

# Specyfika procesu wytwarzania elementów o dużych gabarytach

JOACHIM GRÜNDER, MACIEJ MATUSZEWSKI, PETER OTTO, MICHAŁ STYP-REKOWSKI \*

W artykule przedstawiono specyficzne cechy procesu produkcyjnego elementów o dużych gabarytach. Wskazano cechy specyficzne obróbki dużych elementów. Wnioski sformułowano na podstawie własnych badań autorów: eksperymentalnych i analitycznych.

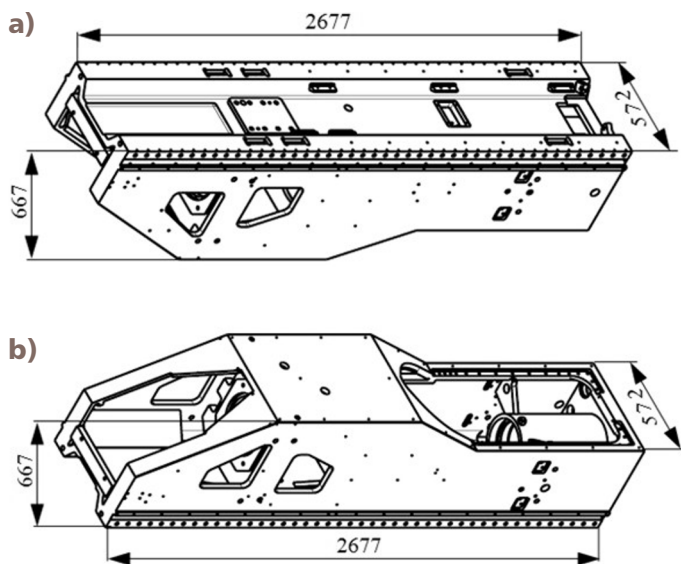
## WPROWADZENIE

Jednoznacznej definicji która pozwalałaby zakwalifikować dany element do grupy wielkogabarytowych w literaturze źródłowej nie znaleziono. Są pewne propozycje w tym zakresie, np. [1], lecz nie stanowią one obowiązującej zasady. W wymienionej pracy przyjęto, że jako element wielkogabarytowy uznaje się taki, którego wszystkie trzy wymiary gabarytowe (długość, szerokość i wysokość) są większe niż 0,5 m. W szczególnych warunkach, np. dla elementów typu płyta lub tarcza, a więc elementów nie spełniających podstawowego kryterium, gdyż jeden z ich gabarytów jest zazwyczaj mniejszy niż 500 mm, przyjmuje się dodatkowo że powinno spełnione być drugie kryterium – objętościowe, tzn. że  $V > 0,125 \text{ m}^3$ .

Przedstawiony na rys. 1 korpus, będący obiektem opisanych w dalszej części artykułu badań, spełnia zatem obydwa kryteria. Należy przy tym zauważyć, że jego masa przed obróbką wynosiła ok. 1,0 Mg.

Dwa wymienione czynniki (gabaryty i masa) powodują, że proces wytwórczy elementów wielkogabarytowych (EWg) charakteryzuje się pewną specyfiką, nie obserwowaną podczas wytwarzania elementów o mniejszych wymiarach – standardowych.

\* Prof. Dr-Ing. Joachim Gründer, prof. Dr-Ing. Peter Otto – Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden, Germany, dr hab. inż. Maciej Matuszewski – Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania, prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski – Bydgoska Szkoła Wyższa, m.styprekowski@wp.pl.

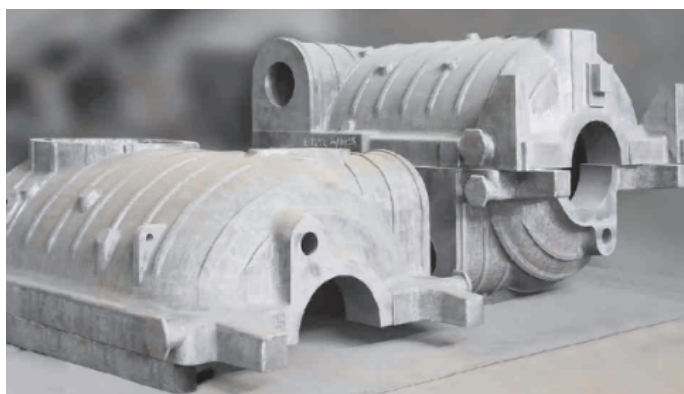


Rys. 1. Postać konstrukcyjna i nominalne wymiary gabarytowe korpusu obrabiarkowego: a) widok z góry (pozycja pracy), b) widok z dołu

W tym miejscu można zauważyć, że pewnych elementów specyficznych można uniknąć już na etapie konstruowania, np. podzielić jeden duży element na kilka mniejszych. Długi jednolity wał można na przykład zastąpić wałem składającym się z kilku elementów. Często także korpusy wykonuje się w wersji dzielonej – rys. 2. W przypadku korpusu dzielonego przez osie główne – rys.2a, korzyści występują, przed



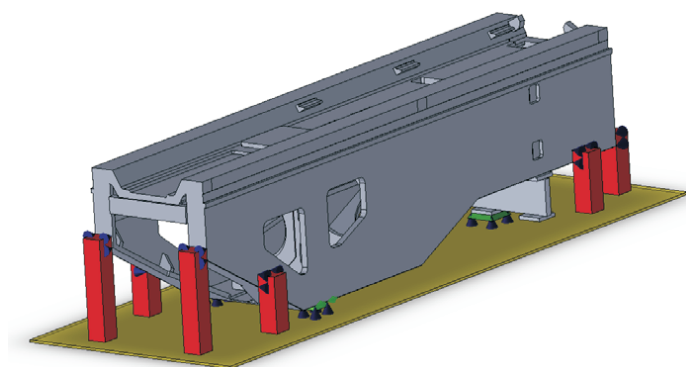
a)



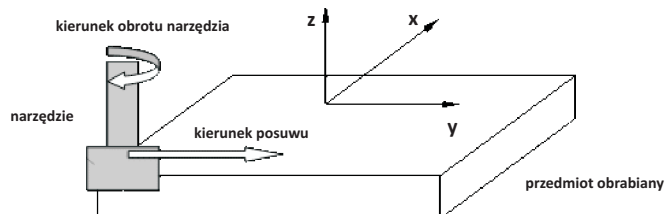
b)



Rys. 2. Przykłady korpusów dzielonych: a) z płaszczyzną podziału przechodzącą przez osie głównych otworów, b) zamykanego pokrywą



Rys. 3. Jeden z wariantów podparcia modelu korpusu podczas obróbki



Rys. 4. Układ współrzędnych przyjęty w badaniach oraz uwzględnione w nich wielkości

wszystkim s zakresie transportu, natomiast w drugim przykładzie – korpusu zamykanego pokrywą rys. 2b, korzyści polegają na łatwiejszym montażu. Należy jednak zauważyć, że każdy podział może stanowić przyczynę dodatkowych niedokładności wzajemnego usytuowania łączonych elementów, a także pogorszenia sztywności elementu złożonego, w porównaniu do elementu jednolitego.

Dla elementów, dla których wymagana jest dokładność rzędu kilku mikrometrów, wspomniane czynniki stanowią istotne ograniczenie. Przykładem takich elementów może być korpus obrabiarek precyzyjnych do dużych elementów, charakteryzujących się dokładnością rzędu kilku mikrometrów [2]. W tym przypadku wymagane dokładności są znacznie mniejsze niż zawarte w normach dla poszczególnych zakresów pomiarowych pola tolerancji i graniczne odchyłki [3 ÷ 5].

### ODKSZTAŁCENIA PODCZAS OBRÓBKĘ

Znaczny ciężar obrabianego elementu o dużych gabarytach w połączeniu z niezbyt dużą jego sztywnością powoduje, że zagadnienie poprawnego jego podparcia podczas obróbki nabiera szczególnego znaczenia. Sposób podparcie jest także istotny podczas pomiarów sprawdzających rezultaty obróbki.

W celu określenia wpływu wspomnianych czynników na dokładność obróbki przeprowadzono badania symulacyjne. Przyjęto w nich kilka wariantów podparcia modelu korpusu. Jeden z nich, wg wstępnej oceny – najlepszy, przedstawiono na rys. 3.

Uwzględniono w nim zarówno siły wynikające z ciężaru własnego korpusu, jak również jego postać konstrukcyjną i układ wymiarów determinujące możliwości usytuowania podpór.

Analityczne badania symulacyjne miały na celu określenie takiego rozmieszczenia podpór, przy którym odkształcenia będą najmniejsze, a jednocześnie możliwie równe.

### Warunki badań

Wpływ parametrów obróbki na wartości maksymalnych sił występujących w procesie frezowania badano w warunkach laboratoryjnych na frezarskim centrum obróbkowym Hurco VMX 30t. Generowane siły skrawania determinują sztywność układu OUPN, która z kolei ma bezpośredni wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową obróbki, a także na stan struktury geometrycznej obrabianej powierzchni. Analizowano trzy składowe siły skrawania, w osiach: x, y i z – rys. 4.

Obrabianym elementem był korpus wykonany ze stali 1.0037. Siły skrawania podczas obróbki rejestrowano w układzie przestrzennym.

### Wyniki badań

Przykładowe wyniki, zarejestrowane dla poszczególnych osi, przedstawiono na rys. 5. Największe wartości siły stwierdzono dla składowej w kierunku osi x (kierunek posuwu),

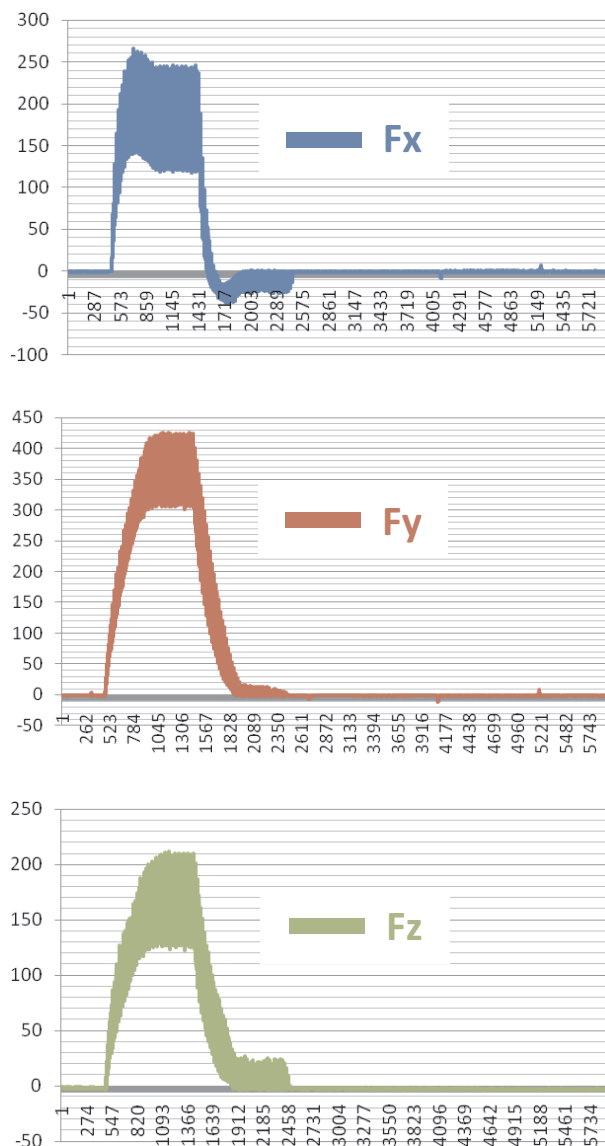
najmniejsze zaś – w kierunku osi z (oś wrzeciona). Otrzymane wartości składowych sił skrawania pozwoliły na określenie maksymalnych wartości sił wypadkowych. Na podstawie tych wartości określono relacje między warunkami obróbki a występującymi w niej siłami skrawania. Jest to istotne ze względu na efektywność obróbki, której koszt ma znaczący udział w procesie wytwórczym EWg. Relacje między tymi wielkościami dla składowej  $F_x$  przedstawiono na rys. 6.

Relacje między badanymi parametrami dla składowej  $F_x$  przedstawiono na rys. 5. Stwierdzono, że zmiany parametrów obróbki w niewielkim stopniu wpływają na maksymalną wartość siły skrawania  $F_{max}$ . Największy wpływ w tym zakresie ma głębokość skrawania  $a_p$ . Jest to informacja istotna i charakterystyczna dla EWg, gdyż duże wartości siły skrawania to dużo generowanego ciepła. Zminimalizowanie jego wpływu wymaga więc większego czasu, co pośrednio wpływa na efektywność obróbki EWg.

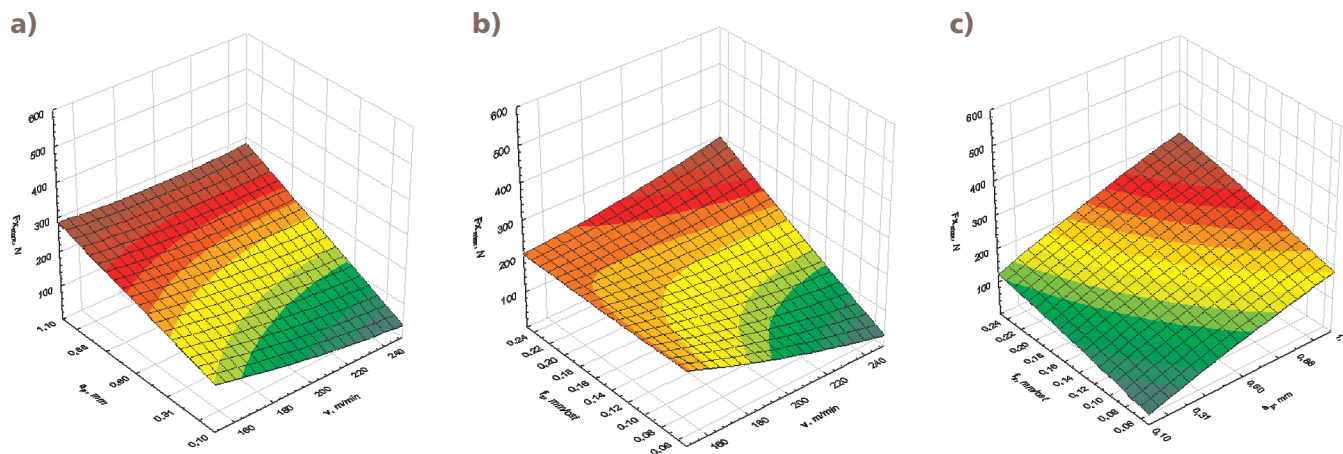
Stwierdzono już wcześniej, że w przypadku EWg, ze względu na ich duży ciężar, sposób podparcia wpływa na odkształcenia nie tylko podczas obróbki lecz także podczas pomiarów sprawdzających jej dokładność. Wynika z tego, że dużo uwagi należy poświęcić poprawnemu podparciu mierzonego elementu, usytuowanego w przestrzeni pomiarowej maszyny – rys. 7, a więc w ostatniej fazie procesu wytwórczego.

W analitycznych badaniach symulacyjnych określono odkształcenia jakie wywołują: ciężar własny oraz siły skrawania. Rezultaty badań dla przedstawionego na rys. 3 sposobu podparcia zobrazowano na rys. 8.

Widoczne na rysunku linie, ograniczające obszary o takich samych kolorach, przedstawiają miejsca korpusu w takim samym stopniu odkształcone w wyniku oddziaływań wymuszeń o charakterze siłowym, a zauważalna asymetria odkształceń wynika z obciążenia korpusu zmieniającymi się siłami skrawania.



Rys. 5. Wykresy składowych sił skrawania przy parametrach obróbki:  $v=171$  m/min,  $a_p=0,88$  mm,  $f_z=0,21$  mm/strze



Rys. 6. Wykresy zależności maksymalnej siły skrawania  $F_x$  od: a) głębokości  $a_p$  i prędkości skrawania  $v$ , b) posuwu  $f_z$  i prędkości skrawania  $v$ , c) posuwu  $f_z$  i głębokości skrawania  $a_p$ .

Specyficznym dla EWg czynnikiem technologicznym jest także trwałość ostrza narzędzia. Obróbka dużych powierzchni takich elementów powoduje, że mikrogeometria ostrza zmienia się, co powoduje, że stan struktury geometrycznej obrabianej powierzchni jest inny na początku obróbki, inny na jej końcu. Wynika to z zachodzącego procesu zużywania ostrza i powoduje pogorszenie cech użytkowych obrabianych elementów.

W obróbce EWg istotny jest ponadto czynnik termiczny. W obróbce skrawaniem duża część włożonej energii mechanicznej ulega konwersji w energię cieplną. Skutkiem tego zjawiska są odkształcenia cieplne połączone z powstawaniem naprężeń. Ponieważ EWg posiadają dużą pojemność cieplną ustąpienie tych oddziaływań wymaga pewnego czasu dlatego też pomiędzy kolejnymi operacjami pożądane są przerwy technologiczne, nie stosowane w obróbce elementów o wymiarach standardowych [1].

### CZYNNIKI ZWIĄZANE POŚREDNIO Z PROCESEM PRODUKCYJNYM

Oprócz czynników bezpośrednio związanych z procesem wytwarzania EWg – czynników technologicznych, istotne mogą być ponadto, specyficzne dla tego rodzaju elementów, problemy dotyczące ich transportu. W prawie o ruchu drogowym przyjmuje się, że transport ładunków ponadgabarytowych dotyczy pojazdów, które wraz z przewożonym ładunkiem przekraczają 16,5 m całkowitej długości, 2,5 m szerokości i 4,0 m wysokości oraz/lub 42 Mg ciężaru całkowitego, do którego wlicza się także wagę kierowcy oraz paliwa [6]. Kryteria te obowiązują na terenie Polski, natomiast w UE podane wartości są nieco inne.

Ze względu na ciężar, transport EWg należy dobrze przygotować, gdyż znane są przypadki, że obiekt niepoprawnie przygotowany do transportu ulegał w jego trakcie uszkodzeniu. Należy także trasę przewozu uzgodnić z odpowiednimi decydentami.

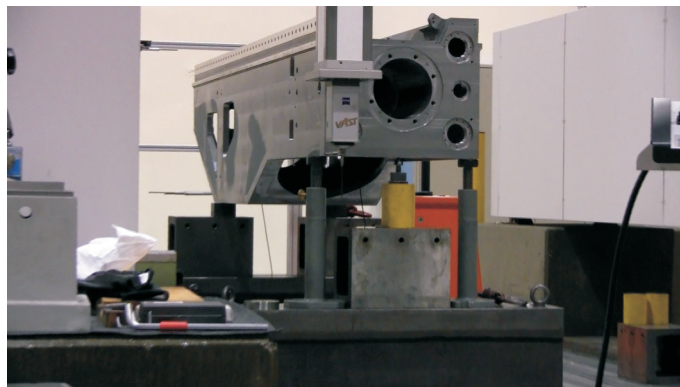
### PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania eksperymentalne, a także analizy pozwalają na sformułowanie poniższych wniosków podsumowujących:

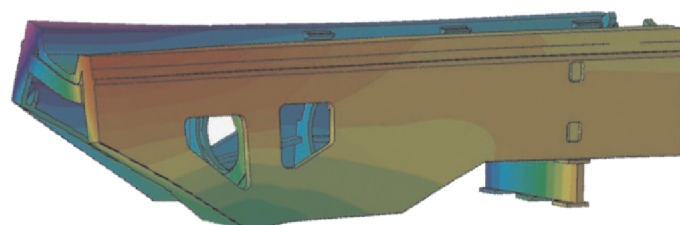
- elementy o dużych gabarytach coraz częściej występują w strukturach maszyn używanych współcześnie w różnych branżach gospodarki. Ich cechy, przede wszystkim gabaryty oraz ciężar, powodują, że oprócz standardowych problemów związanych z obróbką skrawaniem, uwzględnić należy dodatkowe, specyficzne dla EWg;

- w przypadku wymaganej dużej dokładności obrabianego elementu szczególną uwagę należy zwrócić na poprawność ustalenia jego na stole obrabiarki: właściwe rozmieszczenie poprawnie wybranych podpór;

- w każdym przypadku narzędzia do obróbki powinny charakteryzować się trwałością większą od standardowej;



Rys. 7. Korpus na stole maszyny pomiarowej po obróbce wykończeniowej



Rys. 8. Izolinie maksymalnych odkształceń korpusu podczas obróbki

- w procesie obróbki skrawaniem, między poszczególnymi operacjami należy zaplanować odpowiednio dobrane przerwy technologiczne.

### Literatura

[1] Bromberek F., Matuszewski M., Styp-Rekowski M., Węgrzyniak T.: Obróbka elementów wielkogabarytowych. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Bydgoskiej Szkoły Wyższej, Bydgoszcz 2022.

[2] Materiały firmy MIKROMAT, Drezno 2015.

[3] Norma PN-84/M-02108. Tolerancje i pasowania. Tolerancje wymiarów powyżej 10 000 mm do 40 000 mm.

[4] Norma PN-91/M-02106. Podstawy zamienności. Układ tolerancji i pasowań. Pola tolerancji i odchyłki graniczne wymiarów powyżej 3150 do 10000 mm.

[5] Norma PN-EN ISO 286-2:2010. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – System kodowania ISO dla tolerancji wymiarów liniowych. Część 2: Tablice klas tolerancji normalnych oraz odchyłek granicznych otworów i wałków.

[6] Prawo o ruchu drogowym. Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Dz. U. 1997 Nr 98 poz. 602. ■