

MODELOWANIE POŁĄCZEŃ CZĘŚCI MASZYN

/4/

Część teoretyczna

1. Połączenia w budowie maszyn

Połączenia w budowie maszyn pozwalają na stałe zespolenie ze sobą różnych komponentów lub na ich wzajemne przemieszczanie się według z góry przyjętych reguł.

Złożoność współczesnych maszyn i urządzeń oraz różnorodność materiałów używanych do ich projektowania sprawia, że proces tworzenia połączeń jest nieunikniony. Ponadto wykonanie konstrukcji z wielu mniejszych komponentów zamiast z jednego kawałka materiału ma wiele zalet. Zgodnie z [2] są to:

- względy funkcjonalne – łatwiejszy transport; możliwość wymiany tylko uszkodzonego komponentu; łatwiejsza segregacja odpadów; możliwość użycia różnych materiałów w różnych częściach konstrukcji zależnie od wymagań
- względy wytwarzania – optymalizacja zużycia materiału; łatwe wykonanie elementów składowych; montaż całości na miejscu przeznaczenia
- względy ekonomiczne – użycie tańszych materiałów w częściach konstrukcji, gdzie jest to możliwe; tańsze metody wytwarzania; automatyzacja łączenia
- względy estetyczne – możliwość zastosowania powłok ozdobnych (forniry, folie); uzyskiwanie złożonych kształtów

2. Łączenie przez kształtowanie.

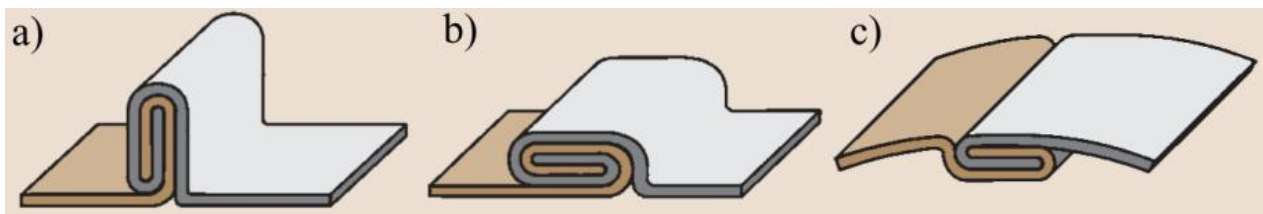
Jednym ze sposobów na wykonanie połączeń nierozłącznych jest plastyczne kształtowanie łącznika lub samych łączonych części. W pierwszym przypadku łącznikiem może być nit, który zakuwa się po włożeniu do przygotowanych w elementach łączonych otworów. W drugim przypadku elementy, najczęściej blachy, łączone są poprzez zagięcie ich brzegów, połączenie zaginane, lub poprzez miejscowe przetłoczenie, połączenie typu Tox.

Coraz szersze zastosowanie tego typu połączeń wynika z faktu, że nie naruszają one struktury chemicznej łączonych materiałów, jak to ma miejsce na przykład przy spawaniu, gdzie wymagane jest doprowadzenie dużej ilości ciepła. Pozwala to łączyć nowoczesne materiały, których wysokie własności mechaniczne uzyskuje się często poprzez obróbkę cieplną. Inne zalety to możliwość łączenia ze sobą różnych materiałów lub elementów o różnej grubości, brak konieczności usuwania powłok wierzchnich (jak przy klejeniu), niski koszt wykonania oraz ekologiczność. Do wad połączeń kształtowanych plastycznie można zaliczyć brak standaryzacji i wiarygodnych metod obliczeniowych, zwykle muszą to być połączenia zakładkowe, utrudniona korekta lub naprawa połączenia, występowanie zjawisk lokalnych w przypadku połączeń nitowych.

Jedną z wad połączeń kształtowanych plastycznie jest również trudność oceny poprawności i jakości wykonania. Wytrzymałość połączenia ocenia się zwykle w statycznych próbach ścinania lub odrywania. Dla zapewnienia jakości można monitorować proces tworzenia złącza poprzez pomiar siły wywieranej przez stempel i czas trwania obciążenia (połączenie typu Tox), analizę wzrokową przekroji połączeń i ich symetrii, wyszukiwanie pęknięć łączonych blach.

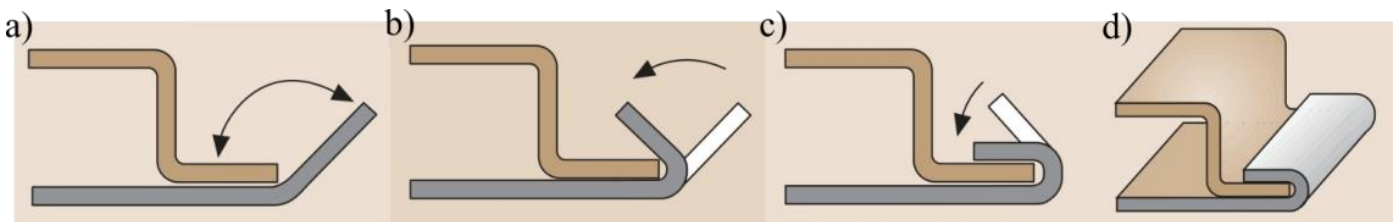
3. Połączenia zaginane

Połączenia zaginane wykonuje się poprzez ukształtowanie krawędzi złączonych ze sobą dwóch cienkich blach, zwykle o grubości do 2 mm. Połączenie może przenosić obciążenia dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu i tarcu między dociśniętymi blachami. W zależności od potrzeb połączenie takie może przyjmować różne formy, jak na Rys. 1.



Rys. 1 Przykłady połączeń zaginanych [1]

Proces tworzenia połączenia przebiega w kilku etapach. Pierwszy z nich to dopasowanie łączonych części. Może się to odbywać przez częściowe zagięcie jednego lub obu elementów. Potem następuje właściwe zagięcie, a ostatnim etapem jest dogięcie i dociśnięcie połączenia. Ostatni etap zapewnia powstanie odkształceń plastycznych zapewniających tarcie między blachami, zapobiega częściowemu odgięciu blach wskutek sprężystości materiału oraz zapewnia szczelność połączenia. Przykładowy proces wykonywania połączenia przedstawiono na Rys. 2.

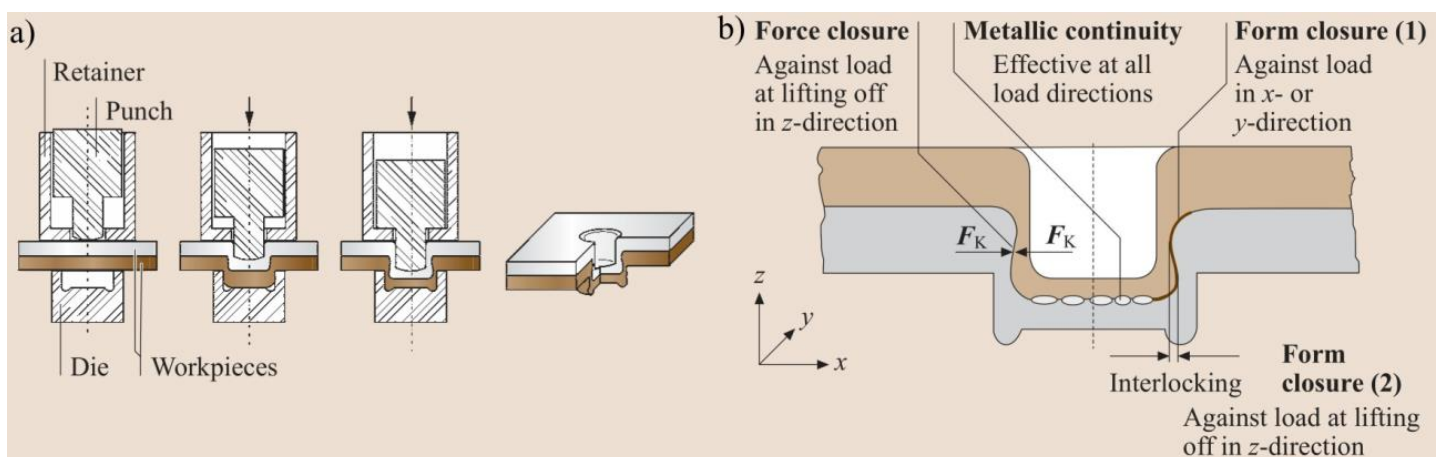


Rys. 2 Wykonywanie połączenia zaginanego [1]

Połączenie zaginane stosowane jest tam, gdzie konieczne jest łączenie różnych materiałów. Typowe zastosowania to szyby wentylacyjne i klimatyzacyjne (aluminium), karoseria samochodu (stal, połączenie stal-aluminium), biżuteria (metale szlachetne). Ponieważ połączenie to wykonywane jest bez dodatkowych łączników, nie ma konieczności wykonywania otworów w blachach, dzięki czemu zachowana jest ciągłość materiału, co zapobiega powstawaniu spiętrzeń naprężeń. Połączenie wykonane z różnych materiałów narażone jest na korozję.

4. Połączenia typu Tox

Połączenie to jest kolejnym przykładem łączenia blach bez użycia dodatkowych łączników. Wykonanie połączenia polega na częściowym punktowym przetłoczeniu blach jak przedstawiono na Rys. 3. Kształt powstałej wypukłości zależy od kształtu stempla i matrycy. Obciążenie przenoszone jest dzięki ukształtowaniu złącza, siłom tarcia między blachami oraz, gdy powierzchnie łączonych blach są dodatkowo przygotowane, dzięki trwałemu połączeniu blach na dnie złącza.



Rys. 3 Wykonywanie i praca połączenia typu Tox [1]

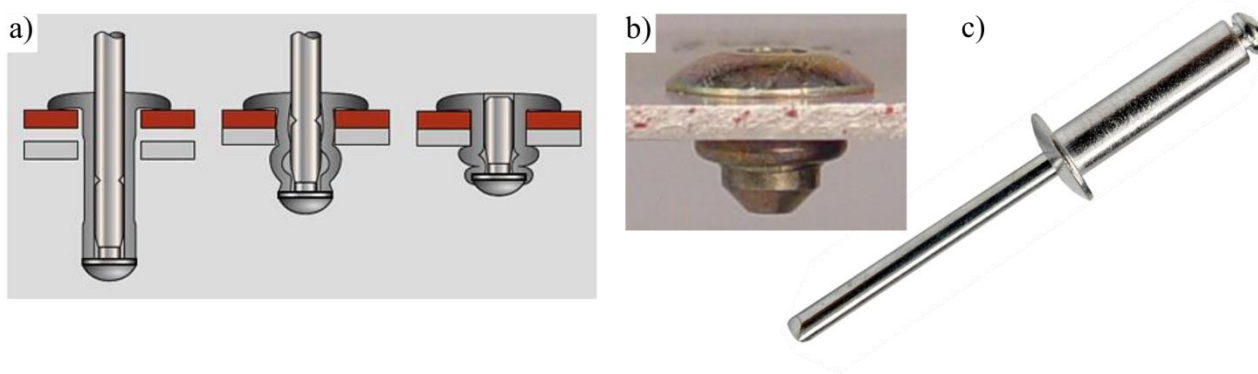
Typowe zastosowanie połączeń typu Tox to łączenie elementów karoserii samochodowej, szybów wentylacyjnych oraz obudowy sprzętu gospodarstwa domowego takiego jak pralki czy zmywarki. Materiały łączone w ten sposób muszą odznaczać się dużą ciągliwością, aby nie dochodziło do przerwania materiału.

Najczęściej łączy się blachy aluminiowe i stalowe o grubości do 6 mm. Złącze wykonane połączeniami typu Tox powinno być obciążane siłami tnącymi.

5. Połączenia nitowe

Nową wersją klasycznego połączenia nitowego jest połączenie wykonane przy pomocy nitów zrywalnych (ang. *blind rivet*). Aby założyć klasyczny pełny nit wymagany jest dostęp z obu stron połączenia oraz użycie dużej siły. Ponadto łatwo można uszkodzić łączone elementy. Do założenia nita zrywalnego wystarczy dostęp z jednej strony i znacząco mniejsza siła.

Nit zrywalny składa się z dwóch części. Nita właściwego, w postaci rurki, i czpienia służącego do formowania łba po niewidocznej stronie (łba zamykającego). W zależności od typu nita, czpień albo wylatuje po spełnieniu swojej funkcji, albo pozostaje w rurkowym nicie wzmacniając go. Ponieważ czpień musi odkształcić nit, wykonuje się go z mocniejszego materiału. Dostępne są nity aluminiowe, stalowe i miedziane, co pozwala dopasować je do materiału łączzonego i uniknąć korozji. Zaletą połączeń nitowych jest to, że nie ma dodatkowych wymagań co do własności mechanicznych łączonych materiałów, np. ciągliwość, jak przy zaginaniu. Konieczne jest wcześniejsze wykonanie otworów. Nitami zrywalnymi można łączyć blachy o łącznej grubości od 0,5 mm do 20 mm.



Rys. 4 Nity zrywalne

6. Wyznaczanie własności mechanicznych materiałów

Twardość materiału H , mierzona metodami statycznymi, jest wyrażana poprzez średnie ciśnienie kontaktowe pod wglębniakiem, które nie wzrasta wraz ze wzrostem siły – następuje płynięcie materiału przy stałym ciśnieniu. Wyniki badań pokazują, że ciśnienie to jest proporcjonalne do granicy plastyczności R_e

$$H \approx C \cdot R_e.$$

Dla metali o dużym stosunku modułu Younga do granicy plastyczności, stała C jest równa w przybliżeniu 2,8 [3].

Literatura

1. Grote K.H., Antonsson E. (eds.), *Springer handbook of mechanical engineering*, Springer, 2009
2. Messler R.W., *Joining of materials and structures*, Elsevier, Amsterdam, 2004
3. Herrmann K., *Hardness Testing: Principles and Applications*, ASM International, 2011

Omówienie ćwiczenia

Przedmiot badań i cel ćwiczenia

Przedmiotem badań jest próbka połączenia zaginanego. Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wybranymi połączeniami kształtowanymi plastycznie i analiza jednego z nich.

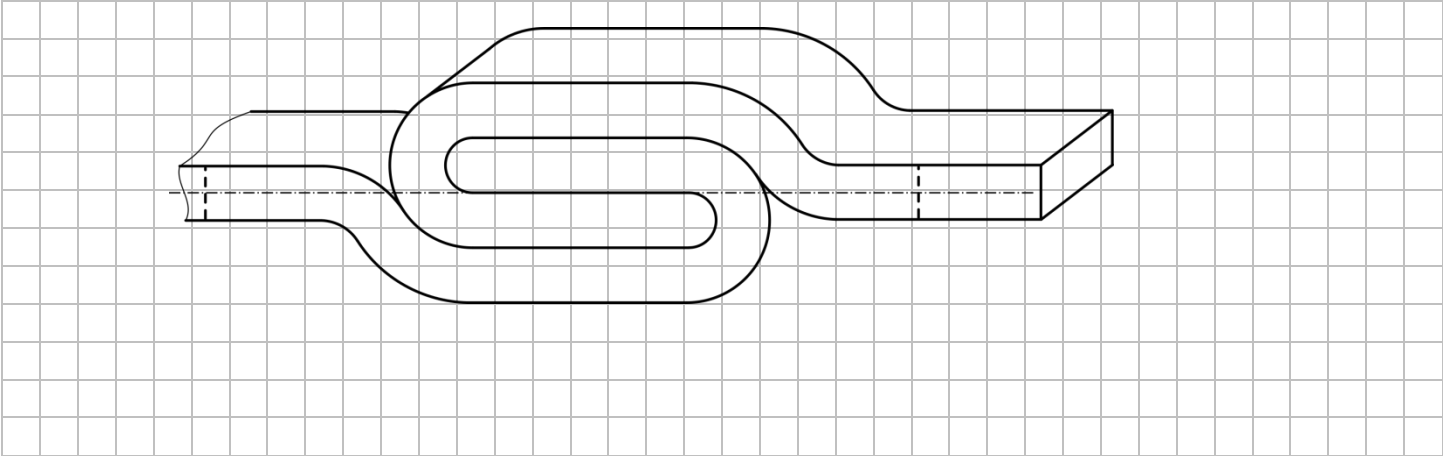
Przebieg ćwiczenia

1. Przygotować rysunek wykonawczy dostarczonej próbki.
2. Opisać stanowisko badań: przyrządy i urządzenia wykorzystywane w czasie realizacji ćwiczenia; oprogramowanie do analizy MES.
3. Na podstawie próby twardości wykonanej metodą Brinell'a oszacować wartość granicy plastyczności materiału próbki; wartość tą wykorzystać przy modelowaniu materiału w analizie MES.
4. Zaproponować model MES połączenia, który będzie użyty do symulacji próby rozciągania:
 - wybrać typ analizy,
 - przygotować model materiału,
 - zaproponować model geometryczny (3D; 2D),
 - wybrać element skończony,
 - zaproponować sposób obciążenia próbki w dwóch wariantach: z uwzględnieniem docisku w czasie tworzenia połączenia i bez docisku,
 - zaproponować sposób podparcia,
 - wybrać rodzaj i miejsce kontaktu.
5. Przedstawić wyniki badań:
 - wykres rozciągania z maszyny wytrzymałościowej z zaznaczonym maksymalnym obciążeniem (intensywność siły)
 - wykres rozciągania z analizy MES (przygotować w arkuszu kalkulacyjnym)
 - wykres zależności maksymalnego obciążenia od długości zagięcia
6. Biorąc pod uwagę proces przygotowania i badania dostarczonej próbki oraz przyjęty model obliczeniowy MES porównać wyniki otrzymane obiema metodami. Zasugerować modyfikację modelu MES. Skomentować wpływ długości zagięcia na przenoszone obciążenie.

<div> <div>MODELOWANIE WSPOMAGAJĄCE PROJEKTOWANIE MASZYN</div> <div>LABORATORIUM</div> </div>			
Osoby wykonujące ćwiczenie:		Tytuł ćwiczenia <div> <div>MODELOWANIE POŁĄCZEŃ</div> <div>CZĘŚCI MASZYN</div> </div>	
Wydział/kierunek/semestr/typ studiów		Grupa lab.	Data wykonania ćwiczenia
			Podpis prowadzącego

1. Przedmiot badań

Przedmiotem badań jest próbka połączenia zaginanego przedstawiona na Rys. 1.



Rys. 1. Rysunek próbki połączenia zaginanego

2. Opis stanowiska badań (narzędzia, maszyny, oprogramowanie)

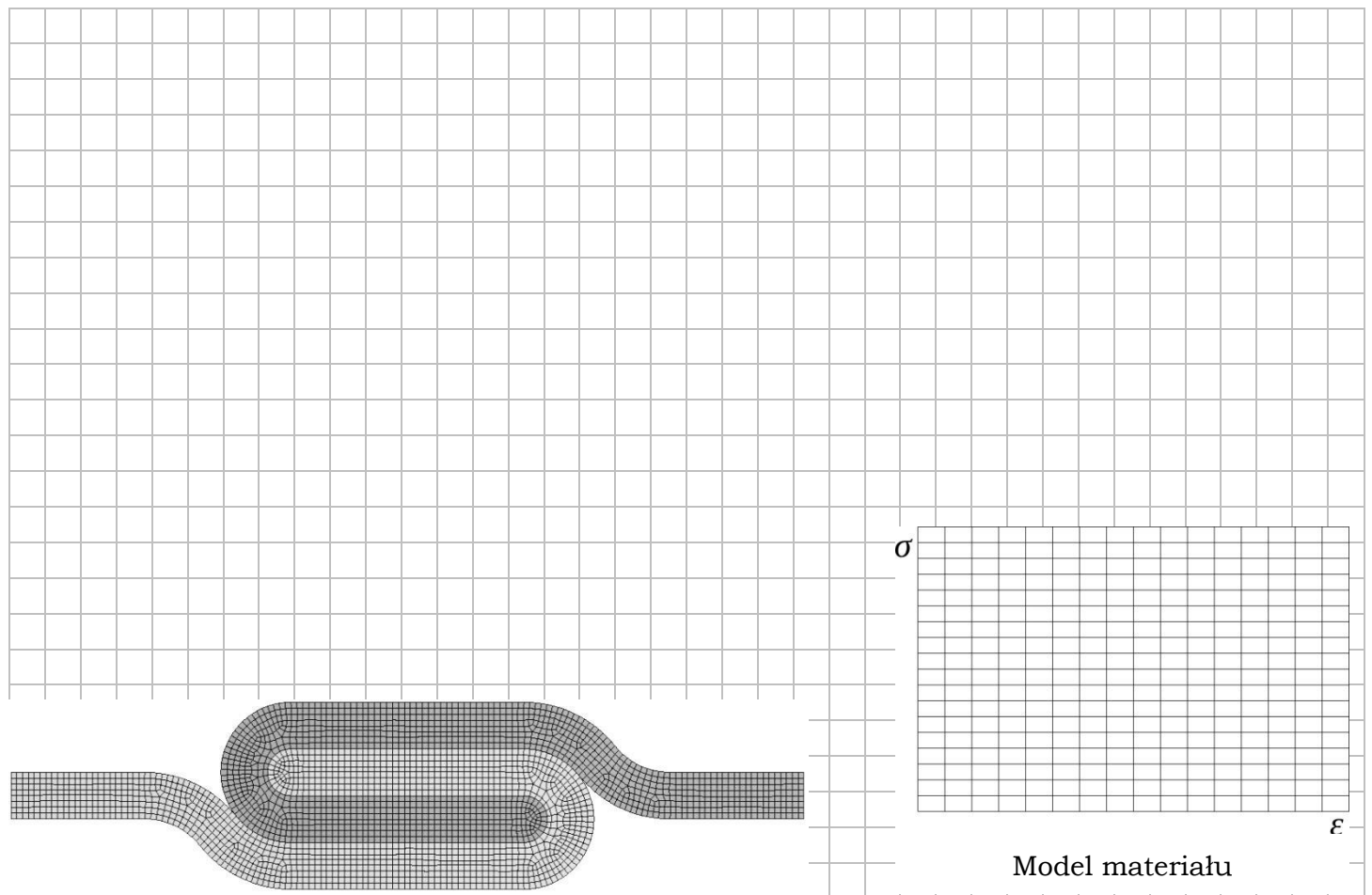
[illegible]

3. **Wyznaczanie własności mechanicznych materiału próbki** (zbadać twardość próbki metodą Brinella i na jej podstawie wyznaczyć granicę plastyczności)

[illegible]

4. Model MES połączenia

(zaznaczyć obszar kontaktu; zaproponować rodzaj kontaktu; zaznaczyć podparcie i obciążenie; zaproponować model materiału)



Rys. 2. Model MES próbki zginanej

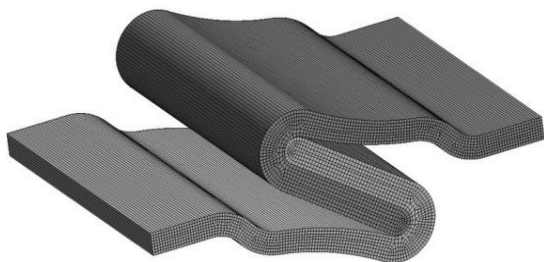
5. Wyniki badań

5.1. Wynik próby rozciągania próbki

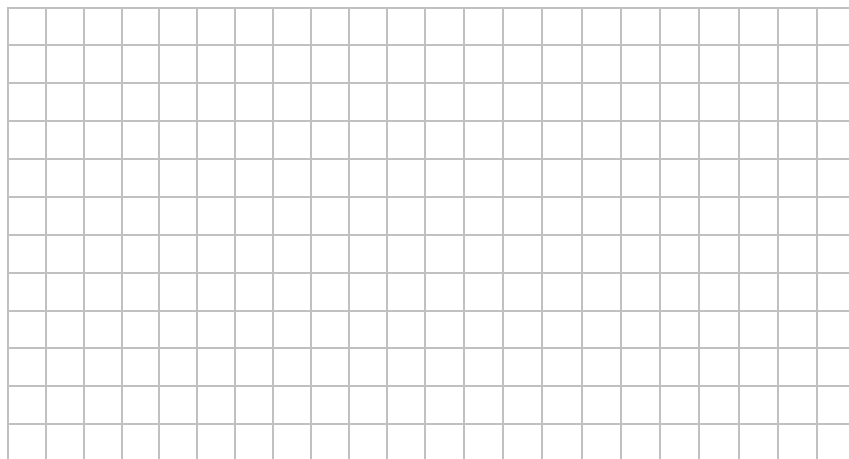
Rys. 3. Wykres rozciągania próbki zginanej

5.2. Wyniki analizy MES

Poniżej przedstawiono deformację ($\times 5$) modelu połączenia zagiętego w momencie osiągnięcia przez materiał granicy plastyczności oraz wykres rozciągania.



Rys. 4. Deformacja modelu MES



Rys. 5. Wykres rozciągania próbki (MES)

6. Badanie wpływu geometrii połączenia na przenoszone obciążenie (opracować wykres zależności maksymalnego obciążenia od długości połączenia)



7. Porównanie wyników i wnioski

