



BADANIA MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH METODAMI MECHANIKI PĘKANIA

Waldemar Bilous, Jan Wasiak

Instytut Energii Atomowej,
Laboratorium Badań Materiałowych,
Otwock-Świerk

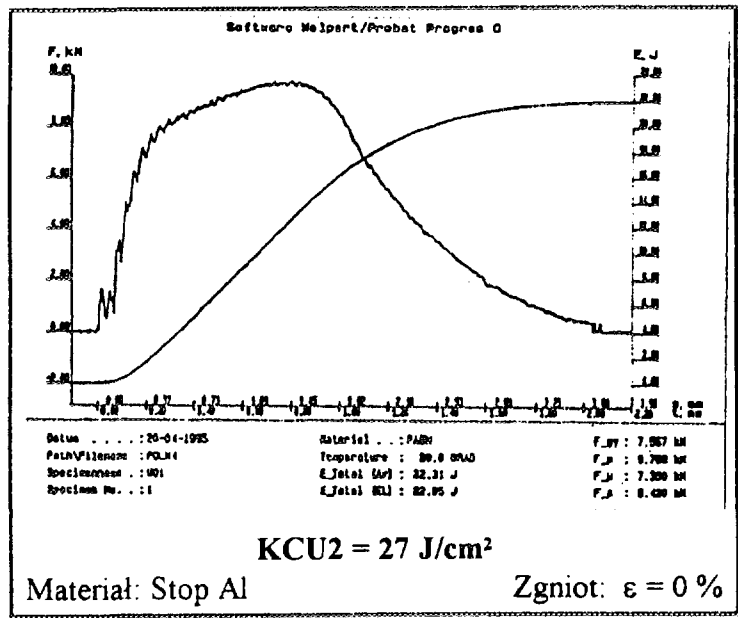
Rozwój każdej dziedziny produkcji przemysłowej wymaga stałego postępu nie tylko w zakresie samych rozwiązań konstrukcyjnych, lecz również postępu w zakresie inżynierii materiałowej, tj. projektowania i wytwarzania materiałów oraz równoległego, często i wyprzedzającego postępu w zakresie metod ich badania. Przykładem takiego postępu w zakresie metod badawczych jest próba udarności na oprzyrządowanym młocie wahadłowym, umożliwiającym rejestrację wykresów zginania udarowego w układach: siła - czas oraz energia - ugięcie próbek.

Z punktu widzenia wyników badań, udarność wyznaczona za pomocą oprzyrządowanego młota nie daje specjalnych korzyści w porównaniu do udarności określonej metodą tradycyjną. Analiza wykresów zginania udarowego pozwala na obserwację przebiegów zniszczenia oraz określenie wpływu karbu i własności plastycznych badanego materiału na wystąpienie przelomu kruchego.

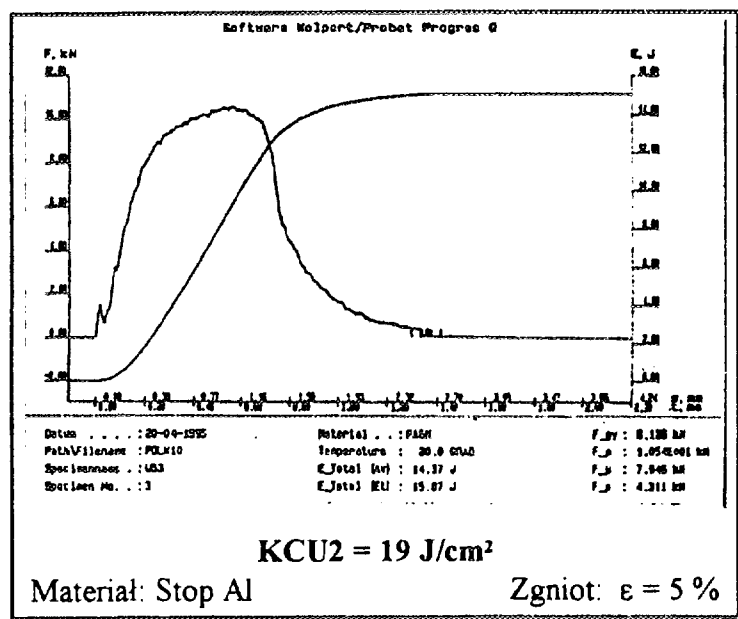
Przykładem wykorzystania możliwości oprzyrządowanego młota do pomiarów udarności są wyniki badań stopu aluminium, poddanego odkształceniu plastycznemu o różnym stopniu zgniotu. Na rys.1 pokazano wykresy zginania udarowego dla próbek z karbem typu - U, zaś na rys.2 wykresy dla próbek z karbem typu -V. Na przedstawionych wykresach widać, że zmienia się kształt krzywych w układzie siła-czas w zależności od stopnia zgniotu i rodzaju karbu, natomiast wskaźniki udarności zmieniają się w niezbyt szerokim zakresie. Wykresy dla próbek o zgniotcie $\varepsilon = 0\%$ są charakterystyczne dla materiałów plastycznych, wraz ze wzrostem stopnia zgniotu następuje zmiana charakteru pęknięcia materiału na plastyczno - kruchy.

Kolejnym przykładem wykorzystania pomiarów na oprzyrządowanym młocie udarnościowym są wyniki badań wolframowych stopów ciężkich, wytwarzanych metodą metalurgii proszków spiekanych. Od elementów konstrukcyjnych, produkowanych z tego materiału, wymagana jest wysoka udarność, przy jednoczesnym zachowaniu dobrych własności plastycznych w zakresie temperatur od -50 do $+50^{\circ}\text{C}$. Pomiar udarności oraz analiza wykresów zginania udarowego (rys.3) stanowią w tym przypadku podstawową, jednocześnie bardzo prostą w realizacji, metodę oceny zastosowanej technologii wytwarzania tych materiałów. Na rys.3a pokazano wykres zginania udarowego próbki z materiału importowanego, na rys.3b wykres zginania próbki wykonanej z materiału wyprodukowanego w kraju w początkowej fazie opracowywania technologii produkcji, natomiast rys.3c pokazuje wykres uzyskany dla próbki wykonanej z materiału po wprowadzeniu kolejnych zmian w technologii wytwarzania tych elementów konstrukcyjnych.

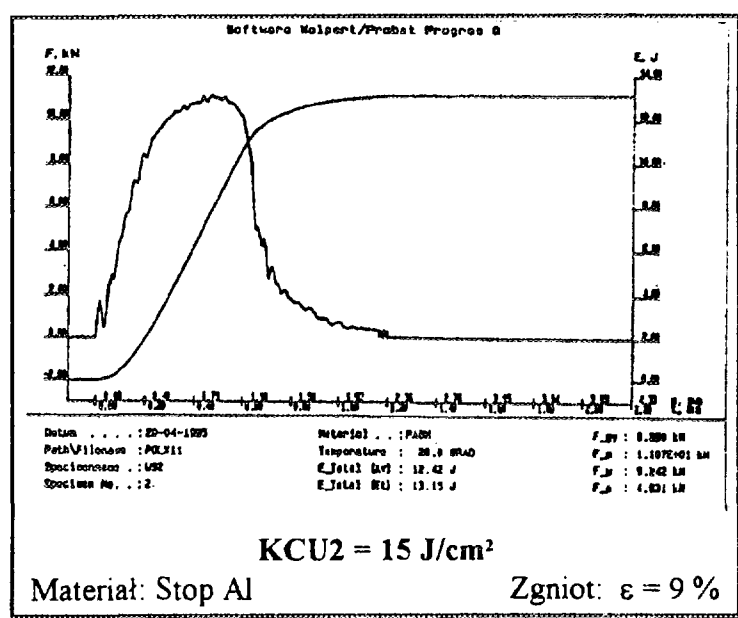
A



B

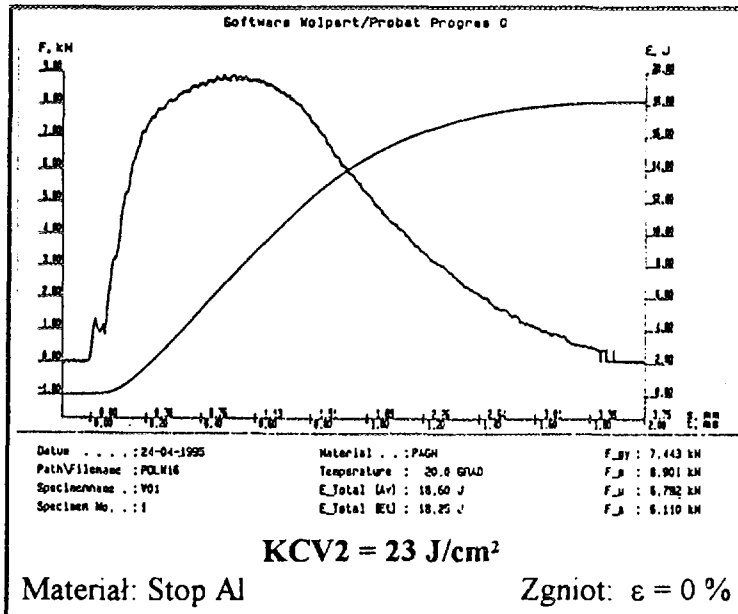


C

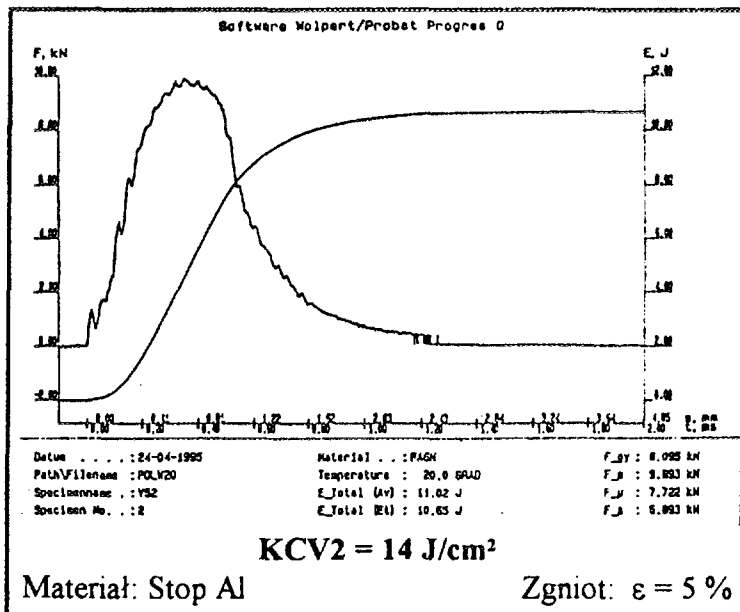


Rys.1. Wykresy zginania uderowego próbek typu Charpy-U.

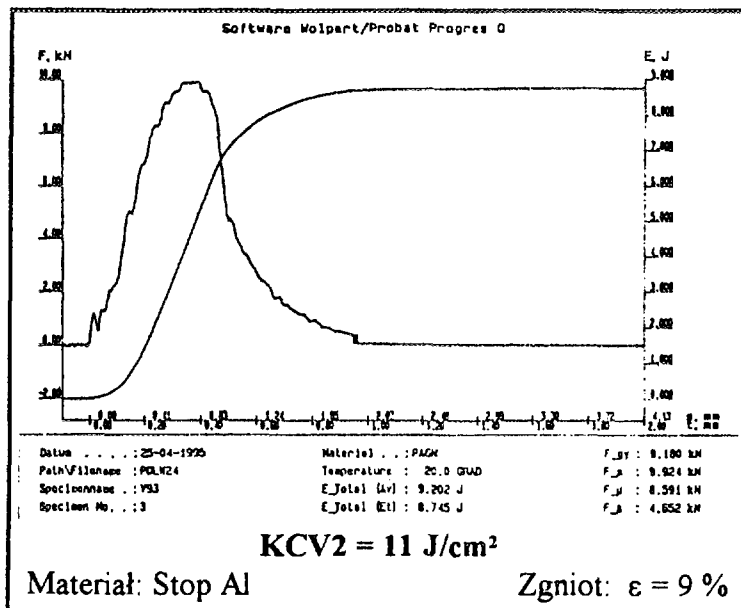
A



B

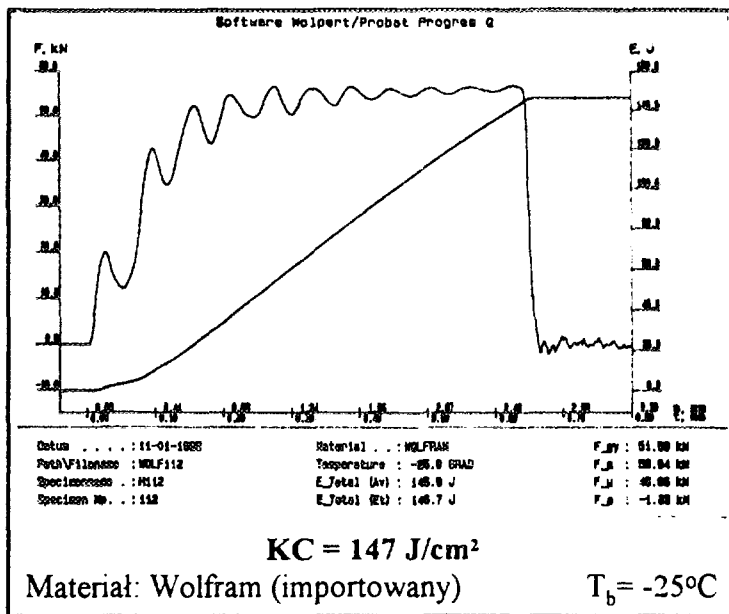


C

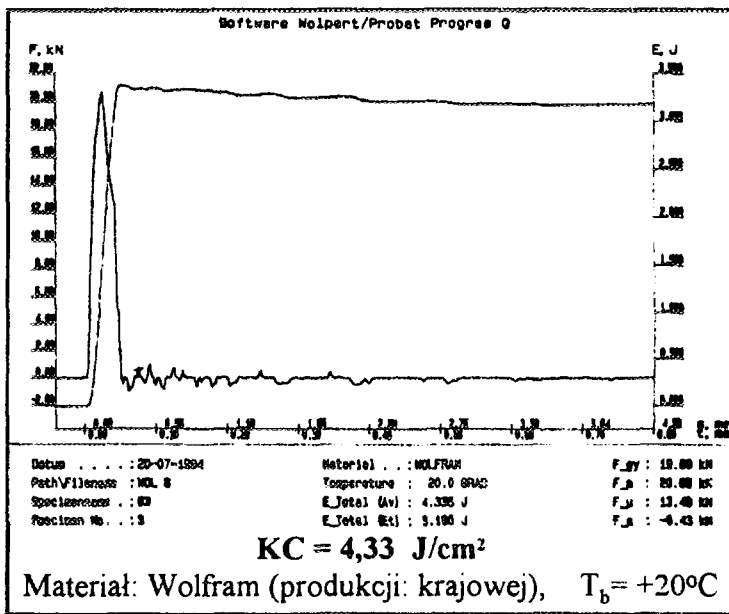


Rys.2. Wykresy zginania uderowego próbek typu Charpy-V.

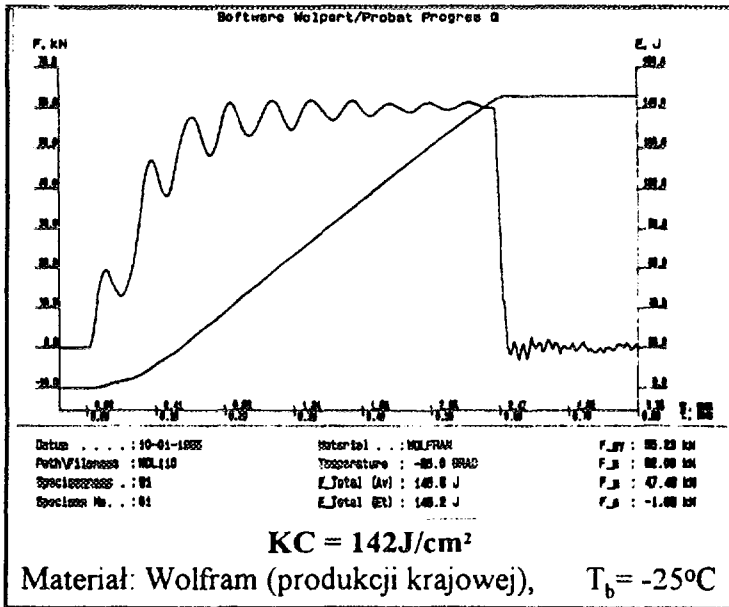
A



B

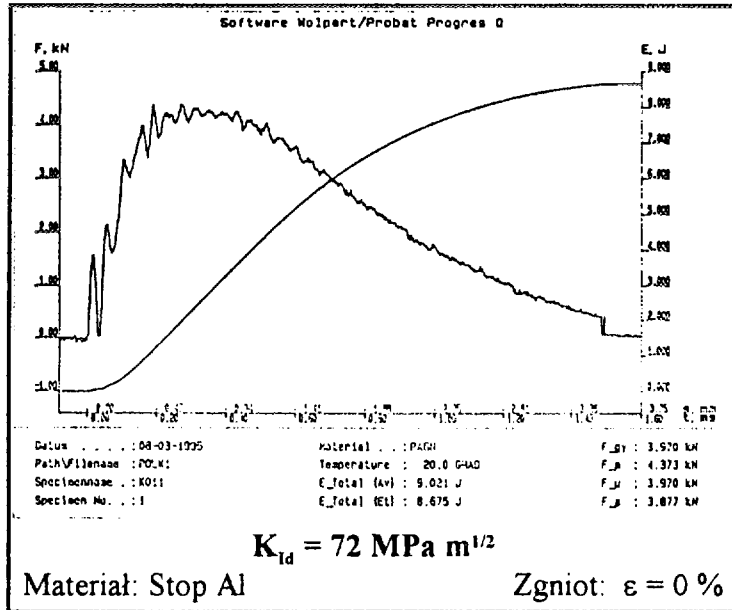


C

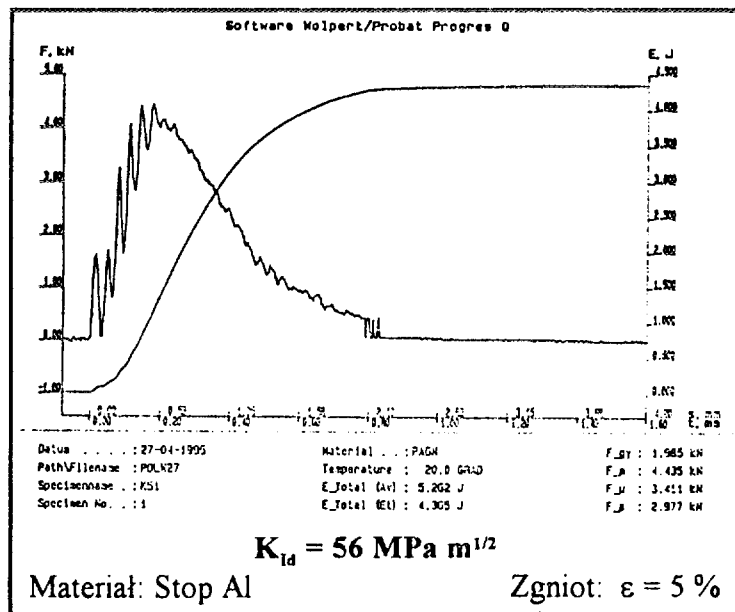


Rys. 3. Wykresy zginania uderowego próbek wykonanych ze spieków wolframowych.

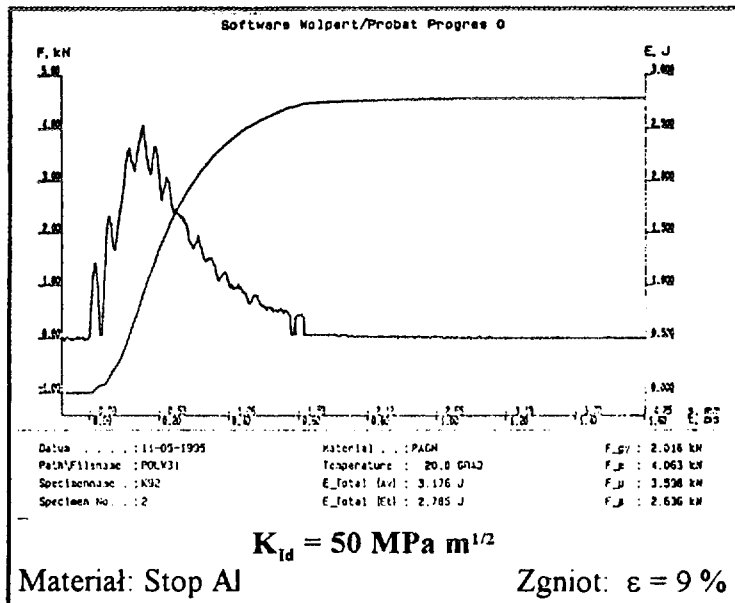
A



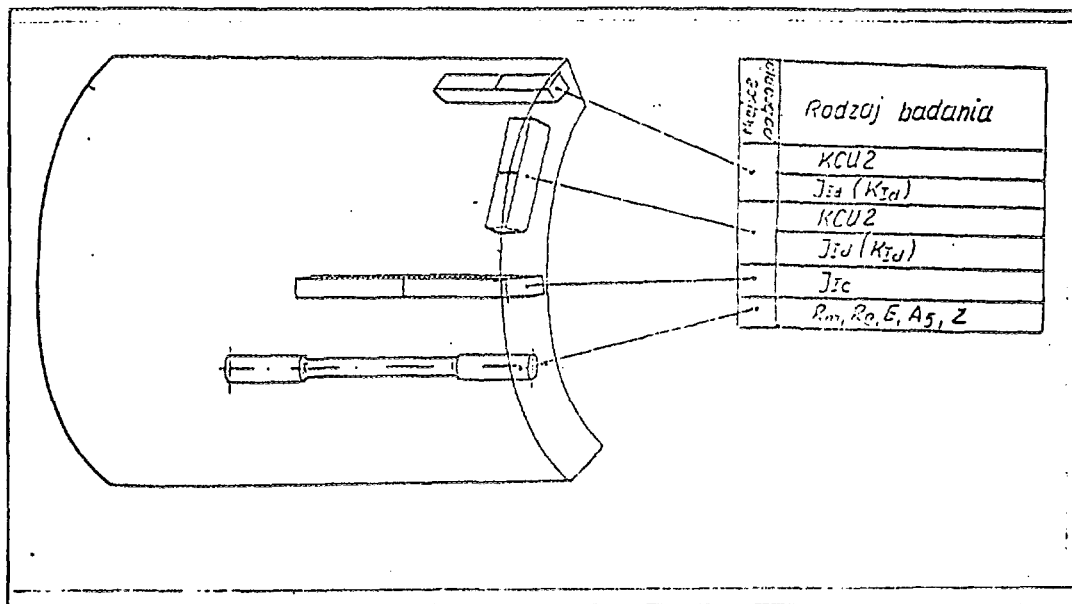
B



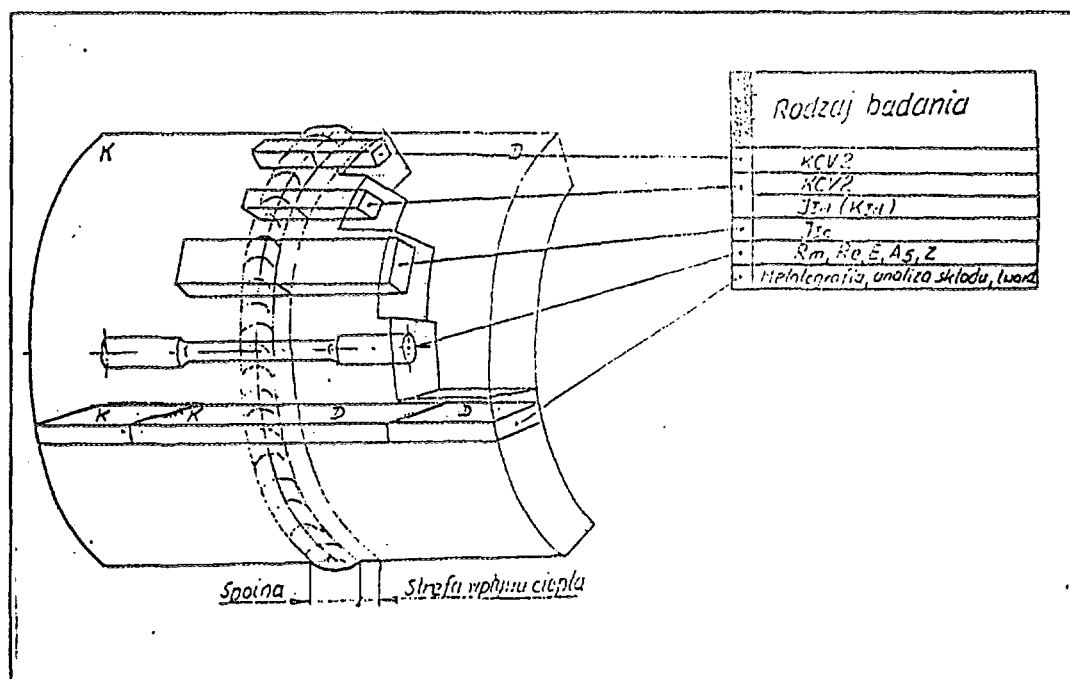
C



Rys. 4. Wykresy zginania uderowego próbek stopu aluminium z karbem zmęczeniowym.



Rys. 5. Sposób pobrania próbek do badań własności materiału rodzimego.



Rys. 6. Sposób pobrania próbek do badań własności spoin.

Zainteresowanie oprzyrządowanym młotem udarnościowym wzrosło po wprowadzeniu do badań udarności próbek typu Charpy-V z karbem zmęczeniowym. Umożliwiło to wyznaczenie odporności na pękanie (wskaźników mechaniki pękania) w warunkach udarowego działania siły. Na rys.4 pokazano wykresy zginania udarowego próbek z karbem zmęczeniowym (materiał - stop aluminium, jak dla próbek z rys.1 i 2).

Przykładem wykorzystania wyników, uzyskanych podczas pomiarów na oprzyrządowanym młocie udarowościowym w powiązaniu z pomiarami szeregu innych wskaźników własności materiału, są badania wpływu eksploatacji na własności stali typu Cr-Mo-V (13HMF) oraz jej połączeń spawanych. W ramach tej pracy wykonano pomiary: wytrzymałości statycznej na rozciąganie, twardości, udarowości, odporności na pękanie oraz badania strukturalne i frakto-graficzne przełomów.

Badania stali 13HMF wykonano na: wycinku rurociągu w stanie wyjściowym (nieeksploatowanym) oraz na trzech wycinkach po różnych czasach eksploatacji, zawierających spaw obwodowy, pozyskanych z elektrowni zawodowych. Wymiary oraz okresy eksploatacji badanych wycinków rurociągów podano w tabeli 1.

Tabela 1. Materiały użyte do badań.

Lp.	Rodzaj rurociągu oraz warunki pracy	Czas eksploatacji [tys. godzin]	Wymiary gabarytowe średnica rurociągu, grubość ścianki [mm]
1	rurociąg pary przegrzanej	0	Ø 273 ≠ 22
2	rurociąg pary przegrzanej	38	Ø 273 ≠ 22
3	rurociąg pary świeżej	100	Ø 320 ≠ 30
4	rurociąg pary świeżej	180	Ø 280 ≠ 28

Próbki do badań własności mechanicznych pobrano zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 5 i 6. Metodyka pobierania próbek do poszczególnych pomiarów jest zgodna z zaleceniami PN-84/H-04308 oraz procedurą w ramach stosowanego w LBM programu zapewnienia jakości ISO 45000.

Analiza składu chemicznego wykazała, że:

- materiały, z których wykonano wycinki rurociągów - poz. 1 i 2 wg tabeli 1, mają skład chemiczny zgodny z normą PN-75/H-84029 dla stali 13HMF
- materiały, z których wykonano wycinki rurociągów - poz. 3 i 4 wg tabeli 1, to odpowiednik stali 13HMF, produkcji czechosłowackiej o znaku 15123 i składzie chemicznym zgodnym z normą ČSN 415123,

Wyniki pomiarów wskaźników własności mechanicznych badanych materiałów podano w tabeli 2.

Tabela 2. Własności mechaniczne badanych wycinków rurociągów wykonanych ze stali 13HMF.

Materiał oraz miejsce pomiaru	R_m [MPa]	R_e [MPa]	E [GPa]	A_5 [%]	Z [%]	HV30	KCU2 [J/cm ²]			K_{Ic} [MPa m ^{1/2}]			K_{Iq} [MPa m ^{1/2}]	
							Orientacja próbki			Orientacja próbki			Orientacja p-ki	
							L-R	L-C	C-R	L-R	L-C	C-R	L-R	L-C
własności wg PN-75/H-84024	490 690	355		20 min										
0	MR	612	419	211	15	69	198	153	57	56	54	47		
	SWC							240		68		-		
	Spoina	553	380	213	17	72		118						
38	MR	576	373	214	23	72	197	54	54	52	52	44		
	SWC							184		99		-		
	Spoina	549	350	212	20	71		62						
100	MR	507	262	213	30	78	150	153	67	45	47	42		
	SWC							247		127		-		
	Spoina	492	243	214	20	77		74						
180	MR	508	258	210	30	79	155	369>	148	49	39	120		
	SWC							165		79		-		
	Spoina	490	244	214	27	77		33						

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ I WNIOSKI

Wykonane badania wycinka rurociagu w stanie wyjściowym (nieeksploatowanym) oraz trzech wycinków po różnych czasach eksploatacji wykazały że:

- Czas eksploatacji wytrzymałościowej nie powoduje istotnych zmian wartości wskaźników własności wytrzymałościowych i plastycznych badanych stali oraz ich połączeń spawanych.
- Udarność zewnętrzna badanych stali zależy od miejsca pobrania próbki, tzn. próbki pobrane z zewnętrznych warstw rurociagu wykazują niższą udarność w porównaniu z próbkami z warstwy wewnętrznej rurociagu. Zjawisko to występuje zarówno w materiale nieeksploatowanym jak i w materiałach po eksploatacji.
- W temperaturze otoczenia badane materiały wykazują niską odporność na pękanie, przelomy próbek z pomiarów wskaźników odporności na pękanie wykonane metodami statycznymi jak i dynamicznymi mają charakter kruchy.
- Wykonane pomiary wskaźników odporności na pękanie metodami statycznymi i dynamicznymi wykazały, że z uwagi na poziom wytrzymałości statycznej na rozciąganie oraz niską odporność na pękanie tych materiałów nie jest możliwe pobranie z tego typu rurociągów próbek o wymiarach (ograniczeniem jest stosowana grubość ścianki), które spełniałyby warunek płaskiego stanu odkształceń podczas pomiarów odporności na pękanie metodą K_{IC} , możliwy jest więc jedynie pomiar odporności na pękanie metodą zginania udarowego.
- Odporność na pękanie badanych materiałów nie wykazuje wyraźnych zmian w zależności od okresu eksploatacji rurociągów z których je pobrano.
- Odporność na pękanie strefy wpływu ciepła badanych spoin spawanych jest wyższa od odporności materiału rodzimego.
- Występujące różnice własności badanych materiałów spowodowane są nie tylko okresem eksploatacji, ale mogą wynikać z różnic składu chemicznego oraz ich rzeczywistego stanu wyjściowego.
- Przy ocenie stanu eksploatowanego materiału należy zwracać uwagę na sposób i miejsce pobrania próbek.