ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: MECHANIKA z. 69 Nr kol. 672

Mariusz ŁABĘCKI

ZASTOSOWANIE PRÓBY ZGNIATANIA W KLINACH DO ŻELIWA SZAREGO ODLEWANEGO DO KOKIL

Streszczenie. W pracy wykonano badania przydatności aparatu KD-5 do określania wytrzymałości na rozciąganie na podstawie próby zgniatania w klinach. Przeprowadzono obliczenia statystyczne, z których określono odpowiednie wzory przeliczeniowe.

1. WSTĘP

Określenie wytrzymałości na rozciąganie należy do podstawowych badań żeliwa szarego, pozwalającego na zakwalifikowanie materiału do odpowiedniej klasy bądź też sprawdzenie rzeczywistej wytrzymałości odlewu na pobranych zeń próbkach.

Przeprowadzenie takich badań, a szczególnie pobranie materiału i wykonanie próbek jest czasochłonne, a więc kosztowne.

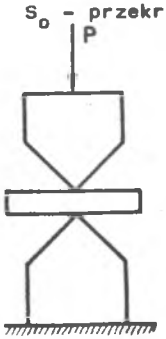
W poszukiwaniu prostszych, tańszych i szybszych metod zastępczych Ludwik i Krystof [1] w 1934 r. zaproponowali nową metodę tzw. zgniatania w klinach, której zasadę pokazano na rys. 1. Wytrzymałość na rozciąganie obliczono wg równania:

$$R_m = \frac{P}{S_o}\left(1 + 0{,}02\,\frac{P}{S_o}\right) \text{ w kG/mm}^2 \qquad (1)$$

gdzie:

P = niszcząca siła nacisku na kliny w kG,

S_o - przekrój próbki w miejscu nacisku w mm^2.



Rys. 1. Zasada metody zgniatania w klinach

Do próby tej stosowano kliny o kącie wierzchołkowym 90°, a próbki w kształcie obrobionych prostopadłościanów o wymiarach 20 x 12 x 8 mm.

Badania nad tą metodą kontynuowali Meyersberg [2], Pidgeon [3], Ebner [4] i inni. Podsumowania dotychczasowych osiągnięć dokonali Vetiška i Škrob [5], podając również i własne wyniki.

W badaniach tych ustalono szereg nowych wzorów przeliczeniowych np.

$$R_m = -0{,}038\left(\frac{P}{S_o}\right)^2 + 3{,}1\,\frac{P}{S_o} - 25{,}4 \pm 2{,}8 \quad [2] \qquad (2)$$

$$R_m = 0{,}0085 \frac{P}{S_o} - 1{,}25 \quad [3] \tag{3}$$

$$R_m = 1{,}9 \frac{P}{S_o} - 7{,}7 \quad [4] \tag{4}$$

$$R_m = 1{,}63 \frac{P}{S_o} - 1{,}61 \pm 1{,}4 \quad [5] \tag{5}$$

W omawianych badaniach stwierdzono, że metoda ta nadaje się szczególnie do materiałów o małej ciągliwości, a więc przede wszystkim do żeliwa szarego z grafitem płatkowym. Stwierdzono również, że na otrzymane wyniki praktycznie nie ma wpływu gładkość próbek i z tego względu zrezygnowano z dokładnie obrobionych prostopadłościanów na rzecz krążków ciętych piłą z pręta. Pozostała jedynie kwestia zdjęcia naskórka odlewniczego która ma wpływ na zmianę wyniku obliczeń. Wg [5] na podstawie badań Tyberga podano, że

$$R_m = 2{,}14 \frac{P}{S_o} - 5{,}7 \pm 1{,}9 \tag{6}$$

dla próbek nieobrobionych Ø 30 mm oraz

$$R_m = 1{,}84 \frac{P}{S_o} - 5.3 \pm 1.3 \tag{7}$$

dla próbek obrobionych Ø 21 mm.

Niezależnie do tych badań Piłkowski [6] próbował zastosować metodę zgniatania w klinach do żeliwa ciągliwego, ustalając zależność

$$R_m = 1{,}38 \frac{P}{S_o} \tag{8}$$

Metoda zgniatania w klinach została wyprowadzona do norm, m.in. również i do krajowych [7], lecz w 1976 r. unieważniono ją. Norma ta do przeliczenia stosowała wzór (1). Ważność zagadnienia znalazła również odbicie przez włączenie go do problemów Komisji 7a CIATF w 1966 r.

Dla usprawnienia przeprowadzania badań żeliwa szarego metodą zgniatania w klinach, w miejsce prostego urządzenia pokazanego w Polskiej Normie [7], skonstruowano specjalne urządzenia. Przykładem tego może być aparat KD-5 f-my Böhler (Austria). Urządzenie to posiada specjalną "szufladkową" podstawkę do układania próbek oraz napędzaną silnikiem elektrycznym pompę olejową, która wywołuje ciśnienie i nacisk na kliny. Odczytu siły dokonuje się na manometrze, a dalsze przeliczenia mogą być wykonane drogą rachunkową wg wzoru (4) lub na nomogramie.

2. BADANIA WŁASNE

2.1. Materiał do prób oraz przeprowadzone badania

Do badań użyto żeliwa szarego wytopionego z surówki OB 2040, żelaza Armco oraz 75% Fe-Si w zasadowym piecu indukcyjnym o pojemności 30 kg. Żeliwo przegrzewano do temperatury ok. 1450°C, modyfikowano, a następnie zalewano do kokil. Ogółem wykonano 15 wytopów, z których do badań zakwalifikowano 13. Graniczny skład chemiczny badanych żeliw podano w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny (graniczny) badanych wytopów

%	C	Si	Mn	P	S	Sc
min	3,01	2,15	0,12	0,003	0,023	0,9370
max	3,68	3,98	0,38	0,004	0,039	1,1440

Otrzymane żeliwo odlewano do kokil pokrytych warstwą ochronną z talku i szkła wodnego i podgrzanych do temperatury ok. 350°C. Dla rozszerzenia zakresu badań odlewane pręty cylindryczne posiadały średnice 16, 26, 41 oraz 61 mm. Dla dalszego zwiększenia możliwości kombinacji, grubości ścianek kokil były różne. Na przykład dla odlewu Ø 26 mm średnica zewnętrzna kokil wynosiła 56, 86 lub 150 mm, dając tym samym różne warunki krzepnięcia.

Z szeregu próbek odrzucono te, które posiadały zabielenia lub inne wady, a z pozostałych wykonano próbki do badań wytrzymałości na rozciąganie o wymiarach zgodnie z PN-63/H-83108. Z każdego rodzaju odlewów wykonano po trzy próbki, z których średnie R_m zestawiono w tablicy 2.

Z połówek zerwanych próbek wytoczono krążki do badania na zgniatanie w klinach. Zestawione w tablicy 2 wyniki

$$R_c = \frac{P}{S_o}$$

stanowią średnią co najmniej pięciu pomiarów dokonanych na urządzeniu KD-5

2.2. Obliczenia statystyczne

Na podstawie otrzymanych wyników zgniatania w klinach przeprowadzono obliczenia wytrzymałości na rozciąganie wg wzoru (1) - zgodnego z PN oraz wg wzoru (4) - zgodnego z instrukcją KD-5.

Tablica 2

Wyniki badań R_m i R_c

Nr	R_m		R_c	
	kG/mm^2	MPa	kG/mm^2	MPa
1	10,31	101,11	8,67	85,02
2	11,12	109,5	6,80	66,68
3	13,77	135,04	10,53	103,26
4	14,08	138,08	8,84	86,69
5	22,24	218,10	14,92	146,31
6	17,65	173,09	12,91	126,60
7	15,92	156,12	12,07	118,37
8	18,06	177,11	13,59	133,27
9	14,39	141,12	9,70	95,12
10	9,49	93,06	7,69	75,41
11	10,51	103,07	8,64	84,73
12	13,98	137,10	10,63	104,24
13	21,02	206,13	15,23	149,35
14	16,53	162,10	14,51	142,29
15	25,41	249,19	17,00	166,71
16	17,14	168,08	11,69	114,64
17	9,90	97,08	6,38	62,57
18	25,82	253,21	17,24	169,07
19	12,55	123,07	9,62	94,34
20	18,06	177,11	13,43	131,70
21	10,61	104,05	7,93	77,77
22	16,43	161,12	12,99	127,39
23	11,02	108,07	7,84	76,88
24	11,33	111,11	8,21	80,51
25	14,08	138,08	10,82	106,11
26	10,31	101,11	9,11	89,34
27	20,20	198,09	15,17	148,77
28	13,26	130,04	10,22	100,22
29	18,16	178,09	12,45	122,09
30	12,45	122,09	10,73	105,22
31	13,16	129,05	9,10	89,24
32	13,26	130,04	10,52	103,16
33	14,29	140,14	10,66	104,54
34	14,90	146,12	10,95	107,38
35	12,14	119,05	9,85	96,59
36	10,20	100,03	8,68	85,12
37	15,92	156,12	11,50	112,78
38	15,61	153,08	11,49	112,68
39	11,43	112,09	9,43	92,48
40	12,35	121,11	9,50	93,16
41	10,20	100,03	8,16	80,02
42	8,77	86,00	7,77	76,20
43	11,94	117,09	9,22	90,42
44	9,69	95,03	7,78	76,29
45	12,96	127,09	10,06	98,65
46	8,37	82,08	7,82	76,69
47	9,69	95,03	8,24	80,81
48	13,98	137,10	11,01	107,97
49	10,61	104,05	9,70	95,12
50	10,61	104,05	8,96	87,87

Wykonano również obliczenia równania regresji metodą najmniejszych kwadratów dla obu realnych wyników R_c i R_m zestawionych w tablicy 2. Dla lepszego zbadania korelacji, obliczenia przeprowadzono dla trzech typów wielomianów różnego stopnia:

$$I^{o} \quad y = A_o + A_1 x$$

$$II^{o} \quad y = A_o + A_1 x + A_2 x^2$$

$$III^{o} \quad y = A_o + A_1 x + A_2 x^2 + A_3 x^3$$

Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Wartości współczynników

Wielomian	Współczynniki				
	A_o	A_1	A_2	A_3	korelacji
I^{o}	-1,4066	1,4594	-	-	0,9387
II°	0,8119	0,9897	0,0237	-	0,9643
III°	0,1018	1,5918	-0,0649	-0,0034	0,9603

Równania regresji będą miały postać (w zaokrągleniu):

$$I^{o} \quad R_m = 1,46 \frac{P}{S_o} - 1,41 \pm 1,45 \quad kG/mm^2$$

$$II^{o} \quad R_m = 0,81 + 0,98 \frac{P}{S_o} + 0,02 \left(\frac{P}{S_o}\right)^2 \tag{9}$$

lub po przekształceniu w formę, jaką ma równanie (1)

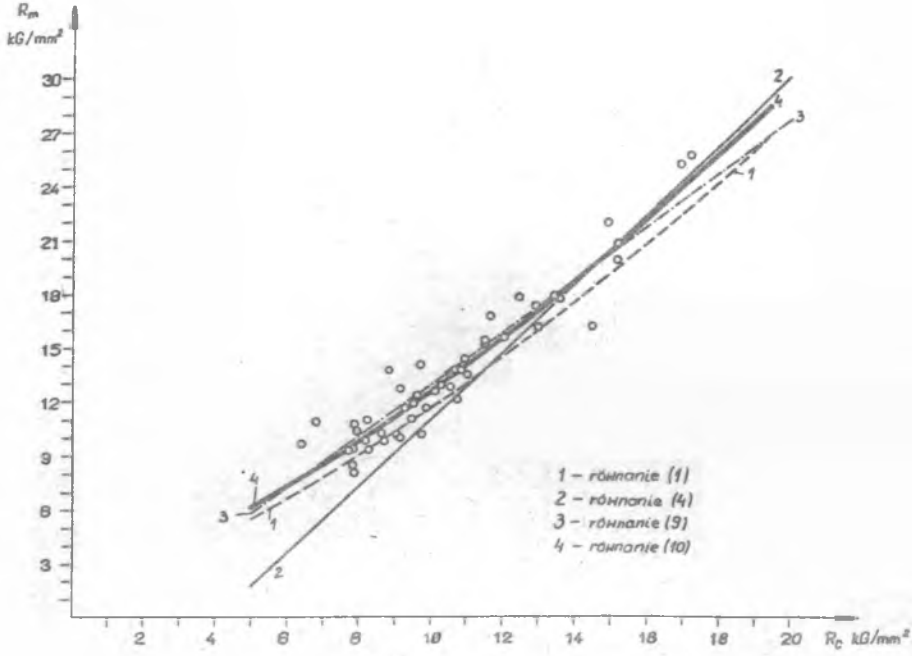
$$= 0,81 + \frac{P}{S_o} \left(0,98 + 0,02 \frac{P}{S_o}\right) \pm 0,9 \quad kG/mm^2 \tag{10}$$

$$III^{o} = 0,1 + 1,59 \frac{P}{S_o} - 0,06 \left(\frac{P}{S_o}\right)^2 - 0,003 \left(\frac{P}{S_o}\right)^3 \pm 0,98 \quad kG/mm^2 \tag{11}$$

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Jak wynika z obliczeń najlepsze jest równanie z wielomianu II°. Dla porównania otrzymanych wyników, przedstawiono je w postaci wykresu na rys.2. Obejmuje on cztery linie regresji

równania (1) - linia 1,
równania (2) - linia 2,
równania (9) - linia 3,
równania (10) - linia 4.



Rys. 2. Wykres zależności $R_m = f(R_c)$ wg różnych równań dla zbioru 50 pomiarów

W rozważaniach dokonano porównania wyników z równania (4) i (9), gdyż są to linie prosta nachylone pod różnymi kątami. Jak wynika z wykresu, zbiór 50 punktów pomiarowych lepiej reprezentuje prosta 3 niż prosta 2. Widać to szczególnie ostro na granicach zbioru punktów.

Krzywe paraboliczne z równania (1) - linia 1 oraz z równania (10) są bardzo zbliżone do siebie kształtem, lecz nieco przesunięte. Jak widać z rysunku 2, krzywa 4 jest bardziej reprezentatywna niż krzywa 1.

W rozważaniach pominięto krzywę regresji z wielomianu trzeciego stopnia. Posiada ona nieco gorszą korelację, większy błąd, a jednocześnie może być bardziej kłopotliwa w stosowaniu. Z tego powodu tę postać wielomianu odrzucono.

Ponadto należy zwrócić uwagę na fakt przeprowadzenia obliczeń w kG/mm^2. Uczyniono tak ze względu na zachowanie oryginalnej formy równań (1) i (4) i możliwości porównania ich z obliczonymi (9) i (10). Wobec istniejących przepisów jednostek zgodnych z SI, w przypadku stosowania dotychczas używanych wzorów, wyniki należy pomnożyć przez 9,8066 dla wyrażenia wytrzymałości w MPa. Natomiast uzyskane równania regresji, przy uwzględnieniu zmiany jednostek będą miały postać.

$$R_m = 1,46 \frac{P}{S_o} - 13,79 \pm 14,2 \text{ w MPa} \quad (9a)$$

$$R_m = 7,96 + 0,98 \frac{P}{S_o} + 0,002 \left(\frac{P}{S_o}\right)^2 \pm 8,8 \text{ w MPa} \quad (10a)$$

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań należy wyciągnąć następujące wnioski:

1. Istnieje możliwość zastosowania metody zgniatania w klinach do żeliwa szarego odlewanego do kokil.
2. Otrzymane wyniki w przeliczeniu wg wzoru:

$$R_m = 7,96 + 0,98 \frac{P}{S_o} + 0,002 \left(\frac{P}{S_o}\right)^2 + 8,8 \text{ w MPa}$$

lub

$$R_m = 7,96 + \frac{P}{S_o} \left(0,98 + 0,002 \frac{P}{S_o}\right) \pm 8,8 \text{ w MPa}$$

zapewniają wystarczającą dokładność w określeniu wytrzymałości na rozciąganie R_m.

3. Wzory dotychczas proponowane i stosowane wykazują znacznie większe odchyłki.

5. LITERATURA

[1] Ludwik P., Kristof J.: Bestimmung der Zugfestigkeit von Gusseisen mittels der Keildruckprobe. Giesserei nr 21, 1934.

[2] Meyersberg G.: Statistische Betrachtung der Festigkeit von Gusseisen. Arch. f.d. Eisenhüttenwesen nr 22, 1951.

[3] Pidgeon C.L.: Wedge penetration test as an indirect method of determining tensile strength. Foundry Tr. J. nr 121, 1966.

[4] Ebner R.: Die indirecte Bestimmung der Zugfestigkeit von Gusseisen mit Lamellengraphit durch Keildruckprobe. Mitt. des Österreichisches Giess.-Institut. Leoben 1967.

[5] Vetiška A., Škrob F.: Jaké jsou perspektivy tlakové zkoušky mezi kliny. Slévárenstvi nr 12. 1974.

[6] Piłkowski Z.: Zastosowanie próby zgniatania w klinach do oceny własności mechanicznych czarnego żeliwa ciągliwego. Zesz. Nauk. Pol. Częstochowskiej nr 23 Odlewnictwo z. 4, 1963.

[7] PN-54/H-83103. Próba metodą zgniatania w klinach.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛИНОВОЙ ПРОБЫ НА СЖАТИЕ ДЛЯ СЕРОГО ЧУГУНА, ОТЛИВАЕМОГО В КОКИЛ

Р е з ю м е

В работе проведены исследования пригодности аппарата KD-5 для определения прочности на растяжение на основании клиновой пробы на сжатие. Произведены статистические расчеты, по которым определены соответствующие перерасчетные формулы.

THE APPLICATION OF THE WEDGE BEND TEST TO GREY CAST IRON CAST INTO PERMANENT MOULDS

S u m m a r y

The paper presents the investigation of the applicability of the KD-5 apparatus in defining the tensile strength, basing on the wedge bend test. The statistic calculations have been performed, and the adequate conversion formulae have been defined.