

ANALIZA NUMERYCZNA PRZYCZYN POWSTAWANIA DEFECTÓW W USTALONYM PROCESIE CIĘCIA PŁYT NA GILOTYNACH

JAROSŁAW KACZMARCZYK, DAMIAN GĄSIOREK, ARKADIUSZ MEŻYK

Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska

e-mail: Jaroslaw.Kaczmarczyk@polsl.pl, Damian.Gasiorok@polsl.pl, Arkadiusz.Mezyk@polsl.pl

ANDRÉ SKIBNIEWSKI

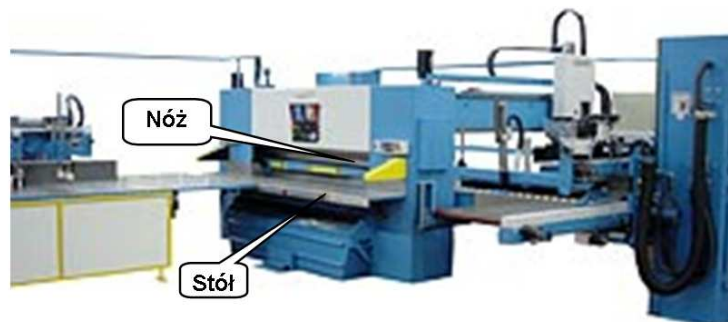
FUJIFILM Manufacturing Europe B.V., Tilburg, Holandia

e-mail: ask@fuji-ef.nl

Streszczenie. W pracy przedstawiono modelowanie powstawania defektów w pakietach blach aluminiowych ciętych na gilotynach. Przyczyną podjęcia takich badań jest losowe pojawianie się pionowych rys w przekroju poprzecznym pakietu przecinanych blach. W pracy zestawiono szereg modeli fizycznych pomocnych w analizie zachowania się pakietów w ustalonym procesie cięcia i obserwacji towarzyszących im zjawisk. Przedstawione symulacje numeryczne obejmują zarówno liniową jak i nieliniową statyczną analizę wytrzymałościową, wykorzystującą metodę elementów skończonych.

1. WSTĘP

Odpowiedni dobór parametrów cięcia pakietu blach na gilotynach jest zagadnieniem złożonym i wymaga szczegółowej analizy wpływu parametrów procesu na efektywność przecinania. Ze względu na właściwości aluminium praktycznie nie stosuje się gilotyn do przecinania pakietów blach aluminiowych, gdyż wiąże się to z dużą liczbą wad występujących na krawędzi przecięcia. Dlatego też praktycznie brak w literaturze szczegółowych danych i wskazówek do określania takich parametrów procesu, jak: geometria ostrza, wartość siły dociskającej pakiet, prędkość przecinania, czy też odległość belki dociskowej od krawędzi ostrza. Dostępna literatura [2÷5] dotyczy klasycznych przypadków cięcia, np. blach stalowych.



Rys. 1. Gilotyna używana do cięcia pakietów blach aluminiowych [7]

Szczególnym przypadkiem jest przecinanie pakietu płyt offsetowych, które zostają poddane wcześniejszej obróbce powierzchniowej. Brakuje natomiast specjalistycznych maszyn do cięcia aluminium, dlatego też przystosowuje się gilotyny służące do przecinania pakietów arkuszy papieru. Proces przecinania na gilotynie przebiega w sposób następujący: na stole gilotyny (rys. 1) układa się pakiety, które następnie dociska się belką dociskową z określoną siłą, pakiet jest przecinany za pomocą specjalnego noża, który porusza się pod kątem 45° w odniesieniu do poziomego stołu, na którym spoczywa (rys. 4).

Czasami na przeciętych krawędziach (rys. 6a) mogą pojawiać się defekty, które uniemożliwiają dalsze wykorzystanie płyt, co z kolei powoduje zwiększone koszty wytwarzania. Pojawiają się zatem pytania o charakter powstających defektów, przyczyny ich powstawania i sposoby ich unikania.

Analiza przyczyn najczęściej występujących defektów (rys. 6a) wykazała, że występują one głównie z powodu wyszczerbienia się noża gilotyny (rys. 2a) lub powstawania narostu na krawędzi tnącej (rys. 2b).

a)



b)



Rys. 2. Wybrane zdjęcia defektów pojawiających się na nożu gilotyny: a) odłamanie niewielkiego kawałka materiału z ostrza noża, b) narost na nożu

W celu określenia wpływu uszkodzenia ostrza na stan naprężenia występujący podczas cięcia blach opracowano kilkanaście modeli procesu przecinania pakietów. Rozpatrywano dwie grupy zagadnień. Pierwsza dotyczyła odpowiedzi na pytanie, dlaczego pojawiające się defekty w przekroju poprzecznym przecinanego materiału mają charakter pionowych rys (rys. 6a). Druga grupa zagadnień dotyczyła odpowiedzi na pytanie, czy można zminimalizować lub w ogóle wyeliminować losowo pojawiające się defekty.

4. MODELOWANIE PAKIETU PRZECINANYCH BLACH

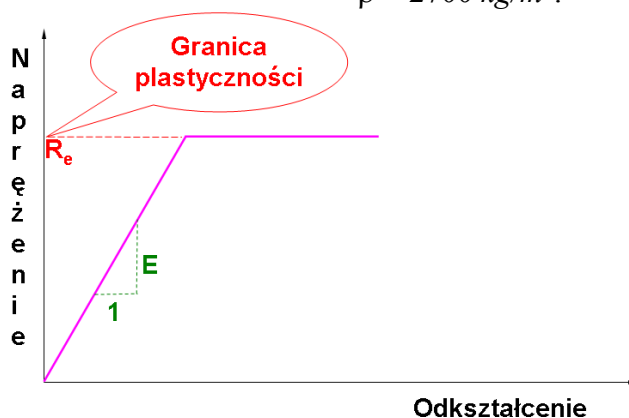
Modelowanie zagadnień z zakresu teorii sprężystości przy uwzględnieniu nieliniowości materiałowych (granica plastyczności) i nieliniowości geometrycznych (kontakt z uwzględnieniem współczynnika tarcia) należy do bardzo złożonych procesów. Niedogodności wiążą się z koniecznością właściwego doboru wielu parametrów niezbędnych w procesie obliczeń numerycznych oraz z dużą czasochłonnością obliczeń. Wyżej wymienione przyczyny były powodem przyjęcia szeregu uproszczeń, w tym uproszczenia polegającego na potraktowaniu odkształcalnego pakietu blach jako szczególnego przypadku płaskiego stanu odkształcenia.

Posługując się zarówno liniową jak i nieliniową statyczną analizą wytrzymałości opartą na metodzie elementów skończonych [1, 6], przeprowadzono symulacje numeryczne obejmujące:

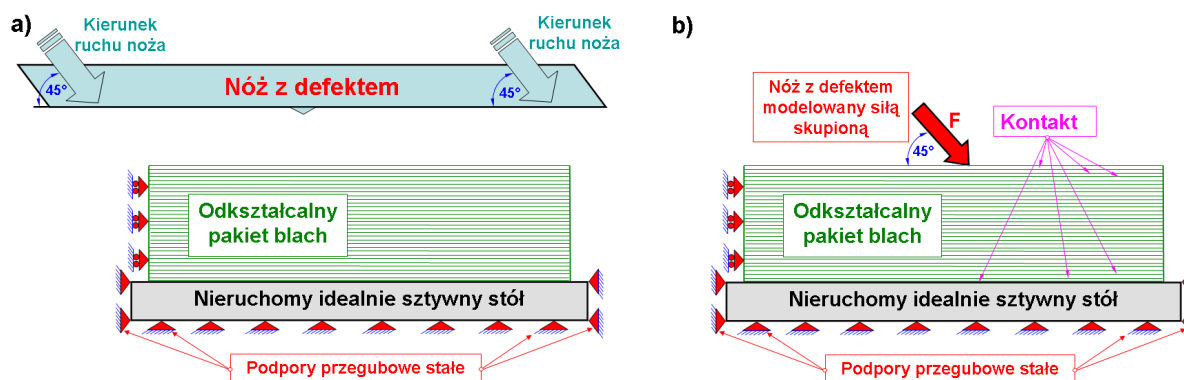
1. modele liniowe i nieliniowe uwzględniające nieliniowości materiałowe i geometryczne pakietów blach,
2. wyznaczenie pól przemieszczeń,
3. obliczenia pól naprężeń,
4. ustalenie wpływu zmian parametrów gilotyny i cech geometrycznych pakietów blach na wartości przemieszczeń i naprężeń.

Do modelowania charakterystyk wytrzymałościowych pakietu blach zastosowano biliniowy model sprężysto – plastyczny (rys. 3). Dane materiałowe przyjęto jak dla aluminium:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| -moduł sprężystości podłużnej | $E = 7,0 \cdot 10^{10} Pa,$ |
| -moduł sprężystości poprzecznej | $G = 2,57 \cdot 10^{10} Pa,$ |
| -współczynnik Poissona | $\nu = 0,34,$ |
| -granice plastyczności | $R_e = 35 \cdot 10^6 Pa,$ |
| -gęstość | $\rho = 2700 kg/m^3.$ |



Rys. 3. Biliniowy model materiału sprężysto – plastycznego



Rys. 4. Model pakietu blach: a) z nożem i defektem na nożu, b) z przyłożoną siłą skupioną reprezentującą nóż i defekt na nożu

Przy użyciu profesjonalnych systemów obliczeniowych wykorzystujących metodę elementów skończonych, takich jak MSC.Patran z modułem liczącym MSC.Marc i Ansys, opracowano dwa różne modele pakietu przecinanych blach. Oddziaływanie noża z defektem na pakiet blach (rys. 4a) zastąpiono siłą skupioną, przyłożoną do pakietu blach zgodnie z kierunkiem ruchu noża (rys. 4b). W procesie modelowania uwzględniono nieliniowości materiałowe oraz nieliniowości geometryczne (kontakt), wynikające z nałożonych

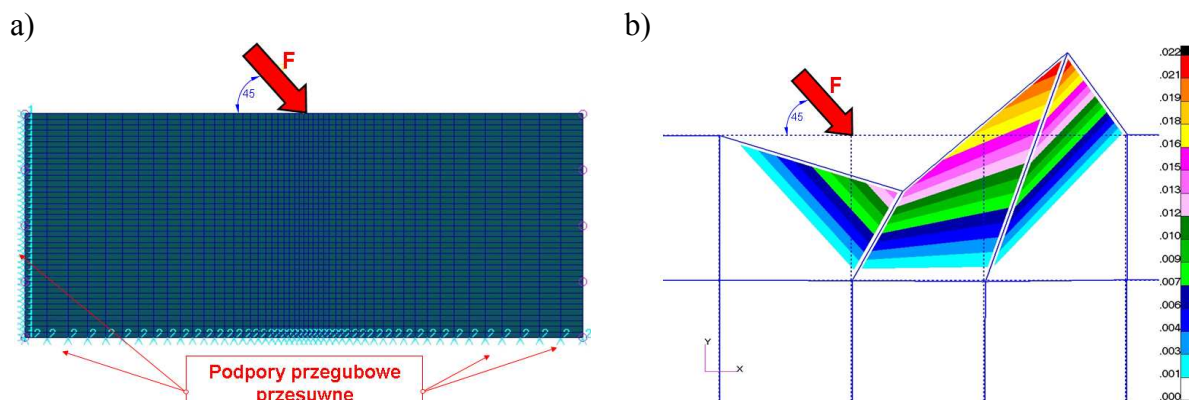
jednostronnych warunków ograniczających na przemieszczenia wszystkich węzłów należących do powierzchni wzajemnie stykających się blach aluminiowych. Przy użyciu systemu MSC.Patran zamodelowano pakiet czterech blach, natomiast, stosując system Ansys - pakiet trzech blach z nałożonymi identycznymi warunkami kontaktu, dodatkowo z uwzględnieniem tarcia spoczynkowego o współczynniku $\mu=0,3$, pominięto nieliniowości materiałowe (granice plastyczności).

5. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

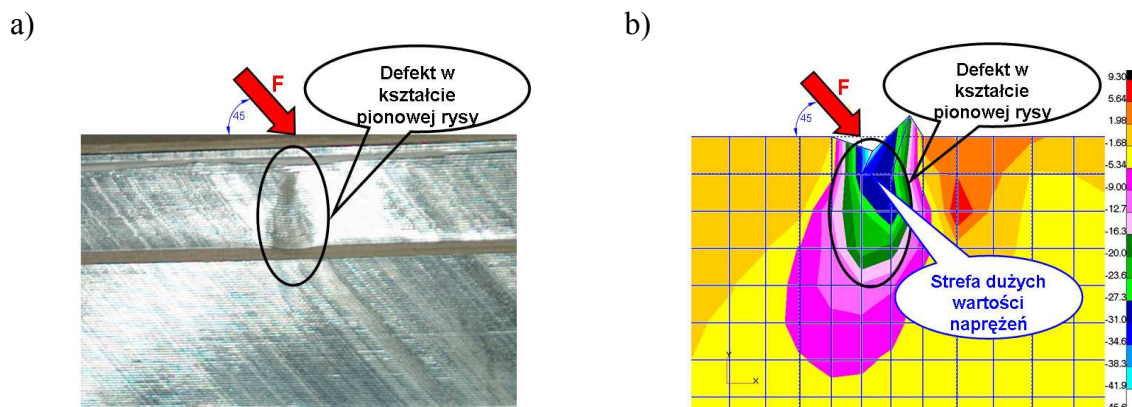
Wyniki obliczeń numerycznych zestawiono dla wybranej iteracji, przeprowadzonej zarówno z zastosowaniem systemu MSC.Patran (rys. 5b, 6b i 7a), jak systemu Ansys (rys. 7b).

Analizując otrzymane wyniki obliczeń, można zauważyć dużą zgodność kształtu defektu (rys. 6a) nie tylko z obszarem koncentracji naprężeń na kierunku osi y (rys. 6b), ale również z obszarami koncentracji naprężeń redukowanych wg hipotezy Hubera (rys. 7a) i naprężeń stycznych (rys. 7b).

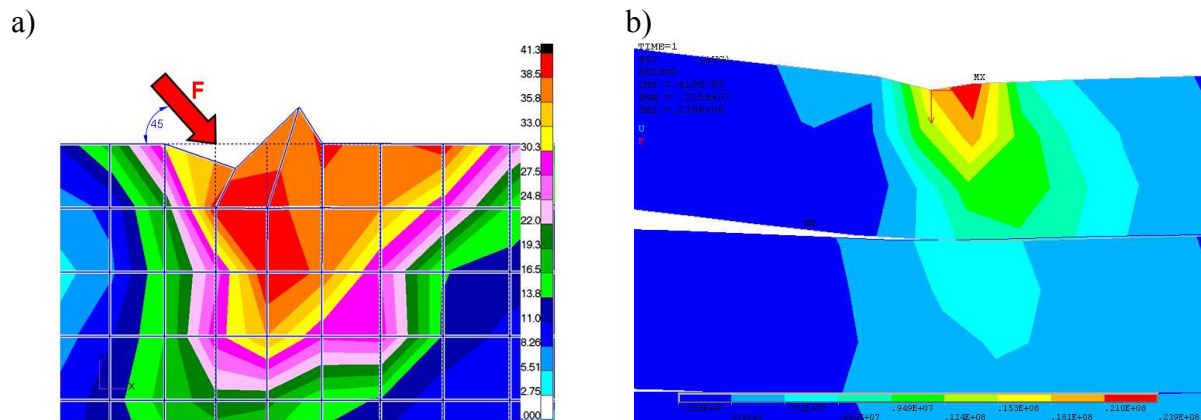
Przedstawione symulacje, będące wynikiem obliczeń numerycznych, wskazują, że naprężenia koncentrują się w obszarach zbliżonych kształtem do rozkładu naprężeń w kierunku pionowym, pomimo że przyłożona siła, symulująca ruch noża w ustalonym procesie cięcia, jest nachylona pod kątem 45° .



Rys. 5. Model pakietu blach z przyłożoną siłą skupioną (z lewej) i odpowiadająca mu mapa przemieszczeń w [mm] (z prawej)

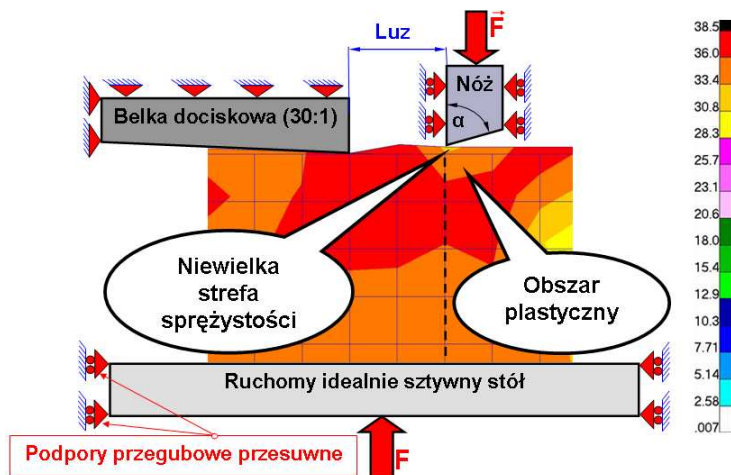


Rys. 6. Porównanie kształtu zaobserwowanego defektu z obszarem koncentracji naprężeń: a) defekt w kształcie pionowej rysy rozszerzającej się ku dołowi, b) mapa rozkładu naprężeń w [MPa] w kierunku osi pionowej

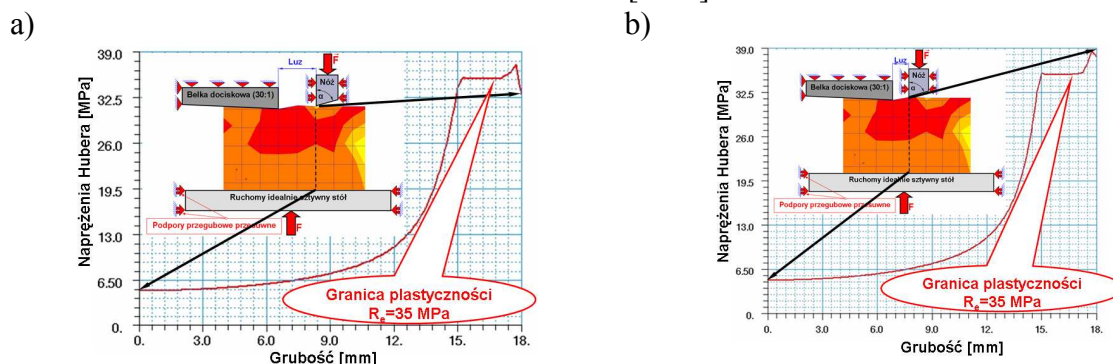


Rys. 7. Obszary koncentracji naprężeń zbliżone kształtem do zaobserwowanych defektów (patrz rys. 6a): a) mapa naprężeń zredukowanych Hubera [MPa] otrzymana przy użyciu systemu MSC.Patran, b) mapa naprężeń stycznych [Pa] otrzymana przy użyciu systemu Ansys

W celu zminimalizowania liczby powstających defektów lub całkowitego ich wyeliminowania opracowano modele pakietu składającego się z 60 blach traktowanych jako monolit dla małej i dużej szerokości odcinanych blach i dla różnych zbieżności belek dociskowych. Uwzględniono nieliniowości materiałowe oraz nieliniowości geometryczne pomiędzy pakietem blach modelowanym jako odkształcalny i belką dociskową modelowaną jako ciało idealnie sztywne, jak również pomiędzy pakietem blach i stołem, na którym spoczywa pakiet, modelowanym także jako ciało idealnie sztywne. Przeanalizowano wpływ zbieżności belki dociskowej na wartości naprężeń i wielkości strefy plastycznej. W przypadku, kiedy luz między krawędzią noża a belką dociskową wynosi 0,5 mm, w miejscu styku końca noża z pakietem blach pojawia się niewielka strefa naprężeń sprężystych, poniżej której znajduje się obszar plastyczny (rys. 8). Rozkład naprężeń zredukowanych wg hipotezy Hubera, w funkcji grubości przecinanego pakietu blach, (oznaczonej linią przerywaną na rys. 8) zilustrowano dodatkowo na wykresie przedstawionym na rys. 9a. Przepuszczalnie materiał w niewielkiej strefie naprężeń sprężystych zaczyna się owijać na ostrzu noża, co może być przyczyną inicjacji defektu w przekroju poprzecznym przecinanego pakietu blach. Wraz ze zmniejszeniem luzu pomiędzy belką dociskową a nożem następuje zanikanie niewielkiej strefy naprężeń sprężystych, a w związku z tym nie ma możliwości powstawania defektu, co zilustrowano na wykresie przedstawionym na rys. 9b.



Rys. 8. Mapa naprężeń redukowanych Hubera modelu pakietu blach traktowanych jako monolit [MPa]



Rys. 9. Naprężenia redukowane (wg Hubera) w funkcji grubości pakietu przecinanych blach dla luzu między belką dociskową, a krawędzią noża wynoszącego: a) 0,50 mm, b) 0,25 mm

WNIOSKI

Z porównania wyników obliczeń numerycznych można wyciągnąć następujące wnioski:

- strefy koncentracji naprężeń są zbliżone kształtem do pojawiających się pionowych rys w przekroju poprzecznym przecinanego pakietu blach, pomimo że siła symulująca ruch noża w ustalonym procesie cięcia została przyłożona do pakietu pod kątem 45° w odniesieniu do poziomego stołu gilotyny (rys. 6),
- wraz ze zmniejszaniem odległości pomiędzy nożem a czołem belki dociskowej rośnie strefa uplastyczniania pakietu przecinanych blach aluminiowych, a zatem rośnie trwałość noża i niezawodność procesu cięcia (rys. 9).

Przeprowadzona analiza procesu cięcia wykazała zgodność wyników analizy numerycznej i obserwowanych zjawisk, a także możliwość dalszej optymalizacji parametrów tego procesu w celu zwiększenia trwałości ostrza.

LITERATURA

1. Bathe K. J.: Finite element procedures. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1998.
2. Gillespie L. K.: Deburring and Edge Finishing. SME, Dearborn, Mich. 1999.
3. Tanaka H., Shimada S., Anthony L.: Requirements for ductile-mode machining based on deformation analysis of mono-crystalline silicon by molecular dynamics simulation. "Manufacturing Technology" 2007, vol. 56/I, s. 53 – 56.
4. Simeneau A., Elbestawi M.A.: Grain size orientation effects when microcutting AISI 1045 steel. "Manufacturing Technology" 2007, vol. 56/I, s. 57 – 60.
5. Shaw M. C.: Metal cutting principles. Oxford University Press 2005.

6. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L.: The finite element method. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.
7. <http://www.schneider-engineering.ch/english/produkte/index.htm>

ANALYSIS OF ARISING DEFECTS CAUSES IN AN ESTABLISHED CUTTING PROCESS OF PLATES USING GUILLOTINES

Summary. In the work, the modelling of arising defects in an established cutting process of a bundle of aluminium sheets by a guillotine is presented. The cause for taking up such research is random occurring of vertical scratches in cross section of a cutting bundle of sheets. In the paper, several physical models helpful in analysis of bundles behaviour in an established cutting process and in observation of accompanying phenomena were set up. The carried out numerical simulations encompass linear and nonlinear static strength analysis based on the finite element method.