

# Analiza technologiczności metodą DFM części wytwarzanych z blachy

Design for manufacturing for sheet metal parts

MICHAŁ KARPIUK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.530

Design for Manufacturing to metoda projektowania zorientowana na wytwarzanie, konstruowanie wyrobu, uwzględniająca znajomość technologii produkcji, koszt oraz ograniczenia wynikające ze specyfiki procesu wytwarzania. Wszystkie narzędzia CAx wspomagające prace inżyniera w zakresie wyboru metody wytwarzania, szacowania kosztu wytwarzania oraz identyfikacji potencjalnych problemów, które mogą pojawić się podczas realizacji procesów technologicznych obróbki, można zaliczyć do oprogramowania DFM. W publikacji omówiono wybrane aspekty związane z projektowaniem zorientowanym na wytwarzanie części z blachy.

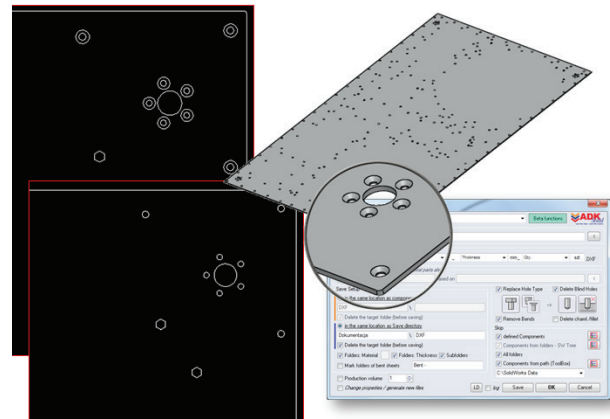
**SŁOWA KLUCZOWE:** CAx, DFM, Analiza technologiczności ze względu na wytwarzanie

*Design for manufacturing is the method of design that takes into account knowledge of manufacturing technology, the cost and limitations due to the nature of the manufacturing process. CAx tools such as process selector, cost estimator or software to identify potential problems that may occur during the implementation manufacture process can be classified as DFM software. The publication describes the main aspects related to design for manufacturing of sheet metal parts.*

**KEYWORDS:** CAx, DFM, Design for Manufacturing

Części wytwarzane z blachy projektowane są w systemach 3D CAD za pomocą dedykowanych narzędzi umożliwiających rozwinięcie płaskie z obiektu bryłowego, cienkościennego, zagiętego, które to rozwinięcie można następnie wykorzystać w dokumentacji wykonawczej jako widok 2D lub bezpośrednio zapisać jako plik DXF będący plikiem wejściowym do oprogramowania CAM i maszyny tnącej [1]. W przypadku blach o nieskomplikowanym kształcie, bez otworów z pogłębieniami i otworów nieprzelotowych wygenerowanie pliku DXF sprowadza się do zapisu modelu blachy do formatu \*.dxf. W przypadku bardziej skomplikowanych elementów blaszanych wygenerowany plik musi podlegać modyfikacjom w taki sposób, aby DXF odwzorowywał geometrię blachy rozwiniętej po etapie cięcia, a przed kolejnymi operacjami procesu technologicznego. W takim przypadku najczęściej opracowuje się dodatkowy rysunek wykonawczy.

Dzięki zastosowaniu odpowiednich narzędzi CAx możliwe jest zautomatyzowane generowanie plików DXF dla wszystkich blach wchodzących w skład projektowanego wyrobu, z uwzględnieniem prawidłowych wielkości otworów z pogłębieniami i wygaszeniem otworów nieprzelotowych [3].



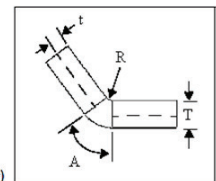
Rys. 1. Zautomatyzowane generowanie plików DXF [3]

Kolejnym rozważanym aspektem projektowania DFM jest metoda przeliczania nadatku materiału. Istnieje kilka możliwych do zastosowania metod przeliczania nadatku materiału w systemie CAD, dzięki czemu model 3D prawidłowo odwzorowuje detal przed i po gięciu. Jedną z najczęściej stosowanych metod przeliczenia różnicy między długością blachy zgiętej a rozłożonej jest metoda oparta na współczynniku  $K$ .

$$BA = \pi(R + Kt) A / 180$$

gdzie:

- BA = nadatek materiału
- R = wewnętrzny promień zgięcia
- K = współczynnik K równy  $t / T$
- T = grubość materiału
- t = odległość od wewnętrznej ściany do neutralnego arkusza
- A = kąt zgięcia w stopniach (kąt pod którym zginany jest materiał)

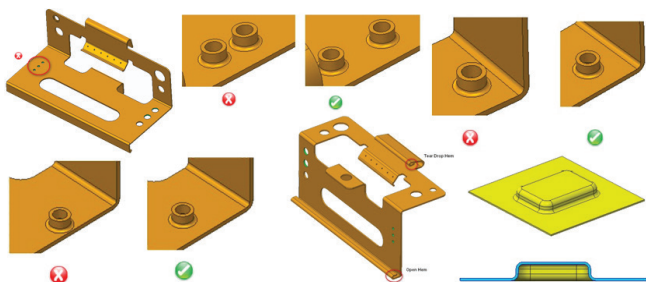


Rys. 2. Wzór przeliczania nadatku materiału oparty na współczynniku  $K$  [5]

Przy projektowaniu blach wartości współczynnika  $K$  oraz promienia gięcia  $R$  powinny być prawidłowo dobrane, tj. zgodnie z możliwościami zakładu produkcyjnego, i powinny uwzględniać m.in. takie aspekty, jak: materiał i grubość blachy, typ maszyny gnącej, sposób i parametry procesu gięcia. Jeżeli projektowane blachy gięte są w macierzystym zakładzie lub wyłącznie w jednej firmie współpracującej,  $R$  i  $K$  są ustalone i używane podczas modelowania. Sytuacja staje się problematyczna, jeżeli wymagane jest przygotowanie dokumentacji wykonawczej dla różnych podwykonawców. W takim przypadku ręczna zmiana ustawień w operacjach struktury tworzącej model 3D CAD dla wszystkich blach projektu obciążona jest dużym prawdopodobieństwem popełnienia błędu. I w tym przypadku z pomocą przychodzi narzędzia CAx, automatyzujące prace w tym zakresie. Istnieją rozwiązania, które potrafią samodzielnie podmieniać wybrane parametry blach na podstawie przygotowanej tabeli z materiałami i ich grubościami [3].

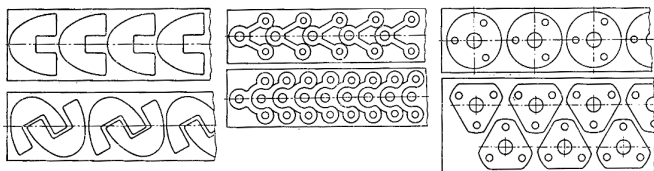
\* Dr inż. Michał Karpiuk (karpiuk@mech.pk.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej

Przedmioty, które przy dalszej obróbce mają być gięte, wymagają w miarę możliwości takiego kształtowania, aby obrys w miejscu gięcia był prostopadły do krawędzi gięcia. Podczas projektowania szczególną uwagę należy zwrócić na szerokość wcięć kształtowych otworów, promienie wewnętrznych zaokrągleń, średnice otworów oraz odległość między nimi [2]. Konstruując części gięte z blachy, należy dobrać prawidłowe promienie gięcia oraz stosować zasady związane z przestrzeganiem odpowiednich odległości od projektowanej cechy technologicznej typu otwór, przetłoczenie, szczelina itp. od krawędzi detalu czy też od miejsca gięcia w celu uniknięcia odkształceń materiału. Wszystkie obrane zasady prawidłowego projektowania części wytwarzanych z blachy uzależnione są od zastosowanego materiału oraz grubości blachy.



Rys. 3. Przykłady projektowania uwzględniającego zasady DFM [4]

Liderem na rynku oprogramowania w zakresie rozpoznawania cech technologicznych bezpośrednio z modelu CAD jest firma Geometric Ltd. Oprogramowanie DFMPRO identyfikuje potencjalne problemy, które mogą pojawić się na etapie wytwarzania, i w sposób czytelny wskazuje je konstruktorowi. Aplikacja może działać jako zintegrowany dodatek do Creo Parametric®, SOLIDWORKS®, Siemens NX® lub jako oprogramowanie typu „standalone” z możliwością wczytania plików CATIA®, Creo Parametric™, Inventor®, NX™, Solid Edge®, SOLIDWORKS® oraz pliku neutralnego formatu m.in. STEP, IGES. Podczas analizy technologiczności konstrukcji (Design for manufacturability) można skorzystać z bogatej w gotowe reguły projektowe bazy lub oprogramować własne zasady korzystając z makr i języka Visual Basic for Application (VBA) [5].



Rys. 4. Przykłady projektowania uwzględniającego zużycie materiału [2]

Do narzędzi komputerowego wspomaganie DFM zaliczyć możemy również oprogramowanie do nestingu, które coraz częściej zintegrowane jest z oprogramowaniem CAD. Zasadne jest wykorzystanie rozwiązania już podczas projektowania, dzięki czemu możliwe staje się ukształtowanie geometrii detalu w taki sposób, aby rozkrój projektowanej blachy był możliwie ekonomiczny, tj.

bez dużej ilości odpadów. Często mała zmiana obrysu detalu umożliwi bowiem znaczne zmniejszenie zużycia materiału, czego przykładem mogą być blachy pokazane na rys. 4 [2].

Trendem w projektowaniu części w systemie CAD staje się modelowanie konstrukcji z uwzględnianiem kosztów wytwarzania poszczególnych jego składowych. W odniesieniu do części blaszanych korzystanie z techniki kalkulacji kosztu w systemie CAD ma racjonalne uzasadnienie. Pobranie rzetelnych danych potrzebnych do oszacowania kosztu operacji technologicznych z modelu bryłowego posiadającego swoje rozłożenie płaskie i uzależnienie ich od zastosowanego materiału, grubości blachy, stawek roboczogodzinowych itd. nie stanowi problemu w porównaniu z problematyczną identyfikacją cech technologicznych niezbędnych do szacowania kosztu formowania wtryskowego, obróbki skrawaniem czy odlewu. W przypadku cięcia laserem należy wziąć pod uwagę długości linii prostych, krzywych, małych otworów oraz liczbę przebiegów, a następnie uzależnić od przypisanych do nich prędkości i czasu przebiegów. W przemyśle często stosowane jest uproszczenie i do kalkulacji brana jest całkowita długość wszystkich linii bez podziału na ich typ. Na rys. 5 przedstawiono przykładowe prędkości cięcia w zależności od materiału i grubości blachy.

### Stal czarna

G	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	20	25	>
V1	5	4.2	3.6	3.4	3.6	3.5	3	3	1.7	1.2	1.15	0.95	0.8	0	0
V2	3.2	3	2.1	2	2	1.4	1.5	1.3	1	0.9	0.72	0.7	0.72	0	0
V3	1	1.6	0.9	0.8	0.8	0.5	0.2	0.6	0.1	0.1	0.15	0.1	0.72	0	0
tp	2	2.5	4	2	3.5	4	4	6	7	7	9	10	13	15	0

### Aluminium

G	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	20	25	>
V1	8	5.7	5	3.5	2.8	1.6	1.4	0.8	0	0	0	0	0	0	0
V2	3.5	3.5	3	2.5	2	0.9	0.7	0.6	0	0	0	0	0	0	0
V3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0
tp	4	4.5	6	5.5	5.5	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8

### Stal nierdzewna

G	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12	15	18	20	25	>
V1	8	6	4	3.6	3	2.5	2.1	1.2	0.83	0.6	0.4	0.4	0	0	0
V2	5	2	2.5	2	2	1.3	1.5	0.8	0.6	0.4	0	0	0	0	0
V3	2	1.5	0.8	0.8	1	1.3	1.2	0.8	0.6	0.4	0	0	0	0	0
tp	4	4.5	6	5.5	5.5	6	6	8	9	9	11	12	15	17	0

Rys. 5. Przykładowe prędkości cięcia dla różnych typów linii oraz czas przebiegów w zależności od materiału i grubości blachy [3]

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione w niniejszym artykule aspekty, które należy uwzględnić w procesie projektowania zorientowanego na wytwarzanie, wydaje się niezbędne automatyzowanie i wspomaganie omawianego procesu. Dzięki stosowaniu narzędzi Cax w DFM możliwe jest uzyskanie rzetelnych informacji dotyczących m.in. materiału, procesu cięcia, gięcia, wykrawania czy wykończenia powierzchni, dzięki którym konstruktor może podejmować racjonalne z punktu widzenia ekonomicznego decyzje projektowe.

### LITERATURA

1. Kęska P. „SolidWorks 2013. Konstrukcje spawane. Arkusze blach. Projektowanie w kontekście złożenia”. CADvantage, Warszawa 2013.
2. Skarbiński M., Skarbiński J. „Technologiczność konstrukcji maszyn”. WNT, Warszawa 1987.
3. adksolid.com (dostęp: 23.09.2016 r.).
4. dfmpo.geometricglobal.com (dostęp: 23.09.2016 r.).
5. help.solidworks.com (dostęp: 23.09.2016 r.).