą jest stosunkowo duża pracochłonność wykonania oraz mała wartość logarytmicznego dekrementu tłumienia. Największą zdolność do tłumienia drgań wykazują konstrukcje polimerobetonowe, których logarytmiczny dekrement tłumienia jest około 10-krotnie większy niż dla żeliwa szarego [1]. Odlewy polimerobetonowe charakteryzują się także wysoką stabilnością cieplną (4 do 5 razy większa stabilność cieplna niż żeliwo), jednakże z uwagi na

¹⁾ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn.

ich ograniczenia obróbkowe w trakcie wykonywania odlewu muszą być one formowane na gotowo.

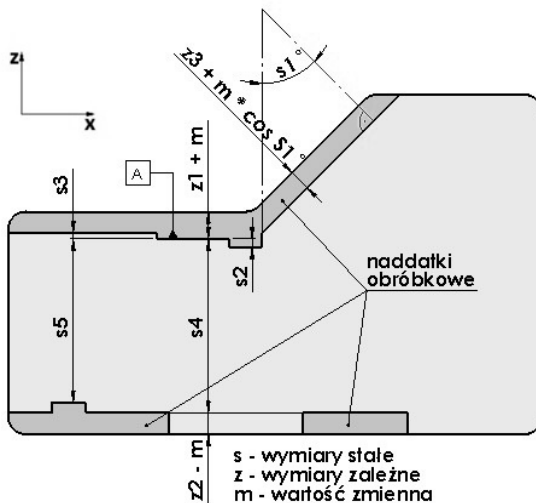
Ze względów ekonomicznych najczęściej stosowaną grupą korpusów są odlewy żeliwne [2]. Przy stosunkowo niskim koszcie produkcji posiadają one szereg zalet:

- dobra skrawalność, co pozwala na wprowadzanie zmian technologicznych już po wykonaniu odlewu,
- wysoka wartość logarytmicznego dekrementu tłumienia, co przekłada się na dobre własności dyssypatywne korpusu,
- możliwość uzyskania skomplikowanych kształtów.

Odlewy wielkogabarytowe wykonywane są w formach piaskowych i wymagają wprowadzenia naddatków, których wartość zależy od technologii wykonawcy. Projektowanie technologii korpusów odlewanych jest trudnym i wymagającym dużego doświadczenia zagadnieniem [4]. Przedstawione w niniejszym opracowaniu modele często wymagają stosowania dużej liczby rdzeni i zaprojektowania skomplikowanej formy, zatem większe wartości naddatków odlewniczych dają większe prawdopodobieństwo wykonania poprawnego korpusu jednakże zwiększają przy tym pracochłonność obróbki oraz zużycie narzędzi.

KRYTERIUM OPTIMALIZACJI

W pracy podjęto problematykę optymalizacji naddatków obróbkowych wielkogabarytowych odlewów żeliwnych. Celem optymalizacji jest zmniejszenie objętości warstwy skrawanej, a co za tym idzie ograniczenie pracochłonności obróbki, ograniczenie wykorzystania energii oraz redukcję zużycia narzędzi. Przekłada się to bezpośrednio na spadek kosztów wytworzenia gotowego korpusu [3].



Rys. 1. Przekrój odlewu z oznaczeniem bazy i naddatków obróbkowych oraz niektórych wymiarów

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy przekrój odlewu z oznaczonymi ciemniejszym kolorem naddatkami obróbkowymi. W opracowaniu skupiono się na trzech odlewach wielkogabarytowych o różnym stopniu skomplikowania. Ich naddatki podzielono na trzy grupy kierunkowe (zgodne z osiami kartezjańskiego układu współrzędnych), sparametryzowano oraz wzajemnie powiązano geometrycznie. Wraz ze zmianą parametru m zmienia się położenie bazy obróbkowej. Przekłada się to na powierzchnie przekrojów tych naddatków, a więc również na ich objętość i masę. Przykład ten pokazuje jak ważny jest odpowiedni dobór baz. Na wartość naddatków obróbkowych ma również wpływ wielkość naddatków odlewniczych oraz dokładność i przyjęta technologia wykonania odlewu.

METODY OPTIMALIZACYJNE

W celu minimalizacji naddatków obróbkowych wykorzystano metodę przeszukiwania lokalnego. Jest to jeden z najczęściej stosowanych sposobów optymalizacji polegający na analizie całego otoczenia bieżącego rozwiązania oraz zastąpieniu go rozwiązaniem osiągalnie najlepszym [6] (w tym przypadku rozwiązaniem najlepszym jest minimalna objętość naddatków obróbkowych), gdzie jako sąsiedztwo N rozwiązania x rozumie się:

$$N(V_1) = \{V_2 \in S : \text{dist}(V_1, V_2) \leq \varepsilon\}, \varepsilon = f(m) \quad (1)$$

gdzie:

V_1 – rozwiązanie bieżące (objętość wyjściowa),

V_2 – rozwiązanie sąsiednie (objętość sąsiednia),

S – zbiór wszystkich rozwiązań,

N – sąsiedztwo,

ε – różnica rozwiązań,

zaś każde rozwiązanie $V_2 \in N(V_1)$ jest rozwiązaniem sąsiednim.

Nowe rozwiązanie generowane jest za pomocą funkcji sąsiedztwa poprzez wprowadzenie losowej zmiany w istniejącym rozwiązaniu:

$$V_2 = P_1 \cdot (B + \text{rand} \cdot m), V_1 = P_1 \cdot B \quad (2)$$

gdzie:

rand – wartość losowa z przedziału $(0;1)$,

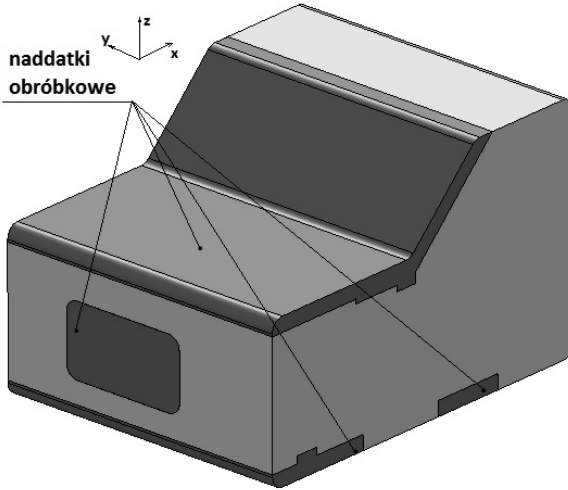
m – parametr,

P_1 – pole powierzchni,

B – wymiar naddatku.

Mając określony zbiór wszystkich możliwych objętości naddatków obróbkowych dokonujemy wyboru rozwiązania optymalnego dla rozpatrywanego kierunku.

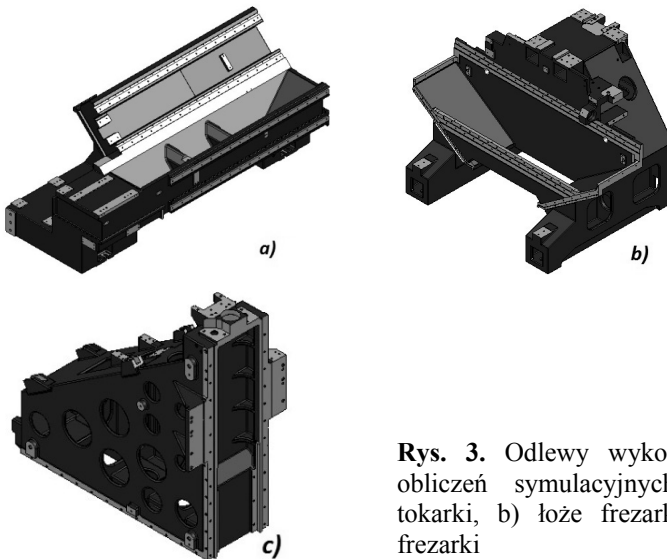
Całkowita objętość naddatków obróbkowych przedstawia się jako suma objętości naddatków zbieranych w trzech osiach zgodnych z osiami kartezjańskiego układu współrzędnych (rys. 2).



Rys. 2. Przekrój odlewu z oznaczonymi naddatkami obróbkowymi

PRZEBIEG OPTIMALIZACJI GRUPY ODLEWÓW WIELKOGABARYTOWYCH O RÓŻNYM STOPNIU SKOMPLIKOWANIA

W zakresie opracowania przeprowadzono symulacyjne badania optymalizacyjne dla trzech modeli teoretycznych odlewów wielkogabarytowych stosowanych w obrabiarkach CNC (rys. 3), które to opracowano na podstawie rysunków konstrukcyjnych. Doboru analizowanych odlewów dokonano w taki sposób, aby różniły się one stopniem skomplikowania oraz masą, co pozwoliło na uzyskanie bardziej uniwersalnych wyników oraz oszacowanie możliwości optymalizacyjnych dla odlewów o masie z przedziału od 350 do 1700 kg.



Rys. 3. Odlewy wykorzystane do obliczeń symulacyjnych: a) łożo tokarki, b) łożo frezarki, c) sanie frezarki

Tabela 1. Obliczenia optymalizacyjne naddatków obróbkowych łoża tokarki w kierunku osi y dla parametru $m = 0$

Kierunek	Nr powierzchni	Powierzchnia [mm ²]	Naddatek (norm.) [mm]	Objętość [mm ³]	Masa [kg]
y	21	15652	5 + m	78260	0,563472
m = 0	22	20637	6 + m	123822	0,8915184
	23	22437	5 + m	112185	0,807732
	24	15652	5 + m	78260	0,563472
	25	62133	5 – m	310665	2,236788
	26	9426	5 – m	47130	0,339336
	27	9543	5 – m	47715	0,343548
	28	36155	6 – m	216930	1,561896
	29	40575	5 – m	202875	1,4607
	30	3995	5 – m	19975	0,14382
	31	5254	6 – m	31524	0,2269728
	32	180204	5 – m	901020	6,487344
	33	149606	14 – m	2094484	15,0802848
	34	56455	26 – m	1467830	10,568376
	35	10740	24 – m	257760	1,855872
	36	19865	5 – m	99325	0,71514
Suma:		658329		6089760	43,846272

Dla każdego modelu wykonano pomiar powierzchni obrabianych w kierunkach zgodnych z kierunkami osi kartezjańskiego układu współrzędnych oraz pomnożono je przez wartości normatywnych naddatków obróbkowych w wyniku czego otrzymano ich objętość. W przypadku powierzchni nieprostokątnych uwzględniono ich pochylenie katowe. Następnie naddatki obróbkowe zmodyfikowano o losową wartość parametru m (rys. 1) zawierającą się w ustalonym wcześniej przedziale.

Dla każdego kierunku parametr ten wyznaczany był indywidualnie. Czynność tą powtarzano w celu znalezienia możliwie najniższej objętości usuwanego materiału. Do obliczeń wykorzystano arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel (przykładowe obliczenia dla odlewu łoża tokarki przedstawiono w tabeli 1).

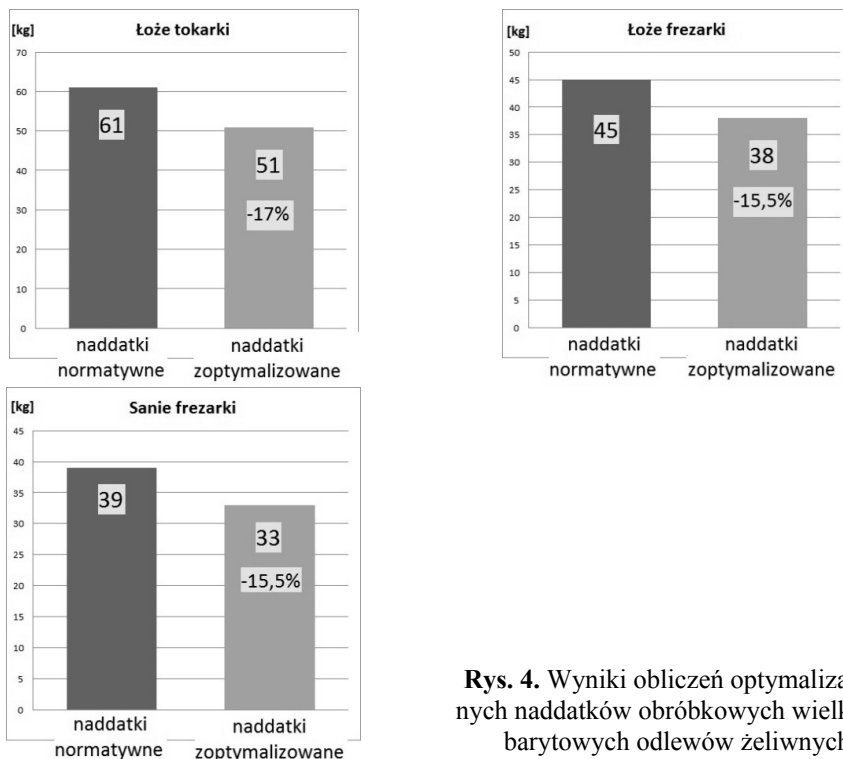
Tabela 2. Obliczenia optymalizacyjne naddatków obróbkowych sań osi Z w kierunku osi y dla parametru $m = 2$

Kierunek	Nr powierzchni	Powierzchnia [mm ²]	Naddatek (norm.) [mm]	Objętość [mm ³]	Masa [kg]	
y	21	15652	5 + m	109564	0,7888608	
m = 2	22	20637	6 + m	165096	1,1886912	
	23	22437	5 + m	157059	1,1308248	
	24	15652	5 + m	109564	0,7888608	
	25	62133	5 - m	186399	1,3420728	
	26	9426	5 - m	28278	0,2036016	
	27	9543	5 - m	28629	0,2061288	
	28	36155	6 - m	144620	1,041264	
	29	40575	5 - m	121725	0,87642	
	30	3995	5 - m	11985	0,086292	
	31	5254	6 - m	21016	0,1513152	
	32	180204	5 - m	646173,06	4,652446026	
	33	149606	14 - m	1882909,2	13,55694599	
	34	56455	26 - m	1387990,6	9,993532128	
	35	10740	24 - m	242571,35	1,746513694	
	36	19865	5 - m	71231,648	0,512867863	
	Suma:		658329		5314810,8	38,2666377

ZESTAWIENIE WYNIKÓW OPTIMALIZACJI NADDATKÓW OBRÓBKOWYCH

W tablicy 1 i 2 przedstawiono porównanie obliczeń oraz wyników optymalizacji naddatków obróbkowych łoża tokarki w kierunku osi y odpowiednio dla parametrów $m=0$ oraz $m=2$. Uzyskano wyraźną różnicę masy naddatków (ponad 5,5kg), dzięki przesunięciu bazy obróbkowej w kierunku osi y o wartość -2mm.

Wyniki obliczeń optymalizacyjnych sumarycznych dla wszystkich osi przedstawiono za pomocą wykresów (rys. 4). Na ich podstawie wywnioskować można, iż modyfikacje optymalizacyjne dla rozważanych modeli odlewów przyniosły skutek pozytywny.



Rys. 4. Wyniki obliczeń optymalizacyjnych naddatków obróbkowych wielkogabarytowych odlewów żeliwnych

Redukcja objętości naddatków obróbkowych wyniosła odpowiednio od 15,5% do 17%, co bezpośrednio przełoży się na ograniczenie pracochłonności oraz zużycia narzędzi i energii. Niniejsze opracowanie pokazuje, że zagadnienie optymalizacji naddatków obróbkowych jest wartym podjęcia kolejnych badań i weryfikacji praktycznej.

REFERENCES

1. Cortes F., Castillo G.: Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron for machine tool applications. "Materials and Design" 2007, Vol. 28, p. 1461-1466.
2. Matusiak-Szafraniec A.: Analiza konstrukcyjna i technologiczna korpusów maszyn i urządzeń technicznych. „Archives of Mechanical Technology and Automation” 2007, Vol. 27, p. 121-129.
3. Żywicki K., Pająk E.: Analiza kosztów obróbki z wykorzystaniem sieci CPM. „Archives of Mechanical Technology and Automation”, 2004, Vol. 24, p. 233-242.
4. Feld M.: Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn. Warszawa, WNT, 2000.
5. Honczarenko J.: Obrabiarki sterowane numerycznie. Warszawa, WNT, 2008.

7. Michalewicz Z., Fogel D. B.: How to solve it: Modern Metaheuristics, Berlin, Springer Verlag, 2000.

OPTIMIZATION OF MACHINING ALLOWANCES OF LARGE-SIZE IRON CASTINGS

Summary

The article presents problems of machining allowances optimization of large-size iron castings. As the optimization criterion chips volume is admitted. There are a few factors that influence the chips volume: casting accuracy, casting allowances and manufacturing process in which machining datum surface and allowances selection are the most important. Castings may be different in a certain extent and that's conditioned by foundry technology and there is necessity to improve documentation of production technology when supplier changes. Mass reduction of chips results in lower energy consumption, labor consumption and lowering of tools wear most of all. The effect is lowering the production cost directly. In the study the simulation research results of machining allowances optimization of three large-size castings of different complexity are presented. In simulations parameterization and geometrical mutual connections of machining allowances were used. The machining allowances were divided in three directional groups (cartesian co-ordinate system compatible). The analysis was to show the differences of the chips volume between existing and optimal technological process.

Keywords: machining allowances, iron casting, optimization.