

## VLIV ASYMETRIE KMITU NA KOROZNÍ ÚNAVU OCELI 13%Cr,1%Ni

Miroslav Varner, ČKD Blansko a.s., Gellhornova 1, 67818 Blansko

**Abstract:** The paper deals with the experimental analysis of the effects of the push-pull loading cycle asymmetry on the corrosion fatigue behaviour of 13%Cr,1%Ni steel specimens in the 0,01%NaCl water solution environment. The instrumentation of these experiments based on open-circuit electrode potential measurements is described. The specimen test results evaluation procedure is explained. The analyses have resulted in developing Haigh diagram for a set of loading cycle asymmetry values ( $-1,0 < R < 0,6$ ), with the number of loading cycles ranging from  $10E5$  up to  $10E9$ . It can be concluded, that for  $R > 0,1$  the susceptibility of the analysed steel to loading cycle asymmetry significantly decreases with increasing number of loading cycles.

### Úvod

Únavové porušení kovů v korozním prostředí bylo zaznamenáno již v době 1. světové války. Jednalo se o četné případy přetržení vlečných lan tralovacích sítí používaných k zneškodňování min plovoucích v moři. Napnutá tažná lana při pohybu ve vodě kmitala a vlivem současného působení agresivní mořské vody se jednotlivé dráty lan porušovaly korozní únavou [1].

K porušování korozní únavou dochází i v případech dílců vodních turbin vyrobených z 13% Cr oceli a pracujících v neutrálních vodách např. ve vodě říční [2], [3]. Při únavových zkouškách ve vodním prostředí je ve srovnání s výsledky zkoušek na vzduchu pozorováno zhoršení únavových vlastností a zejména trvalý pokles mezních hodnot amplitud napětí s počtem kmitů [4], [5]. Počty kmitů za dobu života dílců často dosahují řádově hodnoty  $10^{10}$ , přičemž hodnota koeficientu nesouměrnosti kmitu  $R$  je v rozsahu  $(-1; 0,6)$ . Výsledky únavových zkoušek nejsou v potřebném rozsahu počtu kmitů  $N$  a rozsahu koeficientů nesouměrnosti kmitu  $R$  v dostupné literatuře publikovány. Byl proto realizován rozsáhlý experimentální program s cílem popsat vliv asymetrie kmitu na únavu 13%Cr,1%Ni oceli ve vodním prostředí.

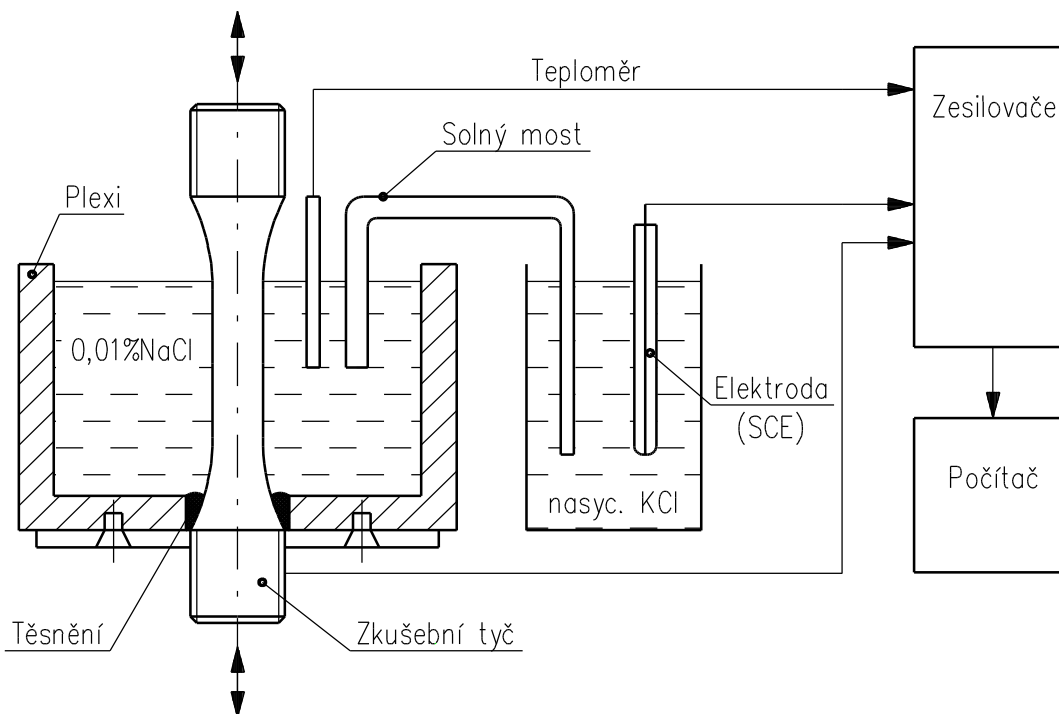
### Materiál, experimentální technika a metody vyhodnocení výsledků

Z odlitků z oceli 422904.6 dle ČSN 422904 o rozměrech 200x200x600 [mm] bylo vypracováno 90 ks zkušebních tyčí s hladkou pracovní částí o průměru 16 mm a délce 108 mm. Pro upnutí byly tyče opatřeny hlavami se závitem M30x1,5. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli z odlitku jsou uvedeny v Tabulce 1. Při výrobě zkušebních tyčí bylo postupováno v souladu s normou ČSN 420363. Tyče byly obroušeny na drsnost  $Ra = 0,4$ .

**Tabulka 1. Chemické složení [%], mechanické vlastnosti**

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0,11	0,1	0,55	0,017	0,035	12,7	0,89
Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	Z [%]	KCU2 [J/cm <sup>2</sup> ]		
479	646	23,2	66,7	78		

Únavové zkoušky s konstantní střední hodnotou a amplitudou harmonického kmitu s frekvencí 110 Hz byly provedeny na rezonančních pulzátorech konstrukce ČKD Blansko. Ustavení zkušebních stavů vyhovuje předpisu ASTM [6]. Zkušební tyče zatěžované v tahu - tlaku byly vloženy do nádoby s roztokem 100 mg NaCl v 1 l destilované vody. Roztok byl během zkoušek vyměňován každý týden. Potenciál zkušební tyče byl měřen vůči nasycené kalomelové elektrodě (SCE) fy Radelkis, měřící zesilovač potenciálu měl souladu s do-poručením [7] vstupní odpor 100 MΩ . Teplota roztoku byla v průběhu zkoušky měřena teploměrem. Měřená data byla shromažďována a vyhodnocována řídicím počítačem zkušebny. Schéma instrumentace měření je na obr.1.

**Obr. 1 Schéma instrumentace experimentu**

Pro jednotlivé hodnoty koeficientů nesouměrnosti kmitu

$$R = (\text{SigmaM} - \text{SigmaA}) / (\text{SigmaM} + \text{SigmaA}),$$

kde SigmaM resp. SigmaA je střední hodnota resp. amplituda kmitu byly metodou lineární regrese [8], [9] odhadnuty parametry modelů křivek životnosti :

$$\text{model 1.: } \log N = A + B \cdot \log \text{SigmaA},$$

$$\text{model 2.: } \log(\log N) = A + B \cdot \log \text{SigmaA},$$

kde N je počet kmitů do lomu zkušební tyče. Interpolace mezních křivek napětí mezi body vypočtenými pro pravděpodobnost přežití tyče  $P = 0,5$  z modelů křivek životnosti byla

v předloženém Haighově diagramu provedena kubickým splajnem.

### Výsledky zkoušek

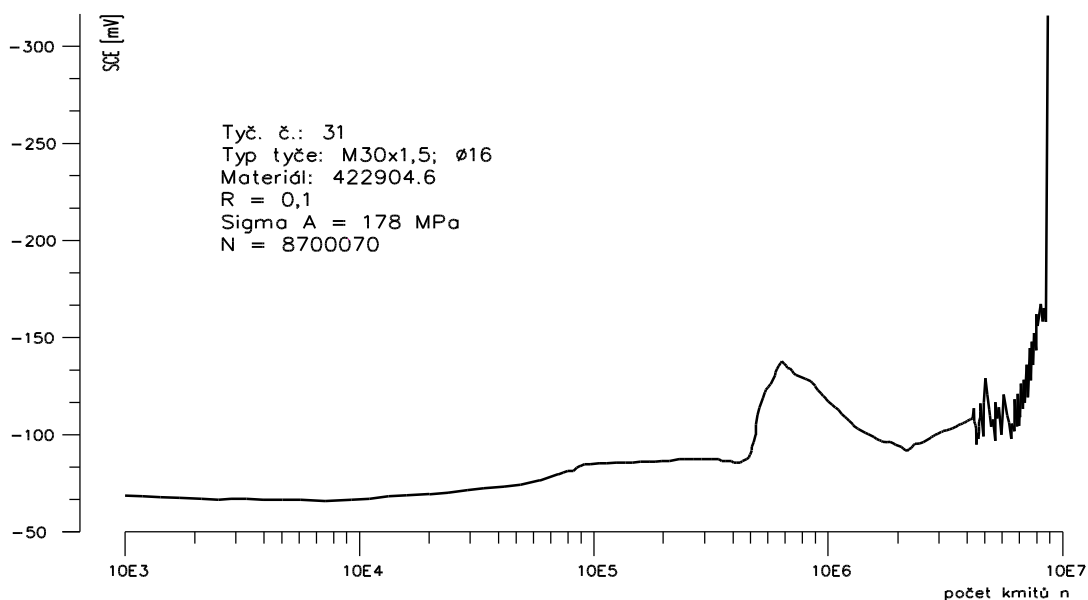
Parametry A, B rovnic křivek životnosti pro sledované hodnoty koeficientu nesouměrnosti kmitu R a pravděpodobnost přežití P = 0,5 jsou uvedeny v tabulce 2.

**Tabulka 2.**

model	logN = A + B.logSigmaA		log(logN) = A + B.logSigmaA	
	A	B	A	B
-1	75,51362	-28,77777	5,800520	-2,079799
0,1	43,42676	-16,24450	3,007071	-0,964445
0,384	57,59116	-23,81077	3,858450	-1,419608
0,6	183,5357	-86,83603	10,81136	-4,903697

Haighův diagram zpracovaný na základě výsledku vyhodnocení křivek životnosti dle modelu 2. je vykreslen na obr.2. Křivky mezních hodnot napětí pro  $N > 10^9$  mají informativní charakter, byly extrapolovány z rovnic tab. 2; křivka dle modelu 1. je označena M1. V diagramu je označena oblast, kde horní napětí kmitu je větší než mez kluzu  $R_p 0,2$ .

Příklad průběhu potenciálu povrchu zkušební tyče během únavové zkoušky při hodnotě koeficientu nesouměrnosti kmitu R = 0,1 je na obr. 3.



**Obr. 3 Průběh potenciálu (SCE) během zkoušky**

### Diskuse výsledků

Citlivost k asymetrii kmitu při únavě oceli 13%Cr,1%Ni v korozním prostředí je výrazně závislá na asymetrii kmitu a na počtu kmitů N. Při hodnotách koeficientu nesouměrnosti kmitu R < 0,1 resp. R > 0,1 roste resp. klesá citlivost k asymetrii kmitu s rostoucím počtem kmitů. Babačenko

[10], za předpokladu lineární závislosti citlivosti k asymetrii kmitu v rozsahu  $R \in \langle -1; 0,176 \rangle$  pro  $N = 10^7$  uvádí, že hodnota součinitele citlivosti  $\psi_\sigma = \Delta\sigma_A/\Delta\sigma_M$  činí 0,35. Obdobně námi stanovená hodnota  $\psi_\sigma = 0,34$ . Není tedy výrazný rozdíl citlivostí k asymetrii kmitu při ohybu [10] a v tahu-tlaku.

Se zvětšováním asymetrie kmitu roste schopnost oceli odolávat v daných korozních podmínkách větším počtům kmitů, kdy horní napětí kmitu dosahuje nebo je větší než konvenční mez kluzu. Pro hodnoty koeficientu nesouměrnosti kmitu  $R > 0,384$  a počty kmitů  $N > 10^9$  je citlivost k asymetrii kmitu velmi malá; doba únavového života v korozním prostředí je prakticky nezávislá na střední hodnotě napětí kmitu.

Tento jev může souviset s mechanismem vzniku korozivzdornosti 13%Cr,1%Ni ocelí. Korozivzdornost této oceli je založena na vzniku pasivity vytvářením submikroskopicky tenkých ochranných vrstev oxidů na povrchu oceli. Vrstva oxidů má vysoký modul pružnosti a při opakované deformaci s vysokou střední hodnotou během kmitavého zatěžování v ní vznikají vysoká napětí překračující její pevnost a vrstva se porušuje v mnoha místech. Pokud dojde k pasivaci v místech porušených ochranných vrstev během únavové zkoušky tj. při současném působení středního napětí, je obnovená vrstva oxidů při pokračování zkoušky namáhána pouze opakovanou deformací. Deformace ochranné vrstvy odpovídající hodnotě napětí oceli  $\sigma_A = 100$  MPa je pravděpodobně kritická pro její praskání.

V místě prasknutí ochranné vrstvy je kov v aktivním stavu, což způsobuje pokles potenciálu a rozvoj koroze. Protože měřená změna potenciálu je váženou střední hodnotou vzhledem k celému povrchu, je ve skutečnosti pokles potenciálu v místě prasknutí výrazně větší. Pokud jsou splněny podmínky pro pasivaci, nastává vzrůst potenciálu a snižování koroze viz obr.3. Ke konci života má měřený potenciál zápornější střední hodnotu a menší rozkmit. To svědčí jednak o snížené intenzitě pasivace nových povrchů a jednak o lokalizaci procesu porušování korozní únavou. Obdobný průběh potenciálu byl pozorován při studiu korozního praskání 13%Cr oceli v 3% roztoku NaCl [11]. Korozní trhliny iniciovala ze dna korozních důlků s charakteristickým průměrem 0,125 mm, které vznikaly při potenciálu menším než -240 mV (SCE). Pokud potenciál neklesl během zatěžování na tuto hodnotu, nedocházelo k vzniku trhlin ani korozních důlků.

Ve vodním prostředí s obsahem chloridů je tento typ ocelí náchylný k bodové korozi již při rovnovážných potenciálech od nejmenších koncentrací chloridů [12]. Bodová koroze a korozní únava v iniciační etapě mají podobné znaky. V obou případech objem materiálu zůstává nepoškozen, poškození je lokalizované do velmi malé oblasti. Vznik obou typů poškození je ovlivněn nehomogenitami oceli [4], [5], [13]. Poškození bodovou korozí a vznik korozní únavy lze prakticky zastavit katodickou polarizací povrchu oceli [13], [14].

### Závěr

1. Citlivost 13%Cr,1%Ni ocelí k asymetrii kmitu při korozní únavě v 0,01% vodním roztoku NaCl je výrazně závislá na hodnotě koeficientu asymetrie kmitu a počtu kmitů.
2. Při hodnotách koeficientu nesouměrnosti kmitu  $R > 0,1$  klesá s rostoucím počtem kmitů

citlivost oceli k asymetrii kmitu.

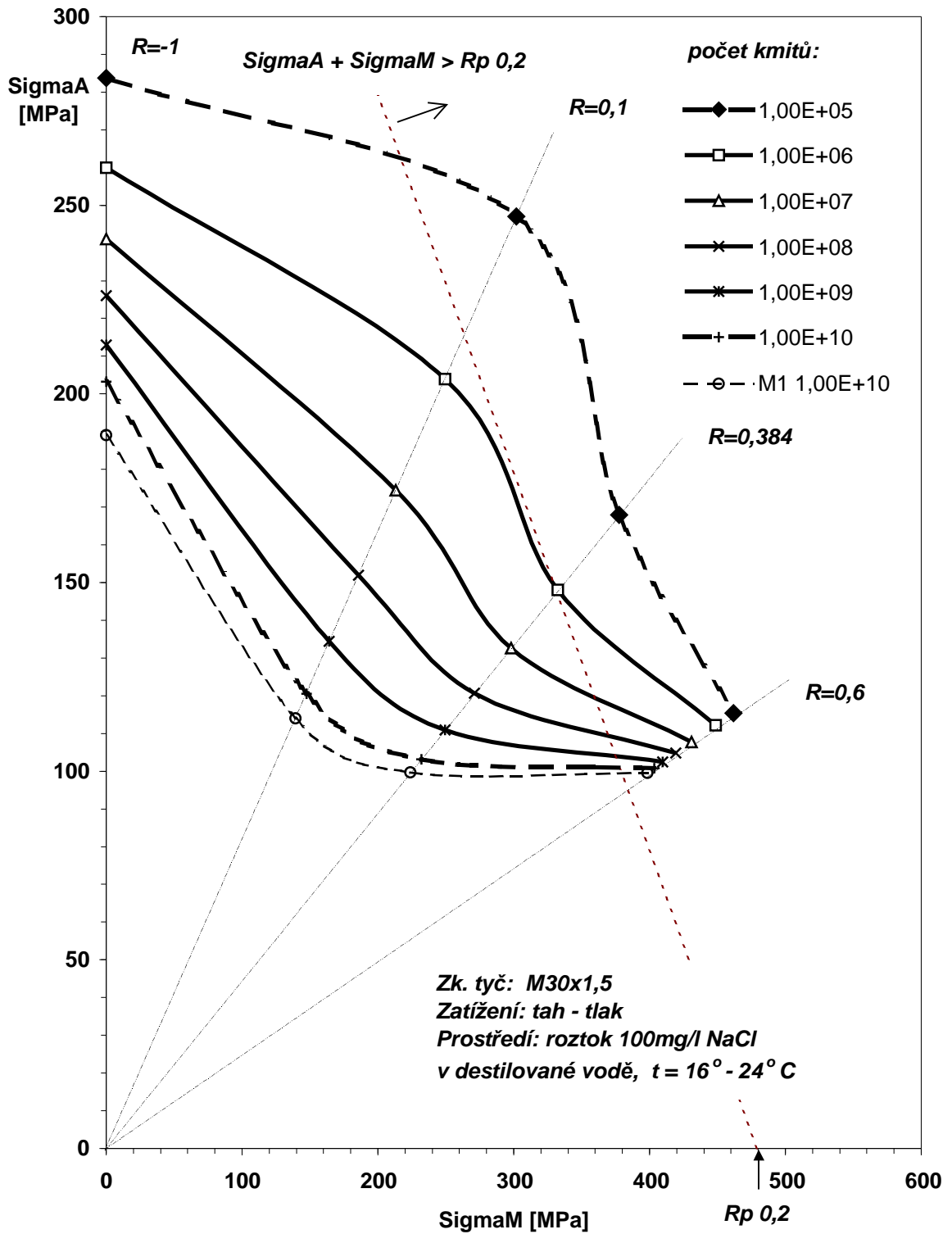
3. Pro danou kvalitu 13% oceli a korozní prostředí existuje hodnota amplitudy napětí, kdy je ocel při korozní únavě prakticky necitlivá k asymetrii kmitu.
4. Výsledky měření potenciálu zkušebních tyčí nejsou v rozporu s možnými mechanizmy korozní únavy 13%Cr,1%Ni ocelí ve vodním prostředí obsahující chloridy.
5. Použitá nenáročná instrumentace únavových zkoušek v korozním prostředí zvyšuje reprodukovatelnost výsledků zkoušek a získané výsledky měření potenciálu zkušební tyče umožňují zpřesnit představy o mechanismu porušování při korozní únavě.

#### **Použité podklady**

1. ŠRAJER, L., L.: Korrozija, Metalurgija, Moskva 1981, str. 285
2. BARP, B., SCHWEIZER, F., FLURY, E.: Water Power, May 1973, str. 166 -170
3. VARNER, M.: Výzk. zp. č.: 4 TEO 9961-253, ČKD Blansko, 1976
4. BARP, P., KELLER, A., MILLER, H.: Some results of fatigue Tests on Steels containing 13%Chromium. Transactions, 7th Symposium of the International Association for Hydraulic Research, Vienna, Austria, 1974
5. JELÍNEK, E.: Strojírnoství 35, č.1, 1985, str. 43 - 50
6. ASTM E 466-76. Part10, Philadelphia, ASTM 1978, str. 546 - 551
7. ASTM G 5-71. Part 31, Philadelphia, ASTM, 1972, str. 1094 - 1103
8. NĚMEC, J., SEDLÁČEK, J.: Statistické základy pevnosti konstrukcí 1. ACADEMIA, Praha 1982
9. VARNER, M.: Statistické vyhodnocování únavových zkoušek. In.: Sborník ze semináře Numerické metody ve fyzikální metalurgii. ÚFM ČSAV Brno, 1988
10. BABAČENKO, V., E.: Energomašinstrojenie, No.7, 1975, str. 16 - 18
11. HEWITT, P., HOCKENHULL, B., S.: Corrosion Science, 1976, Vol.16, str. 47 - 51
12. EFFERTS, P.H., FORCHHAMER, P.: Werkstoffe und Korrosion, 1977, No 12, str. 809-816
13. PRAŽÁK, M., VARNER, M.: British Iron and Steel Institute, No.19535, January, 1981
14. LJAČENKO, L. A. et. al.: FCHMM, 1973, No.5, str.10 -14

#### **Poděkování:**

Autor děkuje Ing. Milanovi Pražákovi, CSc a Doc. Ing. Viktorovi Kanickému, CSc za podnětné rady při přípravě a realizaci zkoušek a při zpracování tohoto příspěvku.



obr. 2 Haighův diagram, ocel 422904.6