

Autorzy: Danuta MIEDZIŃSKA, Robert PANOWICZ, Damian KOŁODZIEJCZYK  
e-mail: dmiedzinska@wat.edu.pl

Instytucja: Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

**Tytuł plakatu: Modelowanie warstwy powierzchniowej o zmiennej twardości**



**OPIS PROBLEMU**

W opracowaniu przedstawiono metodę modelowania zmodyfikowanej, utwardzonej warstwy powierzchniowej stali C45 powstałej w wyniku oddziaływania promieniowania laserowego. Za pomocą badań eksperymentalnych określono rozkład twardości materiału w funkcji odległości od powierzchni, a tym samym - głębokości warstwy powierzchniowej. Do tego celu wykorzystano mikrotwardościomierz. Uzyskane wyniki były podstawą do budowy zastępczego modelu numerycznego warstwy.

W tabeli przedstawiono wyniki badań stali C45 przed obróbką. Następnie zostały one przyjęte w modelowaniu jako parametry materiału rodzimego, na który nie oddziałuje promieniowanie.



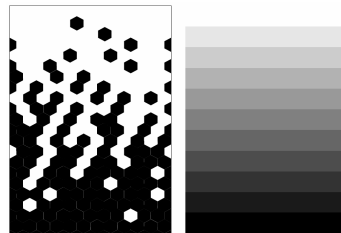
**Parametry globalne próbki**

Lp.	Ozn. próbki	Rm [MPa]	Sig max [MPa]	Eps max [-]	Re [MPa]	Eps niszczeniowy [-]	E <sub>ex</sub> [GPa]	E <sub>Av</sub> [GPa]	v [-]
1	C45_1	699,9	-	-	427,0	0,145	200,1	211,4	0,338
2	C45_2	698,6	919,4	0,606	429,5	0,132	203,2	197,2	0,325
3	C45_3	698,9	927,3	0,569	431,0	0,131	199,2	195,8	-
4	C45_4	695,2	909,3	0,499	429,0	0,149	196,5	202,1	0,331
<b>Wartość średnia</b>		<b>698,1</b>	<b>918,7</b>	<b>0,558</b>	<b>429,1</b>	<b>0,139</b>	<b>199,8</b>	<b>201,6</b>	<b>0,331</b>

**METODA MODELOWANIA**

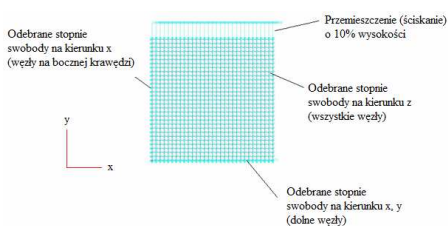
Opisaną powyżej warstwę powierzchniową można uznać za materiał funkcjonalnie gradientowy, a tym samym zastosować metody homogenizacyjne do określenia własności mechanicznych warstwy.

Koncepcję homogenizacji takiego materiału przedstawiono na poniższym rysunku. Wykonuje się ją poprzez podział mikrostruktury na znaczące elementy (paski), dla których dokonuje się homogenizacji. Szerokość takiego paska dobiera się tak, aby błąd homogenizacji był jak najmniejszy. Dokonuje się to na podstawie obserwacji oraz wykonaniu serii obliczeń dla różnych szerokości pasków.



**WYNIKI ANALIZ**

**Warunki brzegowe**



Wyniki analiz numerycznych przedstawiono w postaci rozkładów przemieszczeń i naprężeń efektywnych określonych za pomocą kryterium von Misesa.

**Parametry materiałowe poszczególnych warstw**

Model 1										
Nr warstwy	Odległość od powierzchni [μm]	Szerokość warstwy [μm]	Twardość [kgf]	R <sub>e</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	E [GPa]	v [-]	E <sub>ex</sub> [GPa]	E <sub>Av</sub> [GPa]	
1	0	110	760,6	2570,3	2778,9	390	0,33	0,15	0,56	
2	110	170	60	528,0	1784,2	1955,0	0,33	0,15	0,56	
3	170	270	262,7	887,7	1168,7	200	0,33	0,15	0,56	
Model 2										
Nr warstwy	Odległość od powierzchni [μm]	Szerokość warstwy [μm]	Twardość [kgf]	R <sub>e</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	E [GPa]	v [-]	E <sub>ex</sub> [GPa]	E <sub>Av</sub> [GPa]	
1	0	110	760,6	2570,3	2778,9	390	0,33	0,15	0,56	
2	110	140	30	717,0	2422,9	2665,9	0,33	0,15	0,56	
3	140	170	466,5	1576,1	1979,2	227,3	0,33	0,15	0,56	
4	170	270	262,7	887,7	1168,7	200	0,33	0,15	0,56	
Model 3										
Nr warstwy	Odległość od powierzchni [μm]	Szerokość warstwy [μm]	Twardość [kgf]	R <sub>e</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	E [GPa]	v [-]	E <sub>ex</sub> [GPa]	E <sub>Av</sub> [GPa]	
1	0	110	760,6	2570,3	2778,9	390	0,33	0,15	0,56	
2	110	130	740,5	2502,3	2652,3	308,4	0,33	0,15	0,56	
3	130	150	637,5	2154,3	2352,9	308,4	0,33	0,15	0,56	
4	150	170	20	426,5	1441,2	1617,5	245	0,33	0,15	0,56
5	170	270	262,7	887,7	1168,7	200	0,33	0,15	0,56	

**PODSUMOWANIE I WNIOSKI**

W pracy przedstawiono wyniki komputerowego modelowania zachowania się zmodyfikowanej laserowo warstwy powierzchniowej. W modelowaniu cienkiej warstwy wykorzystano metodę homogenizacji materiałów gradientowych. Przedstawione wyniki, w postaci rozkładów naprężeń i deformacji występujących w warstwie oraz materiale rodzimym, znacząco różnią się od globalnego, makrostrukturalnego zachowania się tego materiału. Dlatego też warstwa ta ma ona istotny wpływ na pracę materiału.

Należy zaznaczyć, iż dokładność rozwiązania (dokładność odwzorowania warstwy powierzchniowej) zależy od doboru szerokości i ilości uśrednionych warstw. Dobór szerokości poszczególnych pasków należy opierać na: dokładności obliczeń, jaką chcemy uzyskać, czasem analizy oraz dostępnymi mocami obliczeniowymi.

**MODEL NUMERYCZNY**

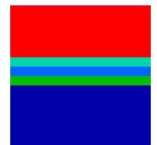
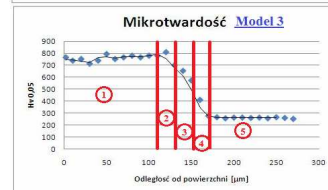
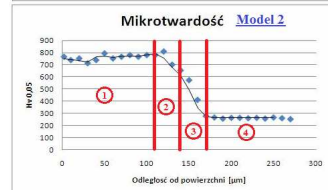
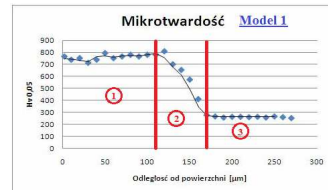
**Wpływ twardości na parametry wytrzymałościowe stali**

Zależność między twardością Vickersa HV a wytrzymałością na rozciąganie Y jest określona zależnością:

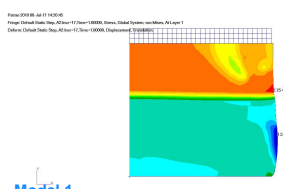
$$HV=2,9Y$$

Moduł Younga oraz granica plastyczności rośnie wraz ze wzrostem twardości. Dlatego przyjęto taką samą zależność pomiędzy granicą plastyczności, a twardością za podstawę przyjmując moduł Younga z badań materiału rodzimego. Trzeba jednakże zaznaczyć, iż zależność ta wymagałaby przeprowadzenia dokładniejszych badań eksperymentalno - walidacyjnych.

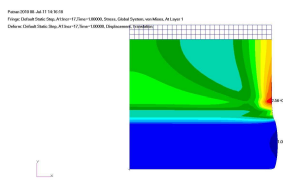
W celu zamodelowania warstwy powierzchniowej zbudowano trzy modele warstwowe o różnej dokładności (grubości uśrednianych warstw), a mianowicie modele 3-, 4- i 5-cio warstwowe (odpowiednio model 1, 2 i 3 z prawej strony). W poszczególnych warstwach przyjęto twardość równą uśrednionej wartości z całej warstwy. Dwuwymiarowe modele numeryczne zbudowano przy użyciu oprogramowania MSC.Patran. W obliczeniach wykorzystano biliniowy, sprężysto-plastyczny model materiału oraz elementy o podstawowym wymiarze wynoszącym 10x10μm. Przeprowadzono analizę statyczną polegającą na ścisłaniu modeli o 10% ich wysokości. Do obliczeń użyto programu MSC.Marc.



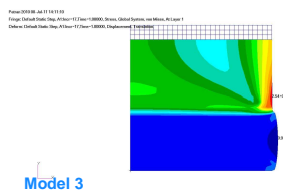
**Wyniki w postaci rozkładów naprężeń**



Model 1

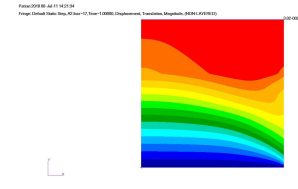


Model 2

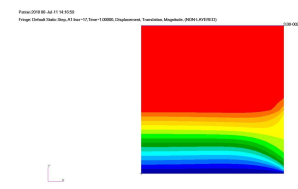


Model 3

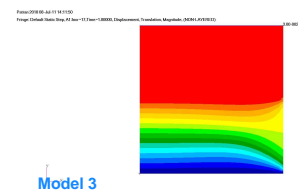
**Wyniki w postaci rozkładów przemieszczeń**



Model 1



Model 2



Model 3