

MODELOWANIE USZKODZEŃ POJAWIAJĄCYCH SIĘ NA NOŻU PODCZAS CIĘCIA NA GILOTYNIE

JAROSŁAW KACZMARCZYK

*Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska
e-mail: jaroslaw.kaczmarczyk@polsl.pl*

Streszczenie. W pracy przedstawiono stan naprężenia i odkształcenia w pakietach blach stalowych wywołany losowo pojawiającymi się uszkodzeniami na ostrzu noża podczas ich przecinania na gilotynie. Obliczenia numeryczne prowadzono za pomocą metody elementów skończonych. Uszkodzenia na nożu zamodelowano w kształcie półkoli o różnych dyskretnych wartościach promieni. Analizowano ruch główny noża pod pewnym kątem, który zmieniał się w pewnym ustalonym zakresie w odniesieniu do poziomego stołu. Zakres ten podzielono na kilka dyskretnych wartości i dokonano analizy jego wpływu na pojawiające się obszary koncentracji naprężeń i energii w przecinanych pakietach.

1. WSTĘP

Obecnie coraz częściej w przemyśle krajowym stosuje się gilotyny do przecinania pakietów blach z uwagi na ich dużą wydajność w procesie cięcia w porównaniu z wydajnością przecinania pojedynczych blach na nożycach. Należą one do efektywnych nowoczesnych maszyn i są szeroko stosowane do przecinania pakietów blach. Często jednak zdarza się, że podczas przecinania pakietów pojawiają się niepożądane losowe uszkodzenia w ich przekroju poprzecznym [5÷8], gilotyny zużywają wówczas więcej energii, nóż gilotyny szybciej się tępi [3, 4], w procesie cięcia wydziela się więcej ciepła [7], a w rezultacie maszyny takie ulegają przyspieszonemu zużyciu i dostarczają dużej ilości odpadów, co wiąże się bezpośrednio ze zwiększonymi wydatkami finansowymi ponoszonymi na produkcję związaną z przecinaniem. W celu realizacji procesu cięcia na stole gilotyny układa się pakiety blach. Belka dociskowa obciąża z pewną siłą pakiet blach, który następnie przecinany jest za pomocą noża. Po przecięciu pakietu nóż wraca do swojej początkowej pozycji, a belka dociskowa jest zwalniana; pakiet jest następnie przesuwany za pomocą podajnika na żadaną szerokość cięcia i proces powtarza się cyklicznie do uzyskania wymaganych wymiarów blach. W przypadku przecinania arkuszy kartonowych lub papierowych nie obserwuje się problemów, które występują przy przecinaniu pakietów blach stalowych. W tym ostatnim przypadku proces ten często wiąże się z powstawaniem uszkodzeń na krawędzi blach; szczególnie powszechne jest zagięcie ich krawędzi, znaczna chropowatość powierzchni oraz powstawanie zadziórów [1, 9÷11]. Nasuwa się zatem pytanie o charakter powstających defektów, przyczyny ich powstawania i sposoby ich unikania. Analizowano wpływ wielkości losowo pojawiającego się promienia narostu na ostrzu noża na wartości i rozkład naprężeń występujących w pakietach blach podczas ustalonego procesu cięcia. W pracy ustalono związek przyczynowy między wielkością pojawiających się uszkodzeń na ostrzu noża,

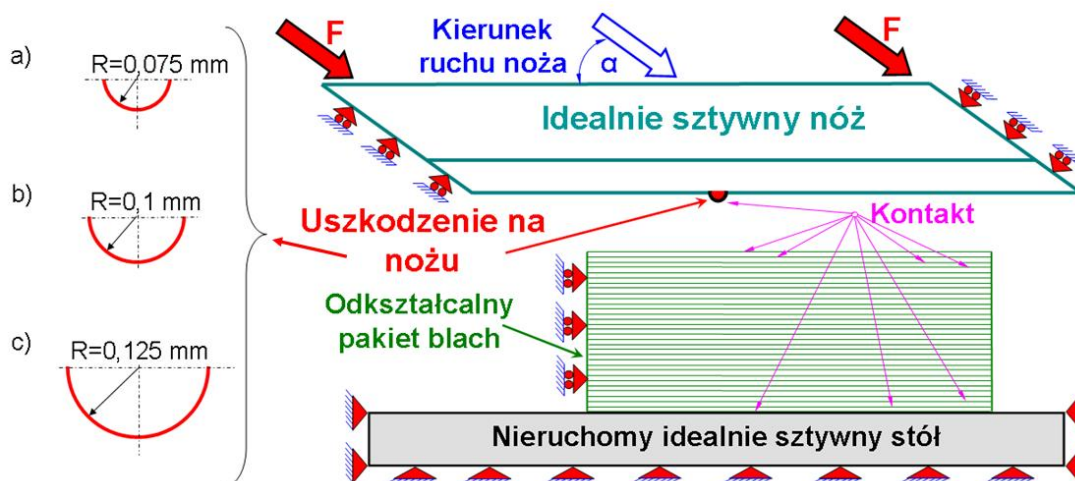
strefami koncentracji znacznych wartości naprężeń w pakietach blach, a wielkością i kształtem pojawiających się defektów na ciętych powierzchniach blach w trakcie ustalonego procesu cięcia.

2. MODEL FIZYCZNY PAKIETU BLACH, NOŻA I USZKODZENIA NA NOŻU

Podczas przecinania pakietów blach często występują uszkodzenia ostrza noża - wyłamania miejscowe lub przyłączenia cząstek przecinanego materiału do ostrza i tworzenia tak zwanych narostów. Powstały narost charakteryzuje się dużą twardością i w związku z tym zamodelowano go jako idealnie sztywny w postaci półkoli o trzech różnych promieniach, równych odpowiednio: $R=0,075\text{mm}$, $0,1\text{mm}$ i $0,125\text{mm}$ (rys. 1).

W niniejszej pracy przyjęto założenie, że ruch główny noża odbywa się pod pewnym kątem, który może się zmieniać w pewnym ustalonym zakresie ($30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$) w odniesieniu do poziomego stołu gilotyny. Wspomniany zakres podzielono na siedem dyskretnych wartości co $\Delta\alpha=10^\circ$. Każdej dyskretnej wartości kąta α odpowiadały wcześniej wspomniane trzy promienie półkoli odpowiadające kształtowi losowo pojawiającego się uszkodzenia na ostrzu noża wywołanego narostem. Następnie dokonano analizy jego wpływu na pojawiające się obszary koncentracji naprężeń.

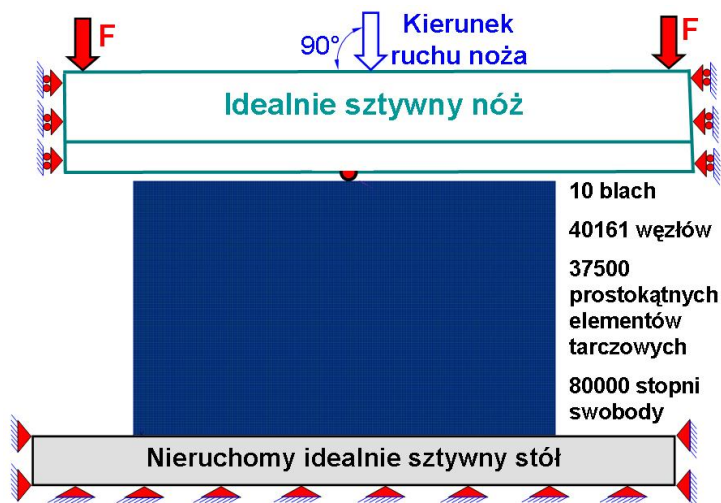
Stół gilotyny, na którym układa się odkształcalne pakiety blach, ze względu na znaczne wymiary potraktowano jako idealnie sztywny. Założono szerokość pakietu równą 5 mm i wysokość równą 3 mm, która odpowiada dziesięciu modelowanym blachom w pakiecie po 0,3 mm każda. Jednostronne więzy ograniczające nałożono na powierzchnie ich wzajemnego styku, jak również między zewnętrzną powierzchnią modelowanego uszkodzenia a górną powierzchnią blachy w pakiecie i pomiędzy spodnią powierzchnią styku blachy w pakiecie a idealnie sztywnym stołem. Tak przygotowany model pakietu potraktowano jako szczególny przypadek płaskiego stanu odkształcenia.



Rys. 1. Model fizyczny pakietu blach, noża i uszkodzenia na nożu z oznaczonym kierunkiem ruchu noża realizowanym pod kątem α

Idealnie sztywny nóż za każdym razem obciążano stałą co do wartości siłą $F = 25\text{ N}$ (nóż obciążono sumaryczną siłą 50 N) równoległe do kierunku ruchu noża. Ponadto wszystkim węzłom należącym do lewej krawędzi pakietu odebrano możliwość przemieszczenia na kierunku poziomym.

Opracowany model MES składał się z 37500 czterowzłowych elementów tarczowych o dwóch stopniach swobody w węzle, co odpowiadało 40161 węzłom i w efekcie otrzymano model o około 80 tysiącach stopni swobody (rys. 2).

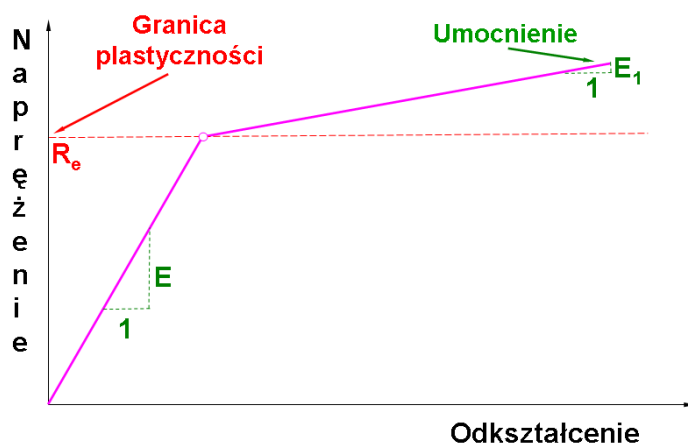


Rys. 2. Model fizyczny pakietu blach podzielony na elementy skończone z oznaczonym pionowym kierunkiem ruchu noża ($\alpha=90^\circ$)

3. MODEL FIZYCZNY PRZECINANEGO MATERIAŁU

Do testowych obliczeń wytrzymałościowych przyjęto biliniowy sprężysto-plastyczny model materiału z umocnieniem plastycznym (rys. 3) o następujących własnościach fizycznych odpowiadających stali:

- moduł sprężystości podłużnej $E = 2,05 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$,
- moduł sprężystości poprzecznej $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$,
- współczynnik Poissona $\nu = 0,28$,
- granica plastyczności $R_e = 220 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
- moduł sprężystości stycznej $E_1 = 250 \cdot 10^6 \text{ Pa}$,
- gęstość $\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$.



Rys. 3. Biliniowy sprężysto-plastyczny model fizyczny materiału

4. OBLICZENIA NUMERYCZNE

Dla opracowanego modelu fizycznego przeprowadzono statyczne nieliniowe obliczenia wytrzymałościowe, uwzględniając nieliniowości geometryczne wynikające z nałożenia ograniczeń jednostronnych na powierzchnie stykających się blach oraz nieliniowości materiałowe będące rezultatem przyjęcia biliniowego sprężysto-plastycznego modelu materiału (rys. 3).

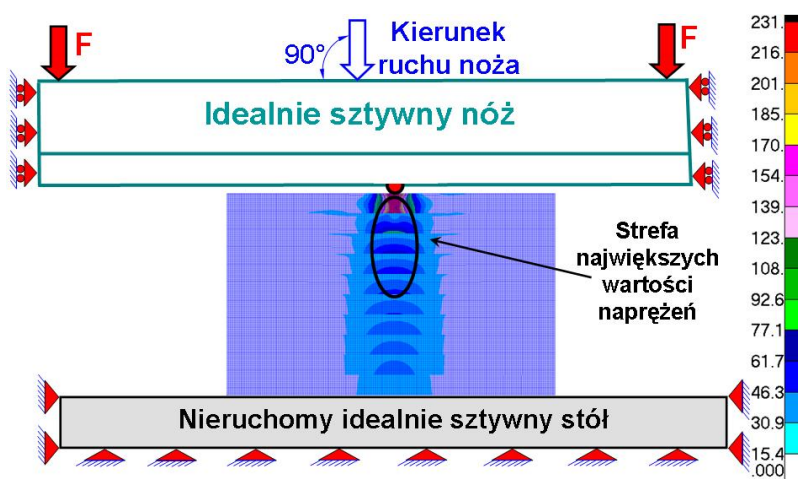
Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla siedmiu różnych kierunków ruchu noża. Każdemu ustalonym kierunkowi ruchu odpowiadały trzy różne promienie uszkodzenia na nożu, co w konsekwencji doprowadziło do wykonania dwudziestu jeden nieliniowych analiz wytrzymałościowych.

Model fizyczny pakietu przygotowano przy użyciu systemu komputerowego *MSC.Patran*, a obliczenia numeryczne wykonano, posługując się programem *MSC.Marc* wykorzystującym metodę elementów skończonych [2, 12].

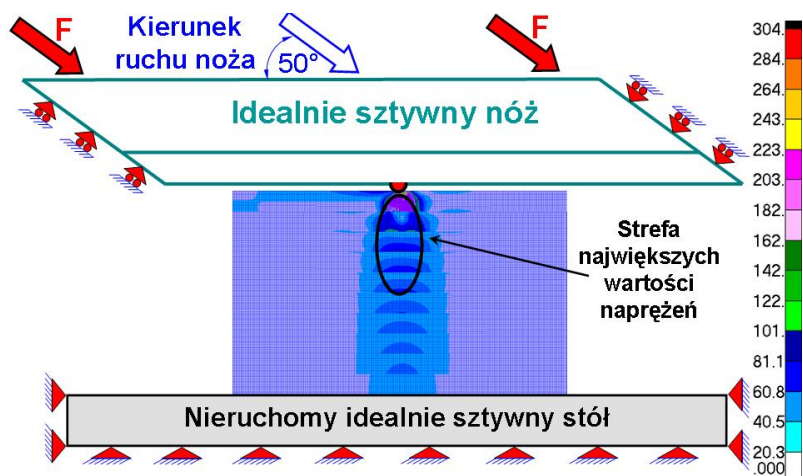
W celu zestawienia i porównania dużej ilości wyników zdecydowano się na obliczenia energii całkowitej odkształcenia pakietu blach wywołanej stałą wartością siły obciążającej nóż i odpowiadającej losowo pojawiającemu się uszkodzeniu na ostrzu noża. Energię obliczano na podstawie autorskiego programu komputerowego „*Energy*”, opracowanego przy użyciu języka programowania obiektowego C++, w którym zaprojektowano strukturę dynamiczną w postaci listy dwukierunkowej. Program pozwolił na: importowanie wyników stanu naprężeń i stanu odkształceń dla każdego elementu skończonego, obliczenie energii odpowiadającej pojedynczemu elementowi i sumowanie jej po wszystkich elementach skończonych. Umożliwiło to obliczenie sumarycznej energii odkształcenia i porównanie wyników przeprowadzonych dwudziestu jeden nieliniowych analiz wytrzymałościowych.

5. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

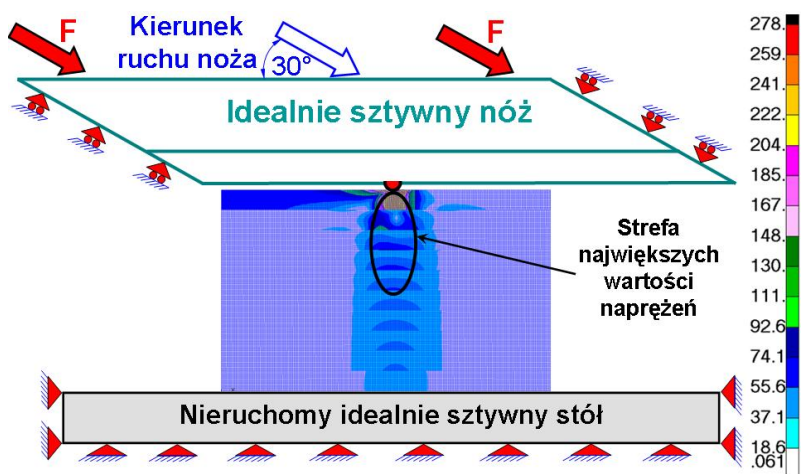
Wyniki obliczeń wskazują, że obszary największych koncentracji naprężeń mają charakter pionowych kraterów, a swoim kształtem przypominają losowo pojawiające się uszkodzenia często obserwowane na powierzchni przecinanych pakietów blach [5, 6, 8], niezależnie od kierunku ruchu noża (rys.: 4, 5 i 6).



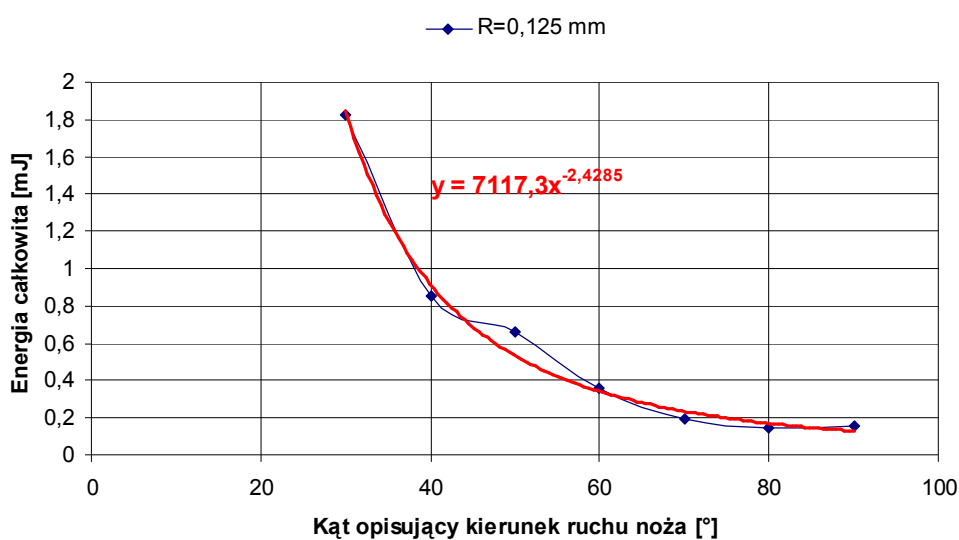
Rys. 4. Mapa naprężeń redukowanych Hubera [MPa] odpowiadająca pionowemu kierunkowi ruchu noża ($\alpha = 90^\circ$)



Rys. 5. Mapa naprężeń redukowanych Hubera [MPa] odpowiadająca kierunkowi ruchu noża realizowanego pod kątem $\alpha = 50^\circ$

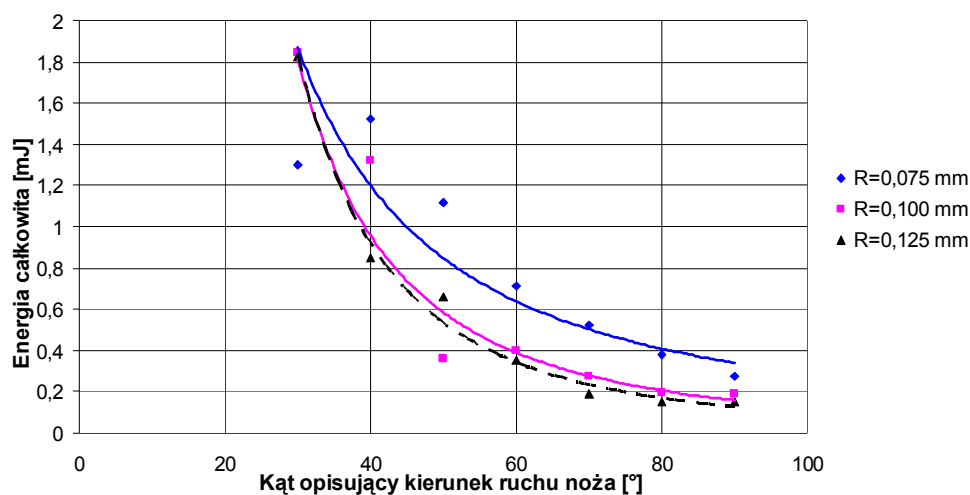


Rys. 6. Mapa naprężeń redukowanych Hubera [MPa] odpowiadająca kierunkowi ruchu noża realizowanego pod kątem $\alpha = 30^\circ$



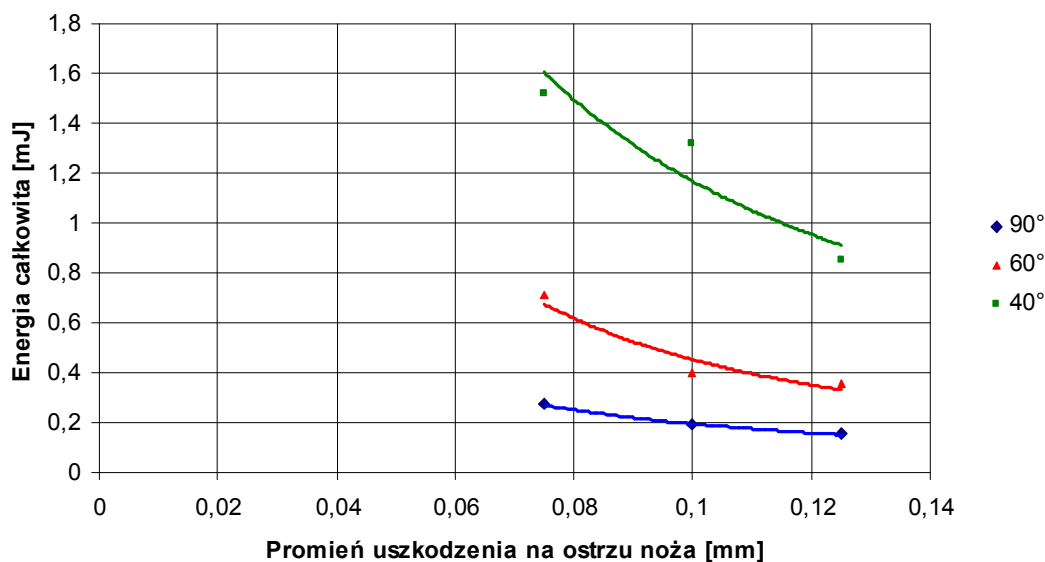
Rys. 7. Energia całkowita odkształcenia pakietu w funkcji kąta opisującego kierunek ruchu noża, odpowiadająca uszkodzeniu w kształcie półkola o promieniu $R=0,125\text{mm}$

Na rys. 7 można zaobserwować, że wraz ze wzrostem kąta określającego kierunek ruchu noża spada wartość całkowitej energii odkształcenia w pakiecie.



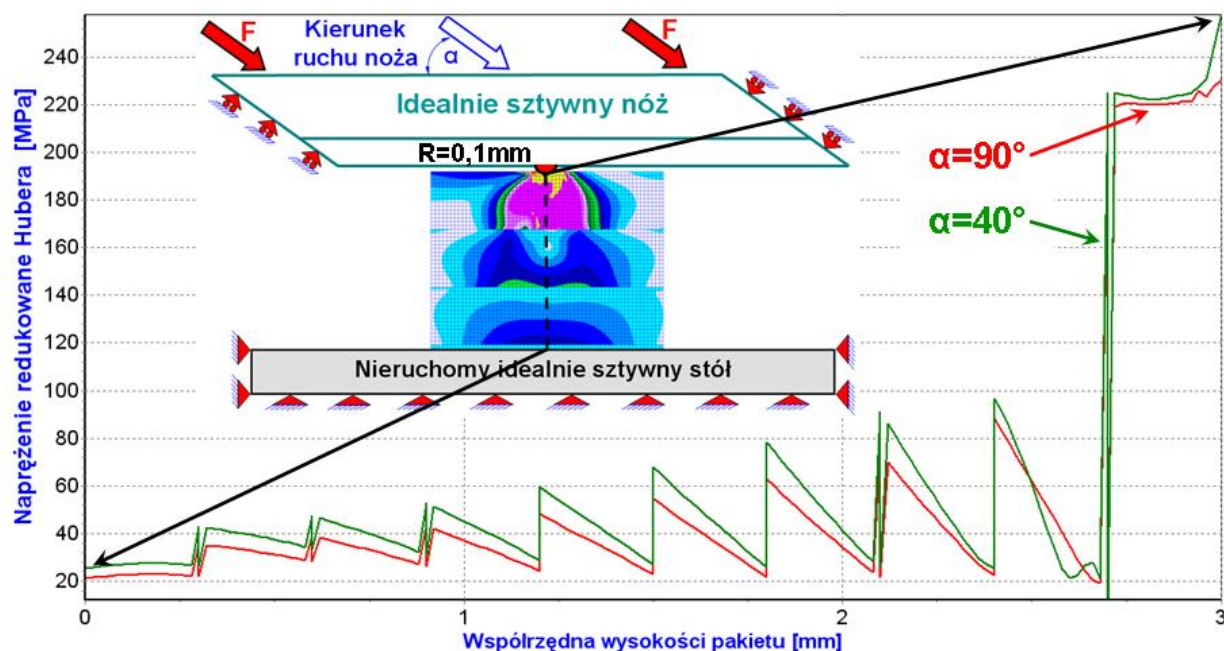
Rys. 8. Porównanie energii całkowitych odkształcenia pakietu w funkcji kąta opisującego kierunek ruchu noża, odpowiadających uszkodzeniom w kształcie półkola dla trzech różnych promieni

Porównując przebiegi energii całkowitej w pakiecie dla trzech różnych promieni uszkodzeń na nożu w kształcie półkoli, można zauważyć, że jest ona tym mniejsza, im większy jest promień uszkodzenia pojawiającego się losowo na ostrzu noża (rys. 8).



Rys. 9. Porównanie energii całkowitych odkształcenia pakietu w funkcji wielkości promienia uszkodzenia dla trzech wybranych kierunków ruchu noża: $\alpha=40^\circ$, 60° i 90°

Natomiast porównując przebiegi energii całkowitych odkształceń w pakiecie w funkcji promienia uszkodzenia na ostrzu noża, można zauważyć, że energie te maleją wraz ze wzrostem promienia uszkodzenia na ostrzu noża i przebiegi te charakteryzują się tym mniejszymi wartościami energii, im większy jest kąt opisujący kierunek ruchu noża (rys. 9).



Rys. 10. Porównanie przebiegów naprężeń redukowanych Hubera w funkcji współrzędnej wysokości pakietu dla dwóch wybranych kątów opisujących kierunki ruchu noża, odpowiednio: $\alpha=40^\circ$ i 90°

Porównując wybrane przebiegi naprężeń redukowanych Hubera w funkcji współrzędnej wysokości pakietu oznaczonej pionową linią przerywaną (rys. 10) można zaobserwować, że naprężenia te rosną wraz ze zmniejszaniem się kąta odpowiadającego kierunkowi ruchu noża.

6. WNIOSKI

Obszary największych koncentracji naprężeń mają charakter pionowych rys, a swym kształtem przypominają uszkodzenia losowo pojawiające się na ciętych powierzchniach blach.

Wspomniane pionowe rysy w pakietach blach mogą być wywoływane przez losowo pojawiające się uszkodzenia na ostrzu noża w postaci wyszczerbienia się noża lub podczas tworzenia się narostu na ostrzu.

Pojawiające się defekty na ostrzu oddziałują na pakiet, wywołując w nim pionowy rozkład naprężeń niezależnie od kierunku ruchu noża (maksymalne wartości naprężeń są większe od granicy plastyczności).

Wraz ze zmniejszaniem się kąta opisującego kierunek ruchu noża i ze zmniejszaniem się promienia uszkodzenia na ostrzu noża rośnie energia całkowita odkształcenia w pakiecie i rosną naprężenia, a tym samym wzrasta prawdopodobieństwo pojawienia się defektu w postaci pionowej rysy w pakiecie blach.

Badania są realizowane w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, grant nr *NN503 326435*.

LITERATURA

1. Atkins T.: The science and engineering of cutting. The mechanics and processes of separating, scratching and puncturing biomaterials, metals and non-metals. Oxford: Elsevier, 2009.
2. Bathe K. J.: Finite element Procedures. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall, 2007.
3. Bouzakis K. D., Gerardis S., Katirtzoglou G., Makrimalakis S., Michailidis N., Lili E.: Increasing tool life by adjusting the milling cutting conditions according to PVD films' properties. "CIRP Annals – Manufacturing Technology" 2008, 57, p. 105-108.
4. Bouzakis K. D., Gerardis S., Katirtzoglou G., Makrimalakis S., Bouzakis A., Cremer R., Fuss H. G.: Application in milling of coated tools with rounded cutting edges after the film deposition. "CIRP Annals – Manufacturing Technology" 2009, 58, p. 61-64.
5. Kaczmarczyk J., Gąsiorek D., Mężyk A., Skibniewski A.: Modelowanie przyczyn powstawania defektów w ustalonym procesie cięcia płyt na gilotynach. „Modelowanie Inżynierskie” 2007, z. 34, 7. 3, s.61-66.
6. Kaczmarczyk J., Gąsiorek D., Mężyk A., Skibniewski A.: Connection between the defect shape and stresses, which cause it in the bundle of sheets being cut on guillotines. ZN Kat. Mech. Stos. Pol. Śl. s. "Modelling and Optimization of Physical Systems" .2007, No. 6, p. 81-84.
7. Kaczmarczyk J.: Optimisation of heating process of bundle of sheets made of steel during cutting on a guillotine. ZN Kat. Mech. Stos. Pol. Śl. s. "Modelling and Optimization of Physical Systems" 2009, p. 59-66.
8. Mężyk A., Rak Z., Gąsiorek D., Machoczek T., Kaczmarczyk J., Skibniewski A.: Analiza procesu cięcia pakietu blach na gilotynie. W: V Międzynarodowe Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji Augustów 2009, s. 225÷228.
9. Umbrello D., Filice L.: Improving surface integrity in orthogonal machining of hardened AISI 52100 steel by modeling white and dark layers formation. " CIRP Annals – Manufacturing Technology" 2009, 58, p. 73-76.
10. Shaw M. C.: Metal cutting principles. Oxford University Press 2005.
11. Wit G.: Podstawy skrawania materiałów metalowych. Warszawa : WNT, 1998.
12. Zienkiewicz O. C, Taylor R. L.: The finite element method. Butterworth-Heinemann 2000.

MODELLING OF DEFECTS OCCURRING ON A CUTTING TOOL DURING CUTTING ON A GUILLOTINE

Summary. In the paper the state of stress and strain in bundles of steel sheets induced by randomly occurring defects on the blade of the cutting tool during cutting process on a guillotine using the finite element method has been introduced. The defects on the cutting tool have been modelled in the shape of semicircles with different discrete values of the radii. The main movement of the cutting tool at a certain angle which varies in an established range related to the horizontal table was analysed. That range was divided into several discrete values and the analysis of its influence on the occurring zones of stress and energy concentration in the bundles being cut was performed.