

Michał Grązka ¹⁾

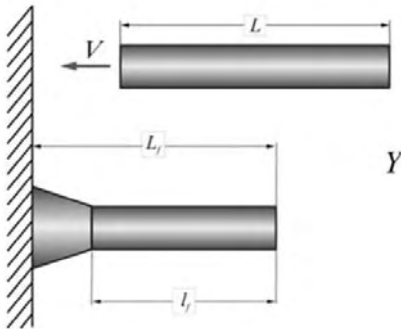
ANALIZA NUMERYCZNA DEFORMACJI WALCOWEJ PRÓBKII W ZDERZENIOWYM TEŚCIE TAYLORA

Streszczenie: Przedstawiony niżej artykuł jest poświęcony komputerowym badaniom deformacji próbki osiowo symetrycznej w zderzeniowym teście Taylora. Badania te zostały wykonane w celu przebadania wrażliwości numerycznego modelu zaproponowanego do opisu zjawiska testu Taylora. Podczas tych badań numerycznych rozpatrzono kilka rodzajów najczęściej wykorzystywanych siatek MES-owych. Badania te miały na celu przebadanie jak poszczególne rodzaje siatki wpływają na uzyskiwane wyniki. Kolejny krok, jaki zrealizowano, to porównano uzyskane wyniki z wynikami z badań laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: Test Taylora, analiza MES.

TEST TAYLORA

Test Taylora jest jednym z podstawowych metod badań dynamicznych właściwości materiałów. Metoda ta polega na dynamicznym uderzeniu osiowo symetrycznej próbki w idealnie sztywną i nieodkształcalną przegrodę. Podczas takiego uderzenia dochodzi do deformacji. Deformacja ta jest związana z pojawieniem się w badanej próbce fali plastycznej, która prowadzi do odkształcenia czołowej części próbki. Konsekwencje takiego uderzenia przedstawiono na rysunku 1.



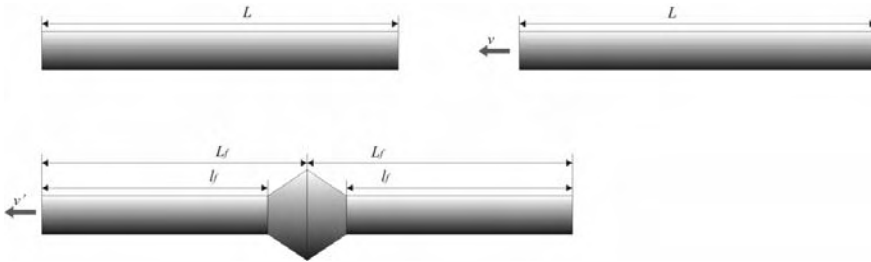
$$Y = \frac{\frac{1}{2} \rho V^2 \left(1 - \frac{l_f}{L}\right)}{\left(1 - \frac{L_f}{L}\right) \ln\left(\frac{L}{l_f}\right)}$$

Rys. 1. Istota testu Taylora [1]

Fala plastyczna deformuje próbkę, a stopień tej deformacji jest miarą dynamicznych właściwości materiału. Pozyskane pomiary deformacji pozwalają w głównej mierze badać dynamiczną granicę plastyczności.

¹⁾ Wydział Mechatroniki, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie.

Opisany powyżej test Taylora jest określany jest mianem klasycznego. Obecnie można w literaturze znaleźć również informacje o tak zwanym symetrycznym teście Taylora (rys. 2). Modyfikacja polega na tym, że zamiast do sztywnej przegrody próbek jest strzelana z prędkością v do drugiej takiej samej próbki. Jedna z próbek jest nieruchoma do momentu zderzenia. Na skutek zderzenia próbki ulegają deformacji w części czołowej i jednocześnie zaczynają poruszać się wspólnie z prędkością v' . Mamy tu do czynienia ze zderzeniem plastycznym, w wyniku którego próbki ulegają deformacji (występują te same mechanizmy deformacji jak w przypadku klasycznego testu Taylora). Obie metody badań są bardzo zbliżone do siebie, jedyną różnicą to brak tarcia w przypadku symetrycznego testu Taylora.



Rys. 2. Istota symetrycznego testu Taylora

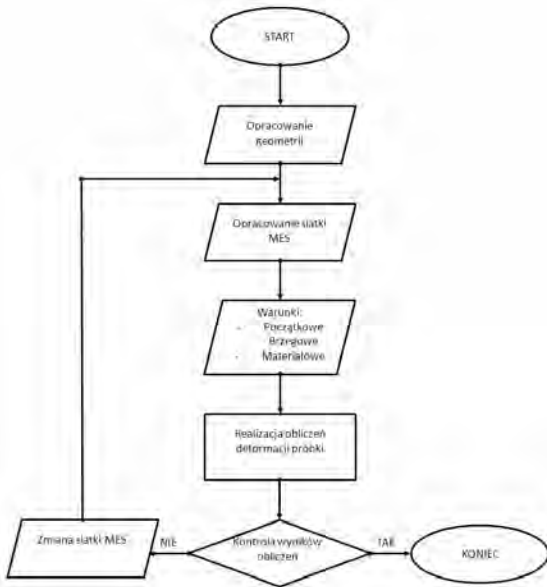
Tak zdeformowane próbki podlegają następnie pomiarom stopnia deformacji na podstawie, której wyznaczane są dynamiczne właściwości materiału próbki.

BADANIA SYMULACYJNE

W związku z szeregiem prac realizowanych na podstawie wyników z testu Taylora, zaistniała potrzeba przeprowadzenia tego rodzaju testu na obiektach wirtualnych. Dlatego podjęto próby przeprowadzenia symulacji komputerowych testu Taylora. W pracy główną wagę zwrócono na dobór rodzaju siatki elementów skończonych. Symulacje zderzeniowego testu Taylora zostały zrealizowane w oprogramowaniu Ansys 12.1. Realizacja tego zagadnienia była robiona pod kątem doboru siatki MES. Kroki, według których postępowano, przedstawiono na rys. 3.

Podczas przeprowadzonych symulacji komputerowych główny nacisk został położony na przebadanie wpływu kształtu siatki na uzyskiwane wyniki. Do symulacji ustalono następujące warunki początkowe:

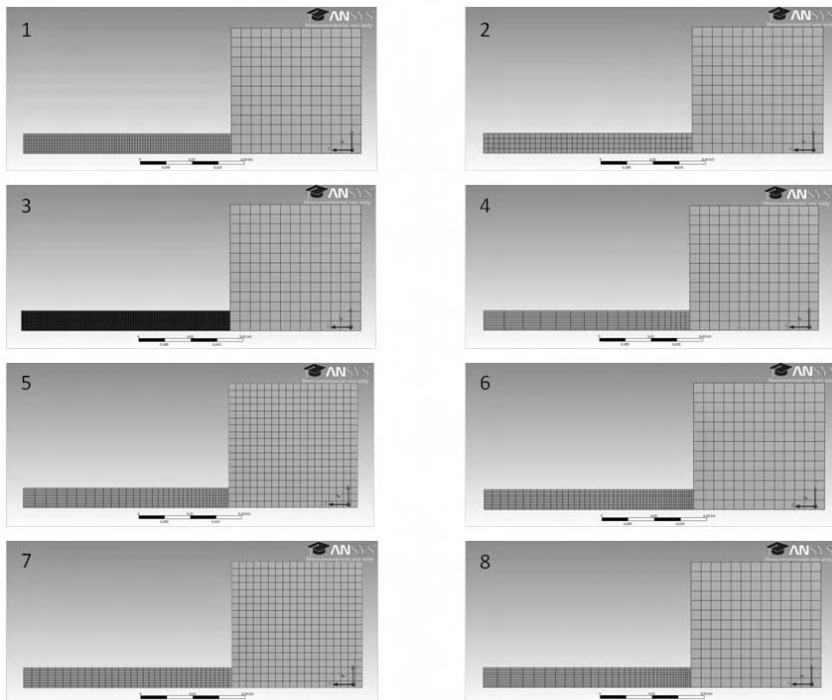
- obliczenia realizowano na jednej czwartej badanego układu (układ symetryczny);
- prędkość uderzenia próbki stała dla każdego przypadku i równa 132,5 [m/s];
- próbka posiadała wymiary średnica 8 [mm], długość 40 [mm];
- tarcza traktowana była jako sztywna, próbka odkształcalna;
- materiał tarczy - stal narzędziowa, materiał próbki - miedź (Cu-EPT);
- czas trwania symulacji 10 [ms].



Rys. 3. Algorytm realizacji zadania

Parametrem, który ulegał zmianie podczas symulacji był kształt oraz wielkość stosowanego elementu skończonego. Użyte zostały elementy tetragonalne oraz heksagonalne. Elementy te zastosowano do podziału tarczy i próbki. Tarcza traktowana jako sztywna nie ulegała deformacji, dlatego zastosowano do jej podziału jeden rodzaj elementu, heksagonalny o wielkości elementu 2 [mm]. Próbkę, która była poddawana deformacji podzielona była na następujące elementy (rys. 4).

Zastosowane siatki heksagonalne charakteryzowały się następującymi właściwościami (tabela 1).



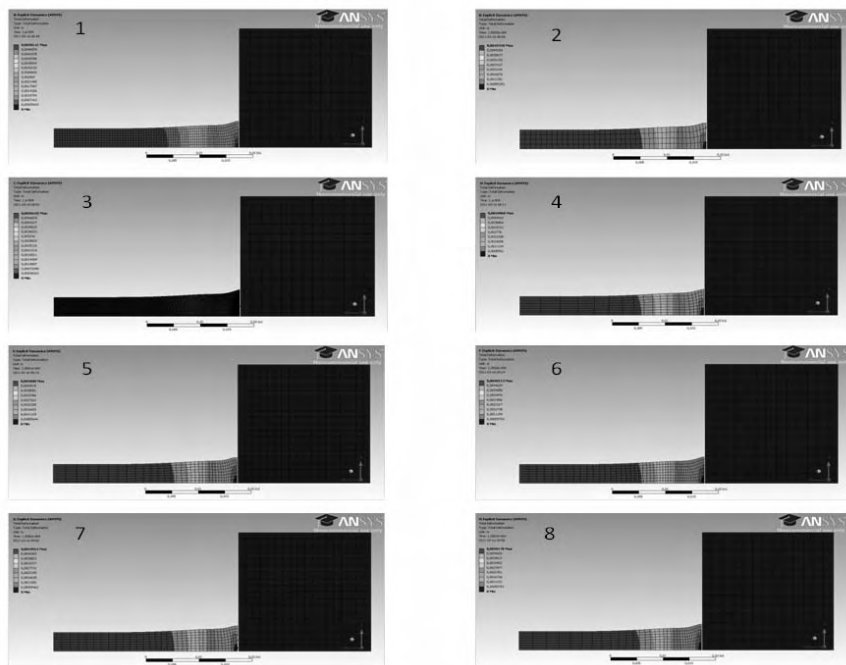
Rys. 4. Widok siatki heksagonalnej zastosowanej do modelu

Tabela 1. Wartości parametrów siatki

Właściwość \ Numer siatki	1	2	3	4	5	6	7	8
Liczba węzłów	9143	3810	583944	4403	9703	6773	9703	5588
Liczba elementów	7237	2877	553615	3457	8037	5347	8037	4402
Wielkość elementu [m]	0,0005	0,001	0,0001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Liczba elementów bias-u	-	-	-	20	35	50	35	35
Wartość współczynnika bias-u	-	-	-	5	5	5	2	8

Parametrami na podstawie, których oceniano zastosowane siatki, były:

- stopień deformacji całkowitej (mapa deformacji - rys. 5);
- stopień deformacji części czołowej.



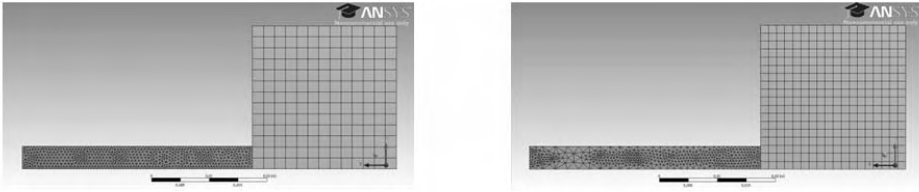
Rys. 5. Mapy deformacji próbek po uderzeniu w przeszkodę

Dla poszczególnych siatek o elementach heksagonalnych uzyskano następujące wartości parametrów deformacji:

Tabela 2. Wartości deformacji

Właściwość \ Numer siatki		1	2	3	4	5	6	7	8
Deformacja całkowita [mm]		0,00501	0,00497	0,00504	0,00500	0,00501	0,00502	0,00499	0,00502
Deformacja podstawy [m]	min.	0,00127	0,00144	0,00156	0,00119	0,00116	0,00138	0,00106	0,00135
	maks.	0,00158	0,00152	0,00161	0,00149	0,00153	0,00160	0,00144	0,00158
	średnia	0,00143	0,00148	0,00159	0,00134	0,00135	0,00149	0,00125	0,00146

Kolejnym krokiem zrealizowanym podczas analiz numerycznych było przeprowadzenie badań dla siatki tetragonalnej i mieszanej. Siatka tetragonalna została zastosowana dla próbek, elementy tarczy pozostały w formie zdyskretyzowanej heksagonalnie (rys. 6).



Rys. 6. Widok siatki tetragonalnej

Przeprowadzone analizy zrealizowane zostały dla takich samych warunków początkowych jak w przypadku badań na siatkach heksagonalnych. Podczas poszczególnych badań siatki charakteryzowały się następującymi parametrami:

Tabela 3. Wartości parametrów siatki

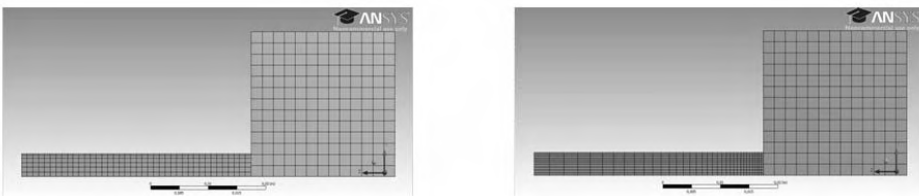
Właściwość \ Numer siatki	1	2	3	4	5	6	7	8
Liczba węzłów	10019	3681	101725	8703	13819	9861	13790	9404
Liczba elementów	37580	6726	545778	32507	40549	37228	40295	35504
Wielkość elementu [m]	0,0005	0,001	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Liczba elementów bias-u	-	-	-	20	35	50	35	35
Wartość współczynnika bias-u	-	-	-	5	5	5	2	8

Dla tak dobranych siatek uzyskano następujące wartości deformacji próbek:

Tabela 4. Wartości deformacji

Właściwość \ Numer siatki	1	2	3	4	5	6	7	8	
Deformacja całkowita [mm]	0,00503	0,00502	0,00504	0,00502	0,00503	0,00503	0,00503	0,00503	
Deformacja podstawy [m]	min.	0,00141	0,00148	0,00147	0,00127	0,00137	0,00126	0,00129	0,00125
	maks.	0,00160	0,00157	0,00161	0,00158	0,00159	0,00159	0,00158	0,00159
	średnia	0,00151	0,00152	0,00154	0,00142	0,00148	0,00143	0,00144	0,00142

Siatki mieszane zastosowane do kolejnej serii badań opierały się na elementach heksagonalnych, których wymiary były zmienne w zależności od położenia elementu dyskretnego od czoła badanej próbki (rys. 7).



Rys. 7. Widok siatki mieszanej

Wartość parametrów siatek zaprezentowanych na rysunku 7 i zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wartości parametrów siatki

Właściwość \ Numer siatki	1	2	3	4	5	6	7	8
Liczba węzłów	5655	4917	5655	5789	12079	10139	12079	7964
Liczba elementów	4517	3877	4517	4737	10277	8547	10277	6642
Wielkość elementu [m]	0,001	0,001	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Liczba elementów bias-u	-	-	-	20	35	50	35	35
Wartość współczynnika bias-u	-	-	-	5	5	5	2	8
Grubość inflacji	-	-	-	0,002	0,002	0,0015	0,002	0,0012
Współczynnik inflacji	-	-	-	1,5	1,7	1,2	1,5	1,5

Wyniki symulacji komputerowych (stopnia deformacji) dla wyżej przedstawionych siatek zebrano w tabeli 6.

Tabela 6. Wartości deformacji

Właściwość \ Numer siatki	1	2	3	4	5	6	7	8	
Deformacja całkowita [mm]	0,00501	0,00498	0,00500	0,00501	0,00502	0,00502	0,00501	0,00502	
Deformacja podstawy [m]	min.	0,00147	0,00117	0,00147	0,00123	0,00133	0,00140	0,00112	0,00140
	maks.	0,00153	0,00145	0,00153	0,00152	0,00159	0,00159	0,00153	0,00158
	średnia	0,00150	0,00131	0,00150	0,00137	0,00146	0,00149	0,00132	0,00149

Przeprowadzone analizy komputerowe miały na celu umożliwić określenie wpływu kształtu jak i wielkości elementu na jakość uzyskiwanych wyników. Dla uzyskanych wartości deformacji obliczono, wartość odchylenia standardowego. Wartości przedstawiono w tabeli 7.

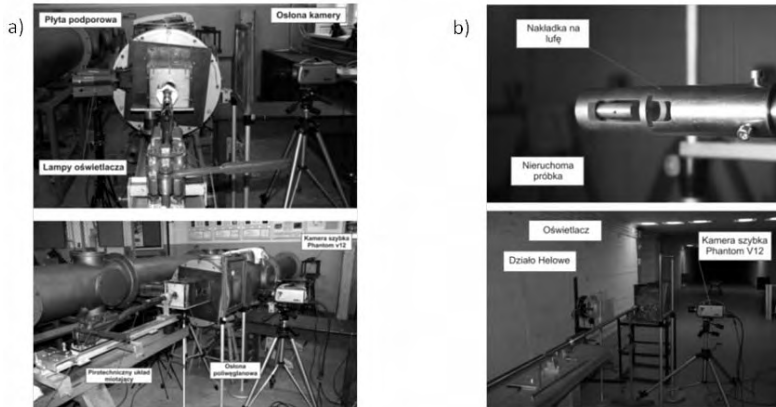
Tabela 7. Wartość odchylenia standardowego

Właściwość \ Numer siatki	heksagonalna	tetragonalna	mieszana	
Deformacja całkowita [mm]	2,13E-05	2,13E-05	6,52E-05	
Deformacja podstawy [m]	min.	1,63E-05	1,63E-05	9,58E-05
	maks.	5,91E-05	5,91E-05	1,33E-05
	średnia	1,06E-04	1,06E-05	4,91E-05

Wyniki uzyskane sugerują, że siatki mieszane wykazują najlepsze właściwości, jako obiekty służące dyskretyzacji tego rodzaju zagadnienia. Siatki tetragonalne jak i heksagonalne wykazują zbliżone wartości odchylen standardowych. Jednak podczas realizacji procesu obliczeń siatki heksagonalne pozwalały na uzyskanie krótszych czasów obliczeń, rzędu kilku minut to sugeruje wyższość siatki heksagonalnej nad tetragonalną. Czas obliczeń uzyskany dla siatki heksagonalnej był jednak porównywalny z czasem obliczeń realizowanych na siatkach mieszanych. Dla opisanych w pracy badań siatki mieszane wykazały się najlepszymi właściwościami. Jako element potwierdzający to stwierdzenie przeprowadzona została również analiza porównawcza kształtu deformacji próbki uzyskanej podczas badań na obiektach rzeczywistym i wirtualnym.

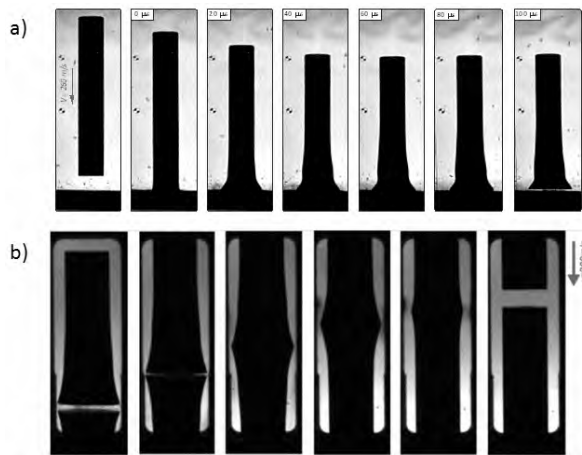
BADANIA LABORATORYJNE I PORÓWNANIE WYNIKÓW

Do badań rzeczywistych wykorzystane zostały próbki walcowe o stosunku średnicy do długości większej od 1:5. Badania przeprowadzono na stanowiskach (rys. 8).



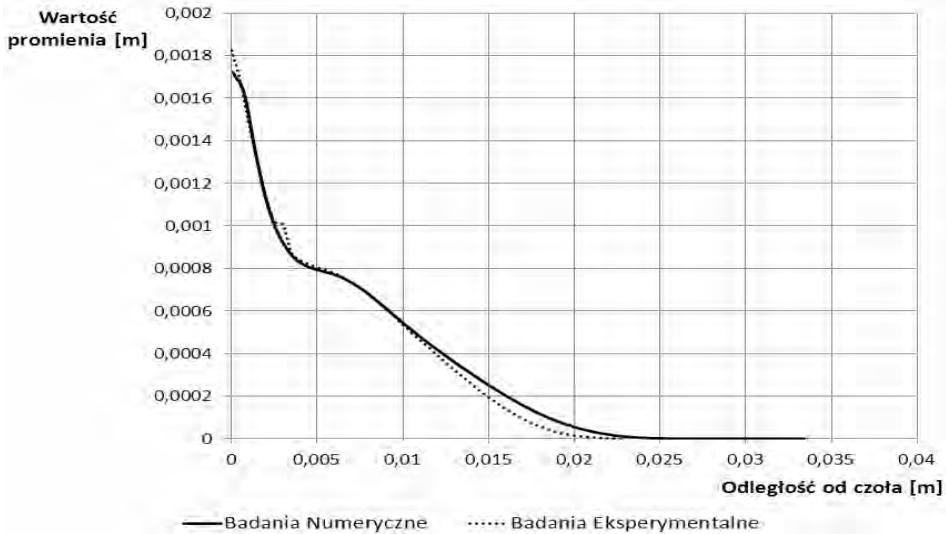
Rys. 8. Stanowisko do badań dynamicznych: a) stanowisko do klasycznego testu Taylora; b) stanowisko do symetrycznego testu Taylora

W wyniku badań uzyskane zostały następujące deformacje próbek



Rys. 9. Widok po klatkowy deformacji próbki: a) stanowisko do klasycznego testu Taylora; b) stanowisko do symetrycznego testu Taylora

Końcowym efektem była deformacja próbki a powierzchnia boczna przyjęła kształt (rys. 10):



Rys. 10. Kształt krawędzi bocznej próbki po deformacji

WNIOSKI

Przeprowadzone porównanie wyników badań doświadczalnych z rezultatami symulacji numerycznej te miały jedynie charakter jakościowy. Dokładna weryfikacja kształtu była niemożliwa z racji braku informacji co do rzeczywistych wartości stałych materiałowych miedzi branej do opisu modelu materiałowego. Badania symulacyjne wykonano w Ansys 12.1. Pomimo tych przeszkód uzyskany kształt w dużej części pokrywa się z wynikami z eksperymentu (rys. 10). Podsumowując przeprowadzone badania, można zauważyć wielki potencjał w komputerowych analizach procesów szybko zmiennych. Jedyną przeszkodą, jaką należy pokonać, to posiadanie informacji na temat właściwych stałych materiałowych, którymi możliwe jest opisanie właściwości dynamicznych badanego materiału.

PIŚMIENNICTWO

1. Janiszewski J., Grądzka M.: Współrzędnościowa technika pomiarowa w badaniach dynamicznych właściwości materiałów metodą testy Taylora, *Mechanik*, 1/2011, 56.
2. Whiffin A. C.: The use flat-ended projectiles for determining dynamic yield stress. *Proceedings of the Royal Society. Mathematical, Physical & Engineering Science*. 2 September 1948, vol. 194, no. 1038, p. 300-322.
3. Brunig M., Driemeier L.: Numerical simulation of Taylor impact tests. *International Journal of Plasticity*, Volume 23, Issue 12, December 2007, Pages 1979-2003.
4. Johnson G. R., Cook W. H.: A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high rates and high strain rates and high temperature. In *Proc. 7th International Symposium on Ballistics*, pages 541-547, 1983.

NUMERICAL ANALYSIS OF DEFORMATION OF THE CYLINDRICAL SAMPLE IN TAYLOR TESTS

Summary:

The investigation describes on these pages presents results of numeric analysis Taylor test. To these analyses were used commercial computer programs ANSYS 12.1. Numeric experiments were made to test mesh grid which was used to describe virtual models. Mesh grid is very important to get good issue on analysis, so it was necessary to investigate what kind of mesh is perfect. Results of these analysis were compare each other and with results of laboratory experiments. All analyses were made on copper.

Keywords: Taylor Test, MES, mesh grid.