Krzysztof Werner

Wpływ przeciążeń na trwałość stalowych próbek przy wzroście w nich pęknięć pod obciążeniem zmęczeniowym

Przegląd Naukowo-Metodyczny. Edukacja dla Bezpieczeństwa nr 2, 127-137

2013

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MUZEUM HISTORII POLSKI

Krzysztof WERNER
Politechnika Częstochowska

WPŁYW PRZECIĄŻEŃ NA TRWAŁOŚĆ STALOWYCH PRÓBEK PRZY WZROŚCIE W NICH PĘKNIĘĆ POD OBCIĄŻENIEM ZMĘCZENIOWYM

Wstęp

W konstrukcjach inżynierskich i elementach maszyn pracujących pod obciążeniem mogą pojawić się lokalne znaczne spiętrzenia naprężeń. Spiętrzenie naprężenia występuje na czole karbu geometrycznego, a jego wartość określa współczynnik kształtu.[1] Karbem geometrycznym w elementach konstrukcyjnych jest np. rowek, otwór, kanał smarowniczy, nagła zmiany przekroju elementu itp. Ponadto spiętrzenie naprężenia powoduje także karb strukturalny,[2] np.: spoina, wtrącenie obce, pęcherz gazowy lub mikro-wada struktury materiału. W czasie działania obciążenia zmiennego (zmęczeniowego) spiętrzone naprężenie na czole karbu może zainicjować pęknięcie. Pęknięcie to w wyniku cyklicznych zmian obciążenia wzrasta powoli aż do osiągnięcia wielkości krytycznej, przy której element konstrukcji lub maszyny ulegnie całkowitemu zniszczeniu.[3] Trwałość elementu z rozwijającym się w nim pęknięciem, tj. liczbę cykli obciążenia zmiennego potrzebną do osiągnięcia krytycznej lub założonej długości pęknięcia, można określić na podstawie badań prędkości zmęczeniowego pękania. Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych zależy głównie od parametrów obciążenia zmiennego, tzn. od wartości naprężenia: maksymalnego σ_{max}, minimalnego σ_{min} lub średniego σ_m, a w szczególności od współczynnika asymetrii cyklu $R=\sigma_{min}/\sigma_{max}$. Ponadto prędkość zmęczeniowego pękania zależy też od właściwości materiału, a zwłaszcza od jego granicy plastyczności R_e i od geometrii elementu konstrukcyjnego.[4]

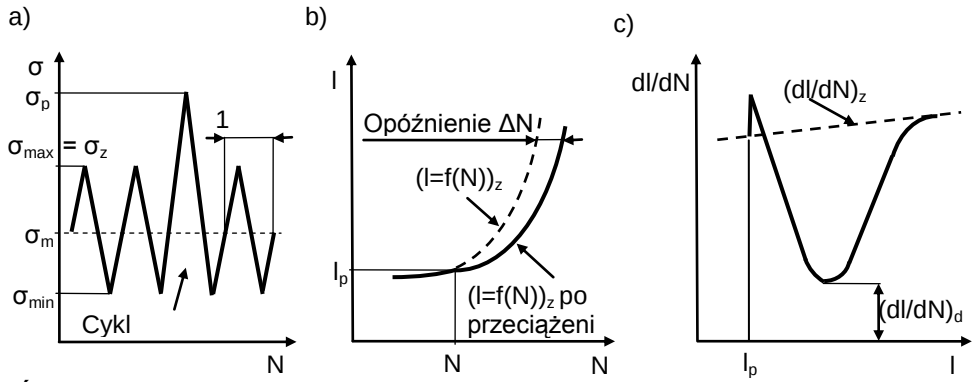
Rozwój pęknięć zmęczeniowych zależy również od zmian poziomu obciążenia, w tym także od przeciążeń, występujących w czasie eksploatacji.[5] Wielkość przeciążenia określa maksymalna wartość naprężenia przeciążającego σ_p (rys.1a) wyrażona współczynnikiem przeciążenia $k_p=(\sigma_p/\sigma_{max})$. Przeciążenia opóźniają rozwój pęknięcia (rys. 1b)[6] w wyniku znacznego rozrostu strefy plastycznej na jego czole.[7] Strefa ta, czyli obszar odkształceń plastycznych przed czołem pęknięcia, generuje wzrost naprężeń ściskających.[8] Jest to reakcja materiału otaczającego strefę plastyczną. Po powrocie do obciążenia

---

[1] M.E. Niezgodziński, T. Niezgodziński, *Wzory, Wykresy i Tablice Wytrzymałościowe*. Warszawa 2012, s. 15-16 i 244-264
[2] S. Kocańda, *Zmęczeniowe pękanie metali*. Warszawa 1985, s. 71-100 i 237-315
[3] S. Kocańda, J. Szala, *Podstawy obliczeń zmęczeniowych*. Warszawa 1985, s. 44-71
[4] Ibidem
[5] *Fatigue crack growth in the aluminium alloy D16 under constantand variable amplitude loading*. (W:) "International Journal of Fatigue". 2004, 26
[6] Prediction of Crack Growth In Higher Strength Steels Subjected to Constant Amplitude Loading with Overloads. (w:) J. Pokluda red.: *Book of Abstracts & Proceedings on CD ROM 17-th European Conference on Fracture ECF 17*. Brno Czech Republic 2008, s. 335 abstract and ss. 8 full text
[7] *Opis prędkości rozwoju pęknięć w stali przy obciążeniu zmęczeniowym z pojedynczymi cyklami przeciążenia*, "Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Nauki Tech. – Mechanika". 2007, 4
[8] Ibidem

zasadniczego naprężenia ściskające w strefie plastycznej „zamykają” szczelinę pęknięcia,[9] co prowadzi do znacznego spadku prędkości pękania *dl/dN* (rys. 1c),[10] aż do osiągnięcia wartości minimalnej $(dl/dN)_d$. Następnie prędkości pękania powraca do wartości charakterystycznej dla obciążenia zasadniczego $(dl/dN)_z$ przy „wyjściu” czoła pęknięcia ze strefy plastycznej przeciążeniowej.[11] Zastosowanie wielu przeciążeń w trakcie rozwoju pęknięcia w elemencie może znacznie zwiększyć jego trwałość.[12]

Rysunek nr 1: Cykl przeciążenia (a) oraz jego wpływ na rozwój pęknięcia (b) i prędkość pękania (c) po przeciążeniu



Źródło: Opracowanie własne

Na rozwój pęknięć zmęczeniowych istotny wpływ ma także wstępne obciążenie zmęczeniowe, jednak przy jego poziomie równym obciążeniu zasadniczemu wpływ ten jest niewielki.[13] Natomiast wstępne przeciążenie zmęczeniowe może znacznie zwiększyć trwałość elementu, zwłaszcza elementów z karbem.

Wzrost trwałości elementu pękającego zmęczeniowo zwiększa stan bezpieczeństwa konstrukcji lub maszyny. Podczas przeglądów okresowych przy powolnym rozwoju pęknięcia łatwiej jest wykryć i ocenić długość pęknięcia względem jego długości krytycznej.

Rozwój pęknięć zmęczeniowych zależy także od rodzaju środowiska. Środowisko korozyjne na ogół zwiększa prędkość pękania. Jednak w niektórych stalach o podwyższonej wytrzymałości obserwuje się spadek prędkości pękania

---

[9] *Prediction of crack growth in 350 WT steel subjected to constant amplitude with over-and under-loads using a modified Wheeler approach*, “Marine Structures”. 2003, 16

[10] *Proposed modifications to the Wheeler retardation model for multiple overloading fatigue life prediction*, “International Journal of Fatigue”. 2006, 28

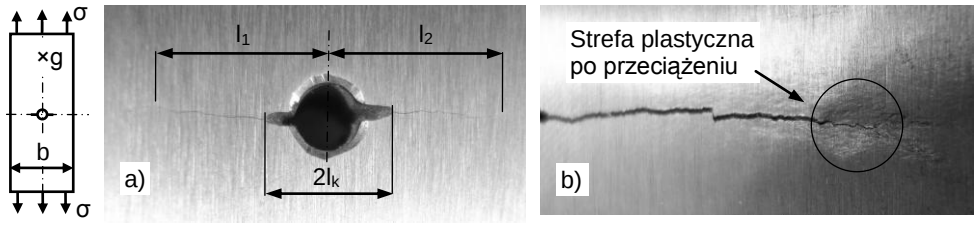
[11] Modelowanie opóźnienia rozwoju pęknięć w próbkach stalowych przy obciążeniu zmęczeniowym z przeciążeniami. (w:) J. Sempruch red.: *Mat. XXII Sympozjum – Zmęczenie i Mechanika Pękania*. Bydgoszcz-Pieczyska 2008, s. 345-352

[12] Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych w stalach konstrukcyjnych po przeciążeniach. (w:) E. Macha red., „Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – *Mechanika,* Mat. Konf. Międzynarodowej 10-th Conference on Fracture Mechanics”. Opole-Wisła 2005*, 83* Vol. 2

[13] J. Kuliś, *Wpływ wstępnego zmęczenia na prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych w stali 18G2AV*. Częstochowa 1982 [praca doktorska]

w początkowym etapie rozwoju pęknięcia i jej wzrost w etapie zasadniczym.[14] Działanie przeciążeń w środowisku korozyjnym jest na ogół podobne jak w powietrzu.[15] Może być jednak mało efektywne lub niekorzystne, zwłaszcza przy stosowaniu ochrony katodowej na skutek destrukcyjnego działania wydzielającego się wodoru.[16]

Rysunek nr 2: Próbka z koncentratorem naprężenia i jej powierzchnia z pęknięciem zmęczeniowym po obu stronach koncentratora naprężenia (a), strefa plastyczna po przeciążeniu z wrastającym w niej pęknięciem zmęczeniowym (b)



Źródło: Badania własne

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań wpływu pojedynczych cykli przeciążeniowych oraz wstępnego przeciążenia zmęczeniowego na trwałość próbek stalowych z karbem geometrycznym, pod działaniem zmiennego obciążenia rozciągającego. Badania prowadzono w powietrzu i w środowisku korozyjnym, tj. w 3,5% roztworze wodnym NaCl. Próbkę z pęknięciem zmęczeniowym oraz strefą plastyczną na czole pęknięcia po przeciążeniu przedstawia rysunek 2.

1. Materiał, próbki, charakterystyka obciążenia i przeciążeń

Do badań zastosowano próbki z niskostopowej stali o podwyższonej wytrzymałości gatunku 18G2A o strukturze ferrytyczno-perlitycznej. Podstawowe właściwości mechaniczne tej stali wynosiły: granica plastyczności R_e=408 MPa, wytrzymałość na rozciąganie R_m=533 MPa, wydłużenie A_5=32%, przewężenie Z=55%. Wykonano próbki płaskie (9×120×400 mm) ze środkowym koncentratorem naprężenia, tj z karbem geometrycznym w postaci otworu o średnicy 3 mm z dwoma nacięciami o łącznej długości $2l_k$=6 mm (rys.2a). Wzrost pęknięć badano przy rozciągającym obciążeniu zasadniczym – sinusoidalnie zmiennym o stałej amplitudzie (σ_{max}=185 MPa, R=0,2) i częstotliwości 5 Hz. Długości pęknięć l_1-l_4 mierzono podczas rozwoju pęknięcia na obu powierzchniach próbki (rys. 1a) za pomocą mikroskopów o powiększeniu 24×.

[14] *Influence of Steel Structure and Strength on Corrosive-Fatigue Crack Growth in the Threshold-Close Area*, "Mechanika Teoretyczna i Stosowana". 1996, 4

[15] *Trwałość korozyjno-zmęczeniowa stali o podwyższonej wytrzymałości przy obciążeniach z przeciążeniami*, "Ochrona przed korozją". 2002, 11A wyd. spec.

[16] *Fatigue-corrosive crack growth in 18G2A steel at cathodic polarization*, "Mechanical Engineering. National Monthly – Scientific-Technical and Industrial Journal". Ukraine 2003, 3 (69)

W trakcie rozwoju pęknięć zmęczeniowych próbki przeciążono pojedynczymi cyklami o współczynniku przeciążenia k_p=1,2 i 1,4 przy długościach pęknięć l_p równych około: 6 mm (2*l*/*b*=0,1), 8,5-9 mm (2*l*/*b*=0,14-0,15) oraz 14 mm (2*l*/*b*=0,23).

W innej partii próbek z koncentratorem naprężeń zastosowano wstępne, zmęczeniowe obciążenie przeciążające o współczynniku *R*=0,2 i współczynniku przeciążenia k_p=1,35 (σ_p=250 MPa) oraz k_p=1,62 (σ_p=300 MPa) o różnej liczbie cykli *N* w bloku przeciążenia (*N*=10000, 20000, 25000 cykli). Wyniki badań średniej długości pęknięcia *l* i odpowiadającej jej liczby cykli obciążenia *N* aproksymowano wielomianem *l*=*f*(*N*) stopnia *n*. Pochodna wielomianu *dl/dN* jest prędkością pękania:

$$l = A_0 + A_1 \cdot N + A_2 \cdot N^2 + ... + A_n \cdot N^n \tag{1}$$

$$\frac{dl}{dN} = A_1 + 2 \cdot A_2 \cdot N + ... + n \cdot A_n \cdot N^{n-1} \tag{2}$$

gdzie: A_0, A_1, A_2 ... A_n to współczynniki wielomianu stopnia *n*

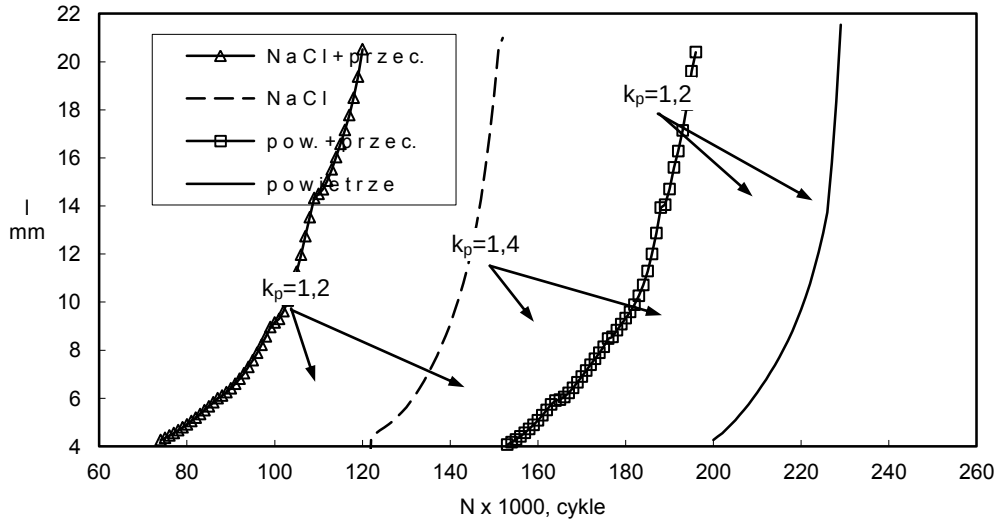
Stopień wielomianu (*n*=3-7) dobierano tak, aby współczynnik korelacji krzywoliniowej *r* uzyskał wysoką wartość, a poziom odchylenia standardowego wartości średniej *S* był niski. Uwzględniono też warunek fizyczny wzrostu pęknięcia *dl/dN* >0. Prędkość pękania wyrażono w funkcji wzrostu długości pęknięcia *l*.

2. Rozwój pęknięć zmęczeniowych z pojedynczymi cyklami przeciążenia

Badania wzrostu pęknięć zmęczeniowych przy zasadniczym poziomie obciążenia wykazały, że trwałości próbek ze stali 18G2A w środowisku korozyjnym i w powietrzu były zbliżone (rys. 3). Zastosowanie trzech cykli przeciążeń spowodowało wystąpienie opóźnienia w rozwoju pęknięcia po każdym przeciążeniu, w wyniku czego trwałość próbek w badanym zakresie rozwoju pęknięcia *l*=4-20 mm wzrosła o około 18% w powietrzu i o około 13% w roztworze NaCl. Większy wpływ na wzrost trwałości próbek badanych zarówno w powietrzu, jak i w środowisku korozyjnym (rys. 3) miało zastosowanie: przeciążenia o większej wartości współczynnika k_p (k_p=1,4) oraz przeciążenia w początkowej fazie rozwoju pęknięcia (l_p=6 mm).

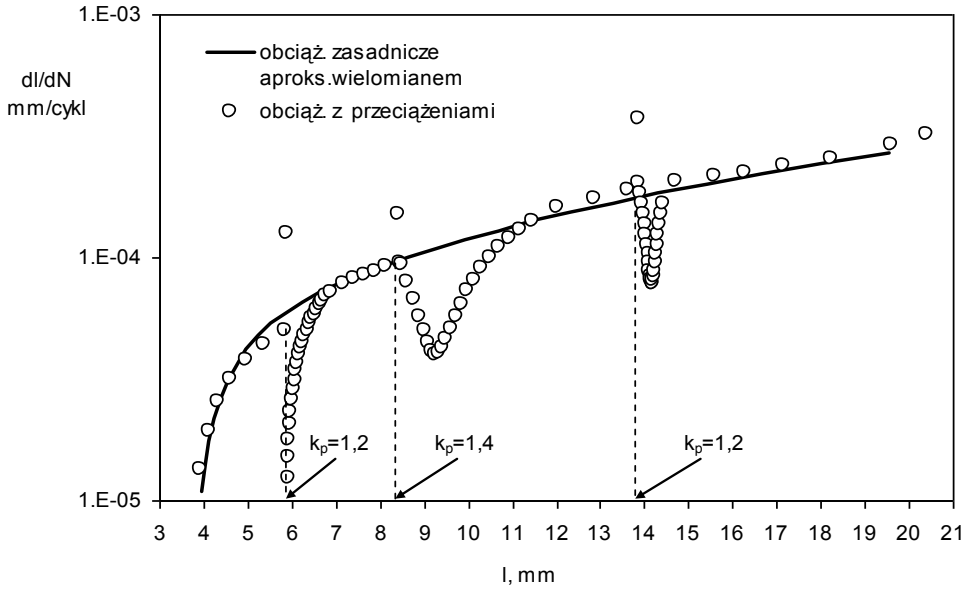
Opóźnienia rozwoju pęknięć wynikały ze znacznego spadku prędkości pękania (rys. 4) w obszarze strefy plastycznej rozbudowanej na czole pęknięcia po każdym przeciążeniu. Spadki *dl/dN* były nawet rzędu wielkości (po pierwszym przeciążeniu) i trwały dłużej przy wyższym współczynniku przeciążenia. W środowisku korozyjnym spadki prędkości pękania po przeciążeniach trwały nieco krócej niż w powietrzu niezależnie od wartości zastosowanych współczynników przeciążenia k_p.

Rysunek nr 3: Wzrost pęknięć zmęczeniowych w próbkach badanych w powietrzu i roztworze NaCl przy naprężeniu zasadniczym (σ_{max}=185 MPa, R=0,2) z przeciążeniami.



Źródło: Opracowanie własne

Rysunek nr 4: Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych w próbkach badanych w powietrzu przy naprężeniu zasadniczym (σ_{max}=185 MPa, R=0,2) z przeciążeniami.

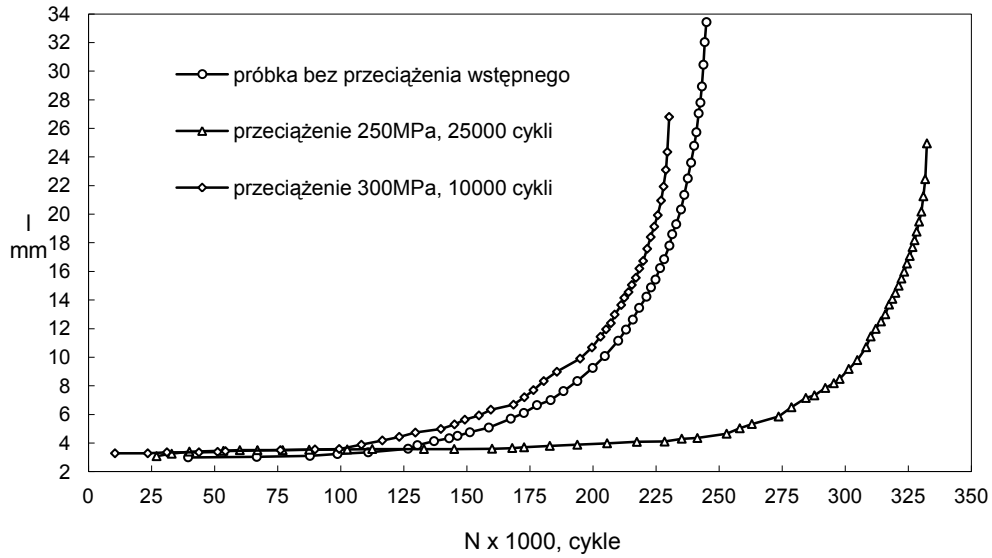


Źródło: Opracowanie własne.

2. Rozwój pęknięć po wstępnym przeciążeniu zmęczeniowym

Badania rozwoju pęknięć wykazały, że po zastosowaniu bloku N=25000 cykli wstępnego zmęczeniowego obciążenia przeciążającego (σ_p=250 MPa, R=0,2, k_p=1,35) nastąpił wzrost trwałości próbki badanej w powietrzu (rys. 5).

Rysunek nr 5. Wzrost pęknięć zmęczeniowych próbek badanych w powietrzu (R=0,2, σ_{max}=185 MPa) po wstępnym zmęczeniowym przeciążeniu R=0,2:σ_p=250 MPa i 300 MPa.

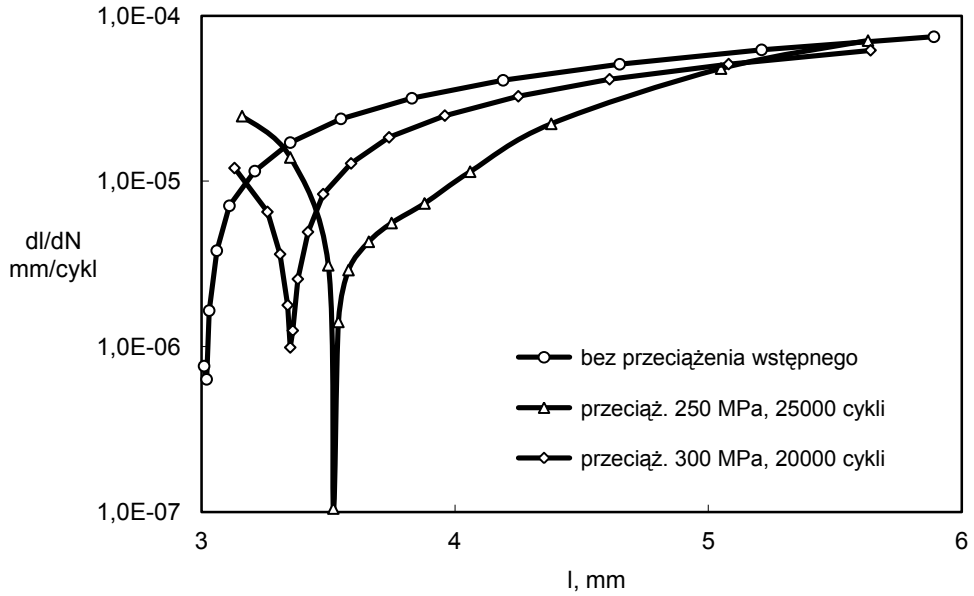


Źródło: Opracowanie własne.

Zwiększenie trwałości próbki po tym przeciążeniu w zakresie wzrostu długości pęknięcia l=3-25 mm wynosiło około 30%. Wynikało to z wolniejszego rozwoju pęknięcia w początkowej fazie pękania, tj. w trakcie jego wzrostu po inicjacji z karbu aż do długości równej około 6 mm. W dalszym etapie pękania kształt krzywych wzrostu pęknięcia w próbce z obciążeniem przeciążającym i w próbce bez przeciążenia był zbliżony.

Natomiast przy wyższym poziomie przeciążenia wstępnego (σ_p=300 MPa, R=0,2, k_p=1,62) trwałość próbki w badanym zakresie długości pęknięcia była zbliżona do trwałości próbki bez przeciążenia (rys. 5). Po tym przeciążeniu w końcowej fazie rozpatrywanego zakresu długości pęknięcia (l > 20 mm) tempo pękania było nawet nieco wyższe niż w próbce bez przeciążenia o czym świadczy większe pochylenie krzywej wzrostu pęknięcia. Wysoki poziom naprężenia (σ_p=300 MPa = 0,735R_e) mimo mniejszej liczby cykli przeciążenia (N=10000 cykli) mógł spowodować, oprócz wzrostu strefy plastycznej przed czołem pęknięcia, także inicjację mikropęknięć i uszkodzeń stali w obrębie mikro-defektów jej struktury położonych w większej odległości przed czołem pęknięcia zmęczeniowego. Może to tłumaczyć szybsze tempo pękania próbki przy większych długościach pęknięcia l > 20 mm.

Rysunek nr 6: Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych próbek badanych w powietrzu w początkowej fazie pękania po wstępnym zmęczeniowym przeciążeniu.

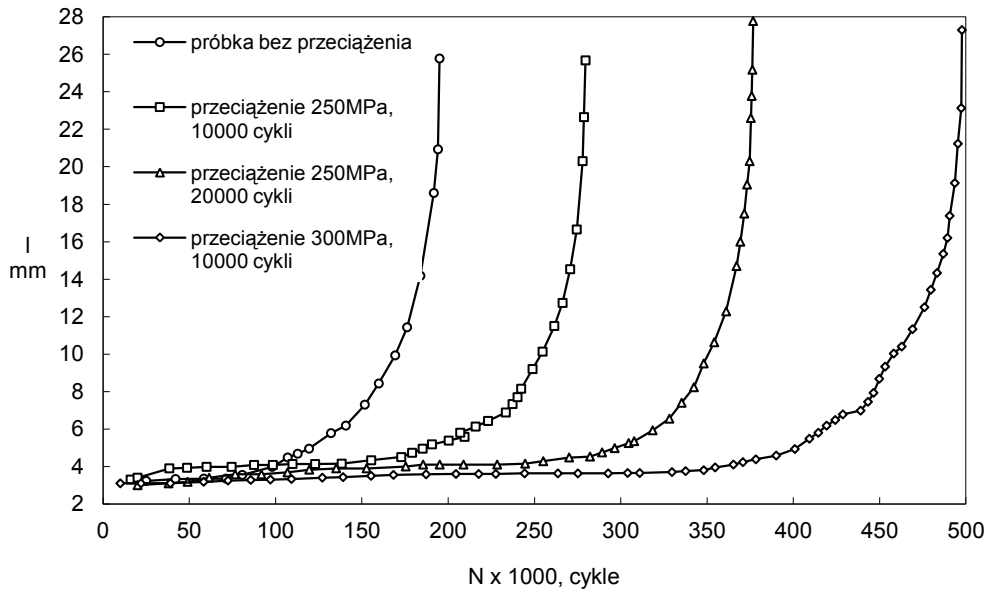


Źródło: Opracowanie własne.

Efekt wstępnych przeciążeń zmęczeniowych związany ze spadkiem prędkości pękania we wstępnej fazie wzrostu pęknięcia dla próbek badanych w powietrzu wystąpił dla obu poziomów przeciążenia (rys. 6). Ale przy wyższym przeciążeniu (σ_p=300 MPa) spadek prędkości pękania był znacznie mniejszy, a minimum prędkości pękania wystąpiło przy nieco mniejszej długości pęknięcia. Początkowe duże prędkości pękania zaraz po przeciążeniu wstępnym (większe niż dla próbki nie przeciążonej) mogą wynikać z łączenia się mikropęknięć, inicjowanych z wtrąceń i wad mikrostruktury stali, spowodowanych koncentracją naprężeń przy obciążeniu przeciążającym.

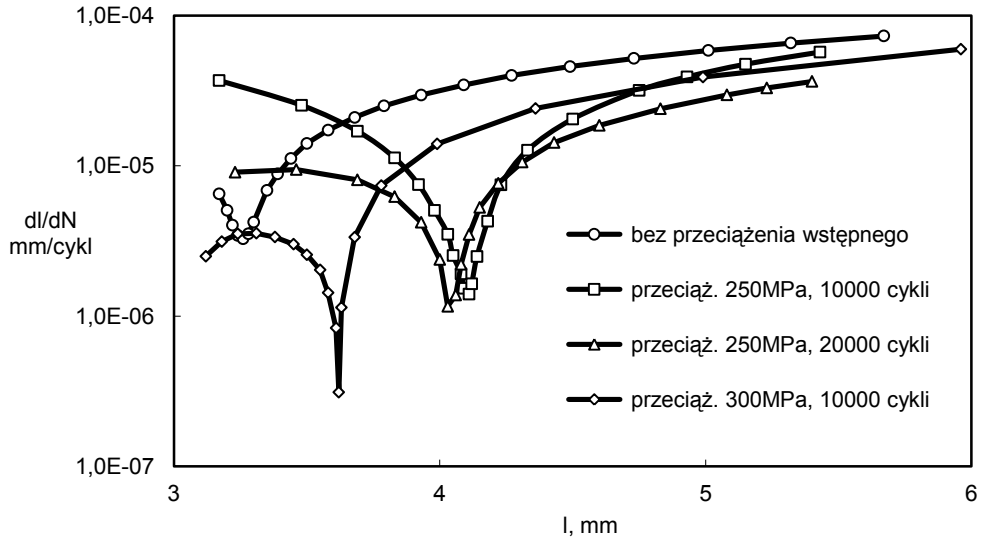
Podobny przebieg rozwoju pęknięć po wstępnym przeciążeniu zmęczeniowym stwierdzono także dla próbek badanych w środowisku korozyjnym (rys. 7). W zależności od zastosowanej liczby cykli wstępnego przeciążenia (N=10000 lub 20000 cykli) przyrost trwałości próbek w zakresie wzrostu długości pęknięcia *l*=3-25 mm po przeciążeniu na poziomie σ_p=250 MPa wynosił odpowiednio: 42% albo 95%. Natomiast po większym przeciążeniu wstępnym (σ_p=300 MPa) wzrost trwałości próbki w tym przedziale rozwoju pęknięcia był jeszcze większy i wynosił około 170%. Prędkość pękania po przeciążeniu wstępnym σ_p=250 MPa była w początkowej fazie wzrostu pęknięcia (dla *l*< 6 mm) mniejsza przy większej liczbie cykli przeciążenia, tzn. przy *N*=20000 cykli (rys. 8). W tej fazie wzrostu pęknięcia (*l*=3-6 mm) prędkość pękania była najmniejsza po wstępnym przeciążeniu o wysokim poziomie naprężenia σ_p=300 MPa.

Rysunek nr 7. Wzrost pęknięć zmęczeniowych próbek badanych w 3,5% roztworze NaCl (R=0,2, σ_{max}=185 MPa) po wstępnym zmęczeniowym przeciążeniu



Źródło: Opracowanie własne.

Rysunek nr 8. Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych próbek badanych w 3,5% roztworze NaCl w początkowej fazie pękania po wstępnym zmęczeniowym przeciążeniu.



Źródło: Opracowanie własne.

Należy jednak zauważyć, że wpływ wstępnego przeciążenia o tak wysokim poziomie jest inny w środowisku korozyjnym niż w powietrzu. Działanie zmęczeniowego przeciążenia wstępnego w warunkach koncentracji naprężeń na czole karbu w środowisku korozyjnym może mieć różny wpływ na okres inicjacji i rozwoju pęknięcia w początkowym etapie pękania. Pęknięcie w środowisku korozyjnym jest ogniwem elektrochemicznym-czoło pęknięcia jest anodą, a powierzchnia przełomu katodą. Może to znacznie intensyfikować rozwój pęknięcia.[17] Rozwój pęknięć zmęczeniowo-korozyjnych jest jednak zagadnieniem skomplikowanym i nie do końca poznanym. W wierzchołku pęknięcia występują różne zjawiska fizyko-chemiczne, takie jak: pasywacja i repasywacja powierzchni pęknięcia, zamykanie się pęknięcia wspomagane gromadzącymi się produktami korozji oraz rozklinowujące działanie wodoru uwalnianego w procesach elektrochemicznych. Charakter tych zjawisk jest często przeciwstawny. Dlatego wpływ środowiska na zmęczeniowy rozwój pęknięć może być różny.[18] Ogólnie zależy on od agresywności środowiska, poziomu naprężenia σ, wartości współczynnika asymetrii cyklu R, własności mechanicznych stali i rodzaju zastosowanej ochrony elektrochemicznej. Tym można tłumaczyć również mniejszą regularność wzrostu pęknięcia w środowisku korozyjnym niż w powietrzu, co uwidoczniło się większym rozrzutem punktów pomiarowych na wykresie wzrostu pęknięcia w roztworze NaCl (rys. 7). Rozrzut ten wystąpił zarówno w próbkach badanych po przeciążeniach wstępnych, jak i bez przeciążenia. Jednak większą nieregularność wzrostu pęknięcia obserwowano w próbkach badanych po przeciążeniach, a zwłascza po wysokim poziomie przeciążenia (σ_p=300 MPa).

Podsumowanie

- Badania wzrostu pęknięcia zmęczeniowego w próbkach ze stali 18G2A w środowisku powietrza i w 3,5% roztworze NaCl wykazały, że zastosowanie pojedynczych cykli przeciążenia o współczynniku k_p=1,2÷1,4 spowodowało wystąpienie opóźnień w rozwoju pęknięcia po każdym przeciążeniu. Wynikały one ze znacznego zmniejszenia prędkość pękania po przeciążeniu. Trzy cykle przeciążenia zastosowane w badanych próbkach spowodowały istotny wzrost ich trwałości zarówno w powietrzu, jak i w roztworze NaCl.
- Wstępne zmęczeniowe przeciążenia próbek wywołały istotną zmianę prędkości pękania badanej stali w powietrzu i w roztworze NaCl, głównie w początkowym etapie rozwoju pęknięcia. Po wstępnym przeciążeniu prędkość pękania przy obciążeniu zasadniczym po inicjacji pęknięcia szybko malała, a następnie rosła. Spadki prędkości pękania po przeciążeniu w początkowej fazie rozwoju pęknięcia zmęczeniowego spowodowały wyraźny wzrost trwałości próbek w badanym zakresie wzrostu pęknięcia.

[17] *Korozyjno-zmęczeniowy rozwój półeliptycznych pęknięć w stali o podwyższonej wytrzymałości 18G2A przy zastosowaniu ochrony katodowej*, „Ochrona przed korozją". 2002, VI wyd. spec.

[18] *Study on corrosive-fatigue crack growth in steels of higher strength*, „Mechanika Teoretyczna i Stosowana" 1993, 4 Vol. 31

- Wyraźnie większy spadek prędkości pękania próbek w powietrzu wystąpił po zastosowaniu niższego poziomu przeciążenia (σ_p=250 MP =0,613R_e). Natomiast po zastosowaniu wyższego poziomu przeciążenia σ_p=300 MPa =0,735R_e) efekt wzrostu trwałości wynikający z występującego początkowo mniejszego obniżenie prędkości pękania został zlikwidowany przez wzrost prędkości pękania w dalszym etapie wzrostu pęknięcia.
- W środowisku korozyjnym przyrost trwałości próbek w zakresie wzrostu długości pęknięcia *l*=3-25 mm był największy po zastosowaniu przeciążenia wstępnego σ_p=300 MPa, N=10000 cykli i wynosił on około 170%. Natomiast po przeciążeniu σ_p=250 MPa o tej samej liczbie cykli wynosił on zaledwie około 42%, a przy większej liczbie cykli (N=20000) tego przeciążenia był ponad dwukrotnie większy i wynosił około 95%.

Reasumując można stwierdzić, że zastosowanie pojedynczych cykli przeciążenia w trakcie rozwoju pęknięcia zmęczeniowego, a zwłaszcza zmęczeniowego przeciążenia wstępnego zwiększa znacznie trwałość elementu z wzrastającym w nim pęknięciem. Pozwala to na zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji konstrukcji inżynierskich oraz maszyn zagrożonych możliwością inicjacji i rozwoju pęknięć zmęczeniowych.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu pojedynczych cykli przeciążeniowych oraz wstępnego przeciążenia zmęczeniowego na trwałość próbek stalowych, w których przewiduje się możliwość inicjacji i rozwoju pęknięcia z istniejących karbów geometrycznych. Badania prowadzono w powietrzu i w środowisku korozyjnym na płaskich próbkach z centralnym karbem. Próbki obciążono cyklicznie zmiennym (zmęczeniowym) obciążeniem rozciągającym o stałej amplitudzie. W jednej partii próbek zastosowano pojedyncze cykle przeciążenia w różnych fazach rozwoju pęknięcia, a w drugiej partii – wstępne przeciążenie zmęczeniowe przed inicjacją pęknięcia. Wyniki badań wykazały istotny wpływ pojedynczych cykli przeciążenia oraz wstępnego przeciążenia zmęczeniowego na wzrost trwałości próbek.

Summary

In the work the test results of the influence of single overload cycles and of the introductory fatigue overload on the durability of the steel samples in which one provides the possibility of initiation and the crack growth from existing geometrical notch are presented. The flat samples with central notch were tested in the air and in the corrosive environment. The testing of samples was carried out at the constant amplitude fatigue tensile load. The single overload cycles were applied in one party of samples in the various stage of the crack growth and in second party-the introductory fatigue overload was applied before the initiation of the crack. The test results showed the considerable positive influence of the single overload cycles and the introductory fatigue overload on the durability of samples.

Bibliografia

1. *Fatigue crack growth in the aluminium alloy D16 under constantand variable amplitude loading*, “International Journal of Fatigue”. 2004, 26
2. *Fatigue-corrosive crack growth in 18G2A steel at cathodic polarization*, “Mechanical Engineering. National Monthly – Scientific-Technical and Industrial Journal”. Ukraine 2003, 3 (69)
3. *Influence of Steel Structure and Strength on Corrosive-Fatigue Crack Growth in the Threshold-Close Area*, “Mechanika Teoretyczna i Stosowana”. 1996, 4
4. Kocańda S., Szala J., *Podstawy obliczeń zmęczeniowych*. Warszawa 1985
5. Kocańda S., *Zmęczeniowe pękanie metali*. Warszawa 1985
6. *Korozyjno-zmęczeniowy rozwój półeliptycznych pęknięć w stali o podwyższonej wytrzymałości 18G2A przy zastosowaniu ochrony katodowej*, „Ochrona przed korozją”. 2002, VI wyd. spec.
7. Kuliś J., *Wpływ wstępnego zmęczenia na prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych w stali 18G2AV*. Częstochowa 1982 [praca doktorska]
8. Modelowanie opóźnienia rozwoju pęknięć w próbkach stalowych przy obciążeniu zmęczeniowym z przeciążeniami. (w:) Sempruch J., red.: *Mat. XXII Sympozjum – Zmęczenie i Mechanika Pękania*. Bydgoszcz-Pieczyska 2008
9. Niezgodziński M.E., Niezgodziński T, *Wzory, Wykresy i Tablice Wytrzymałościowe*. Warszawa 2012
10. *Opis prędkości rozwoju pęknięć w stali przy obciążeniu zmęczeniowym z pojedynczymi cyklami przeciążenia*, “Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Nauki Tech. – Mechanika”. 2007, 4
11. *Prediction of crack growth in 350 WT steel subjected to constant amplitude with over-and under-loads using a modified Wheeler approach*. (w:) “Marine Structures”. 2003, 16
12. Prediction of Crack Growth In Higher Strength Steels Subjected to Constant Amplitude Loading with Overloads. (w:) Pokluda J. red.: *Book of Abstracts & Proceedings on CD ROM 17-th European Conference on Fracture ECF 17*. Brno Czech Republic 2008
13. Prędkość rozwoju pęknięć zmęczeniowych w stalach konstrukcyjnych po przeciążeniach. (w:) Macha E., red.: „Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej – *Mechanika,* Mat. Konf. Międzynarodowej 10-th Conference on Fracture Mechanics”. Opole-Wisła 2005*, 83* Vol. 2
14. *Proposed modifications to the Wheeler retardation model for multiple overloading fatigue life prediction*. (w:) “International Journal of Fatigue”. 2006, 28
15. *Study on corrosive-fatigue crack growth in steels of higher strength*, „Mechanika Teoretyczna i Stosowana” 1993, 4 Vol. 31
16. *Trwałość korozyjno-zmęczeniowa stali o podwyższonej wytrzymałości przy obciążeniach z przeciążeniami*., “Ochrona przed korozją”. 2002, 11A wyd. spec.