



Energetyka®

PROBLEMY ENERGETYKI I GOSPODARKI PALIWOWO-ENERGETYCZNEJ

10/2015

ISSN 0013-7294

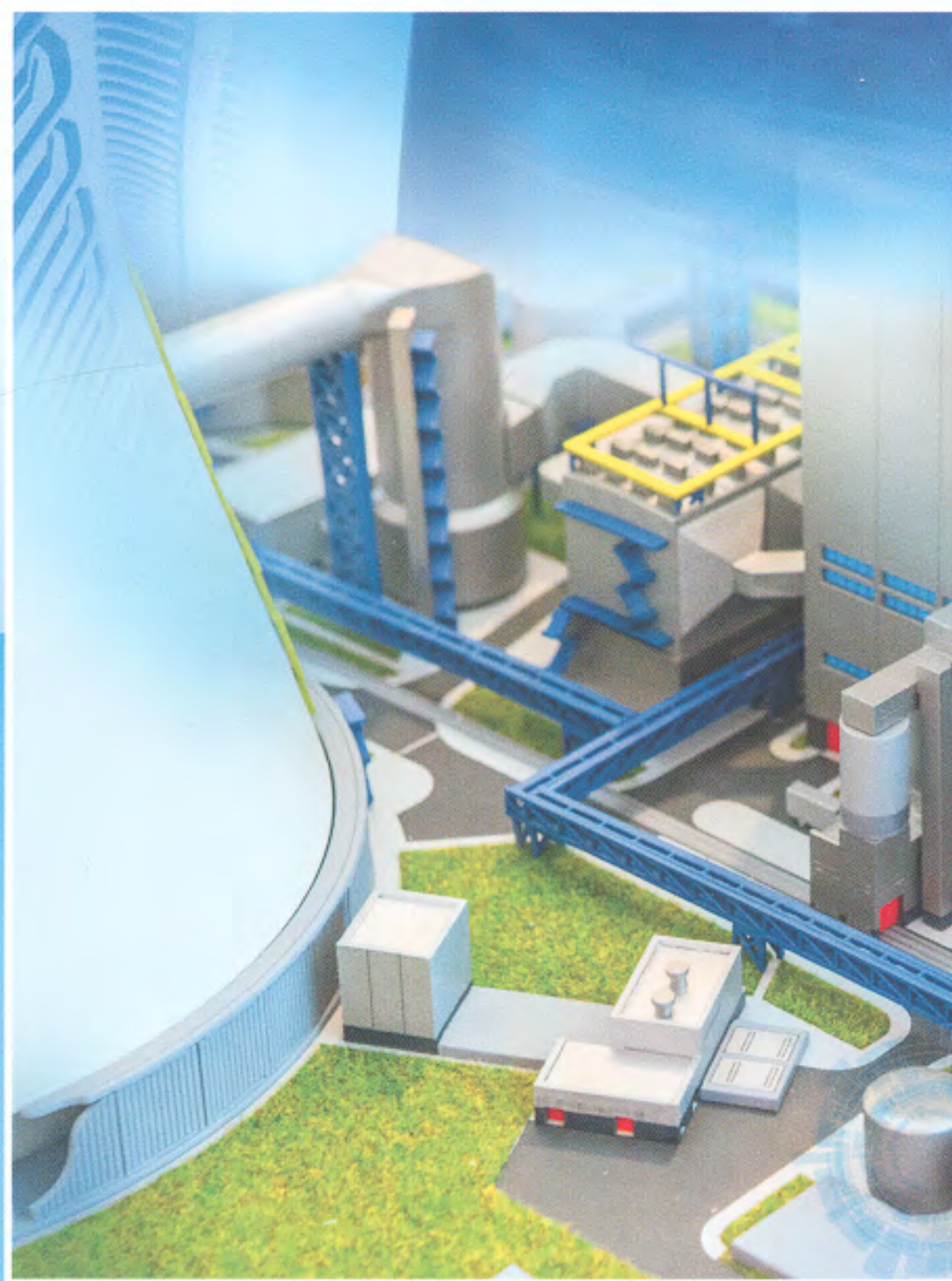
CENA 20 ZŁ (w tym 5% VAT)

(736)

RAFAKO

GRUPA PBG

www.rafako.com.pl



Budujemy blok na parametry nadkrytyczne
o mocy 910 MW w Elektrowni Jaworzno

dla energetyki i środowiska

Wytrzymałość na rozciąganie złącza (strefa lica i grani spoiny) wynosiła średnio 452 MPa, natomiast wartości pracy łamania były duże i wynosiły w SWC odpowiednio – po stronie 15HM średnio 160 J, a po stronie materiału P91 średnio 183 J. Próby zginania próbek (strefa lica i grani spoiny) do kąta 180° dały wynik pozytywny.

Podsumowanie wyników badań

1. Ujawniona makrostruktura złącza pokazuje bardzo poprawną geometrię spoiny, zarysowane regularne ściegi spawalnicze oraz wąską równomierną strefę wpływu ciepła (rys. 3). Makroskopowo jakość złącza nie budzi zastrzeżeń.
2. Zastosowane warunki spawania i obróbki cieplnej zapewniły poprawną jednorodną strukturę spoiny oraz SWC po stronie zarówno 15HM jak i P91. W obszarze linii wtopienia występuje bardzo wąska strefa odwęglenia i wzbogacenia w węgliki (rys. 4 i 5), która przy szerokości 30-100 μm nie wpływa negatywnie na obniżenie właściwości użytkowych złącza. Efektów występowania niekorzystnego grubego ziarna w strefie linii wtopienia nie stwierdzono.

Katarzyna Makowska

Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa

Zbigniew L. Kowalewski

Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

Możliwości wykorzystania szumu Barkhausena do oceny mikrostruktury i właściwości mechanicznych materiałów

Possibilities of Barkhausen noise application for microstructure and mechanical properties evaluation

Szum Barkhausena jest sygnałem napięciowym generowanym przez skokowy ruch granic domenowych, powstającym na skutek zmiany natężenia pola magnetycznego [1]. Ściany domenowe są chwilowo blokowane przez elementy mikrostruktury, takie jak: wydzielenia, pustki, granice ziaren, dyslokacje, stanowiące przeszkody dla ich ruchu, a następnie w sposób nagły odblokowywane podczas zmiany natężenia pola magnetycznego [2]. Szum Barkhausena jest zależny od wielu czynników, wśród których można wymienić wielkość ziarna materiału [3] oraz jego mikrostrukturę [4]. Właściwości mechaniczne materiału, uwarunkowane jego mikrostrukturą, można próbować oceniać za pomocą poziomu sygnału Barkhausena. Założeniem niniejszego artykułu było zobrazowanie wpływu mikrostruktury materiału na poziom szumu

3. Wyniki badań nieniszczących i strukturalnych oraz właściwości mechanicznych potwierdzają trafne wybranie spoiwa WMoVSi/EMoVB42H5 i przyjętych parametrów obróbki cieplnej do wykonania przedmiotowego. Złącze spełnia wymagania jakościowe stawiane przez PN-EN ISO 15614-1:2008, będące podstawą uzyskania kwalifikacji technologii spawania.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Pilous V., Stransky K.: „Zvaranie” 1983, 32, nr 8, „Zvaranie” 1984, 33, nr 1.
- [2] Tasak E., Ziewiec A., Brzeziak A.: „Przegląd Spawalnictwa” 2002, nr 9.
- [3] Tasak E., Hernas A.: Sprawozdanie nr P/XII-4/ 2004, PROMA-RAFAKO SA
- [4] Tasak E., Hernas A., Pasternak J., Fudali S.: *Dissimilar welded joint without of a bufor zone of steel type 9Cr with 1CrMoV for steam boiler pipelines*. 8th Int. Conf. on Mater. for Adv. Power Eng. Liege 2006.



Wstęp
strukt
tenzyt
rozłoż
pomar
udział
nego r

N
określe
nej sta
A = 15
P
rach p
nym. D
przysp
pewnia
turze 5
macji p
rastają
peżan
czasie
nym oc
mecha
W
rych z
1,48%,
15,07%
0,79%,
zastos
nych m

0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
-1

Barkhausena oraz sprawdzenie czułości metody oceny szumu Barkhausena na zmiany właściwości mechanicznych stali średniowęglowej. Jest to zatem tematyka związana z kontrolą jakości materiałów poddawanych eksploatacji w zakładach reprezentujących przemysł petrochemiczny bądź energetyczny.

Program badań i uzyskane wyniki

Testy przeprowadzono na stali średniowęglowej 40HNMA o następującym wagowym składzie chemicznym: 0,44% C, 0,31% S, 0,64% Mn, 0,015% P, 0,010% S, 0,74% Cr, 0,02% Mo, 1,40% Ni, 0,015% Al, 0,16% Cu, 0,50% Ti, 0,03% W, reszta Fe.

Wstępne wyniki testów strukturalnych materiału wykazały jego strukturę sorbityczną z zachowanym iglastym układem pomartenzycytnym. Jednak w niektórych obszarach równomiernie rozłożonego sorbitu można było zauważyć, że iglasty układ pomartenzycytny nie został w pełni zachowany. Sumaryczny udział tych obszarów wynosił około 2% [5]. Mikrostrukturę badanego materiału pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Mikrostruktura stali 40HNMA, światło zwykłe, pow. 500 × [5]

Na podstawie wyników standardowej próby rozciągania określono następujące właściwości mechaniczne testowanej stali: $R_{0,2} = 1153$ MPa, $R_m = 1246$ MPa, $E = 207$ GPa, $A = 15\%$ [5].

Próbki stalowe o długości pomiarowej 40 mm i wymiarach przekroju 5 × 7 mm poddano obciążeniom mechanicznym. Dla jednej partii próbek przeprowadzono testy pełzania przyspieszonego przy stałym obciążeniu rozciągającym, zapewniającym naprężenie znamionowe 250 MPa, w temperaturze 500°C, natomiast próbki z drugiej partii poddano deformacji plastycznej wskutek rozciągania przy monotonicznie narastającym obciążeniu w temperaturze pokojowej. Każdy test pełzania i plastycznego płynięcia zatrzymywano po różnym czasie obciążania w celu otrzymania materiału o zróżnicowanym odkształceniu, a tym samym o różnych właściwościach mechanicznych.

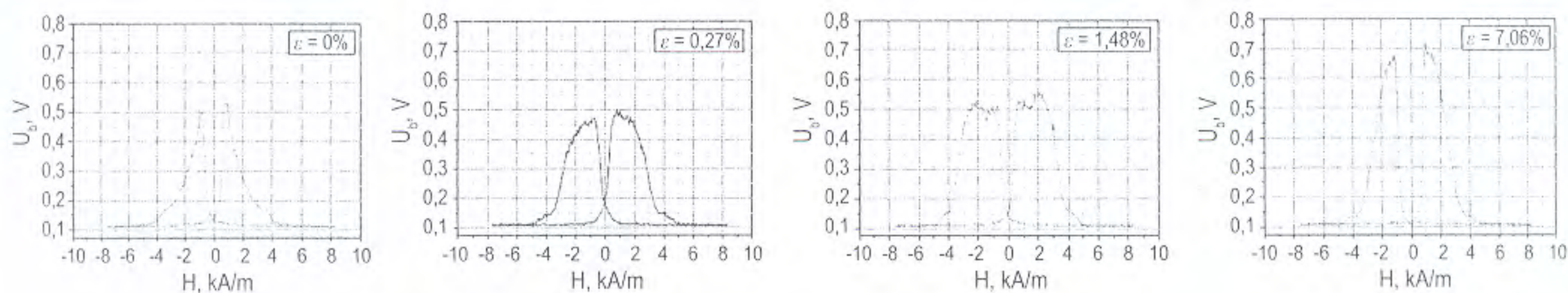
W przypadku pełzania wartości odkształcenia, przy których zatrzymywano próby, wynosiły odpowiednio: 0,27%, 1,48%, 1,57%, 1,90%, 3,19%, 4,43%, 6,96%, 7,06%, 15,04%, 15,07%, natomiast w przypadku deformacji plastycznej: 0,22%, 0,79%, 1,39%, 1,78%, 3,04%, 4,23%, 6,85%, 6,88% [5]. Oba zastosowane procesy deformacyjne przebiegały przy odmiennych mechanizmach. Głównymi mechanizmami odkształcenia

podczas prób pełzania był poślizg oraz wspinanie dyslokacji, natomiast głównym mechanizmem odkształcenia podczas plastycznego płynięcia był tylko poślizg dyslokacji [6]. Wybór dwóch sposobów obciążania materiałów był podyktowany zamiarem wykazania możliwości rozróżnienia typu historii deformacji stali za pomocą parametrów wyznaczanych na podstawie badań nieniszczących.

Po etapie wstępnej deformacji próbek wykonano badania poziomu szumu Barkhausena, wykorzystując do tego celu urządzenie opisane między innymi w pracy [7]. Wyniki tych badań, reprezentowane przez obwiednie napięcia skutecznego szumu Barkhausena, przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rysunku 2 widoczne są wybrane wyniki badań magnetycznych próbek stalowych po pełzaniu dla czterech wartości wstępnego odkształcenia. Jak można zauważyć, proces pełzania zmienia nieznacznie kształt obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena materiału. W przypadku wszystkich próbek testowanych po tym typie procesu deformacyjnego piki napięciowe charakteryzują się zbliżonymi wartościami amplitudy i mają podobną rozpiętość między sobą (rys. 2) [5].

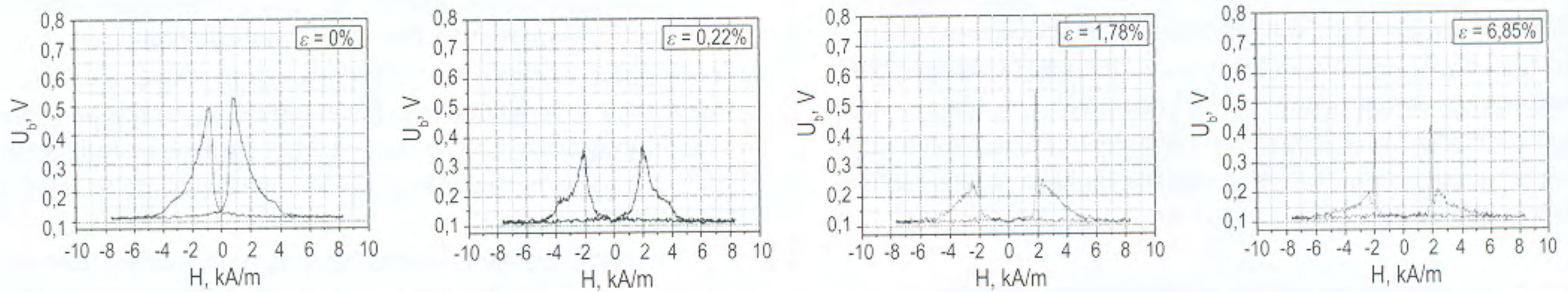
Dla próbki odkształconej do 1,48% można wyodrębnić podwójne maksimum, co wynika z obniżenia gęstości dyslokacji (na skutek działania temperatury) zarówno w obszarach o mikrostrukturze sorbitycznej o iglastym układzie pomartenzycytnym, jak i w obszarach sorbitycznych, charakteryzujących się brakiem iglastego układu pomartenzycytnego. Dodatkowo można zauważyć, że pierwsze maksimum występuje dla fazy sorbitycznej o niezachowanym iglastym układzie pomartenzycytnym, natomiast drugie dla fazy sorbitycznej o zachowanym iglastym układzie pomartenzycytnym [5]. W przypadku próbek o większych odkształceniach ponownie zaobserwowano jedno wyraźne maksimum, ponieważ dłuższy jest czas obciążenia materiału, podczas którego pojawiło się coraz więcej dyslokacji dla obu rodzajów faz materiałowych [5].

W efekcie fazy te wykazywały coraz bardziej zbliżone właściwości magnetyczne, to znaczy z podobną siłą zakotwiczały i odblokowywały się w nich granice domenowe [5]. W porównaniu z wynikami dla stali po deformacji wskutek pełzania proces plastycznego płynięcia przy narastającym obciążeniu zmieniał kształt obwiedni szumu Barkhausena w odmienny sposób (rys. 3) [5]. W przypadku małej wartości odkształcenia (0,22%), amplituda obwiedni malała [5]. Dla próbek odkształconych powyżej 0,22% charakter obwiedni ulegał zmianie – pojedyncze maksimum przekształcało się w podwójne [5]. Pierwsze szpiczaste maksimum można utożsamiać z obszarami występowania sorbitu o niezachowanym iglastym układzie pomartenzycytnym, natomiast drugie, występujące przy



Rys. 2. Obwiednie napięcia skutecznego szumu Barkhausena stali 40HNMA po pełzaniu [5]





Rys. 3. Obwiednie napięcia skutecznego szumu Barkhausena stali 40HNMA po deformacji plastycznej [5]

wyższej wartości natężenia pola magnetycznego, reprezentowało obszary sorbitu o zachowanym iglastym układzie pomartenzycytnym [5]. Sorbit o niezachowanym iglastym układzie pomartenzycytnym jest bardziej czuły na naprężenia rozciągające niż sorbit z zachowanym iglastym układem pomartenzycytnym [5].

Z danych literaturowych wiadomo natomiast, że narastające naprężenia rozciągające powodują wzrost impulsów szumu Barkhausena [8]. W przypadku opisywanych badań sytuacja nie jest jednak tak jednoznaczna. W zakresie bardzo małych wartości odkształcenia (do 0,5%) obserwowano spadek wartości impulsów, następnie ich wzrost (odkształcenia w zakresie od około 0,5 do 1%), a po przekroczeniu odkształcenia plastycznego o wartości 1%, amplituda obwiedni szumu Barkhausena stopniowo obniżała się w wyniku generowania się w materiale kolejnych dyslokacji, które utrudniały przemieszczanie się ścian domenowych [5]. Otrzymany charakter zmian impulsów szumu Barkhausena wskazuje na dużą złożoność zachodzących zjawisk i stąd konieczność prowadzenia dalszych prac badawczych w tym kierunku.

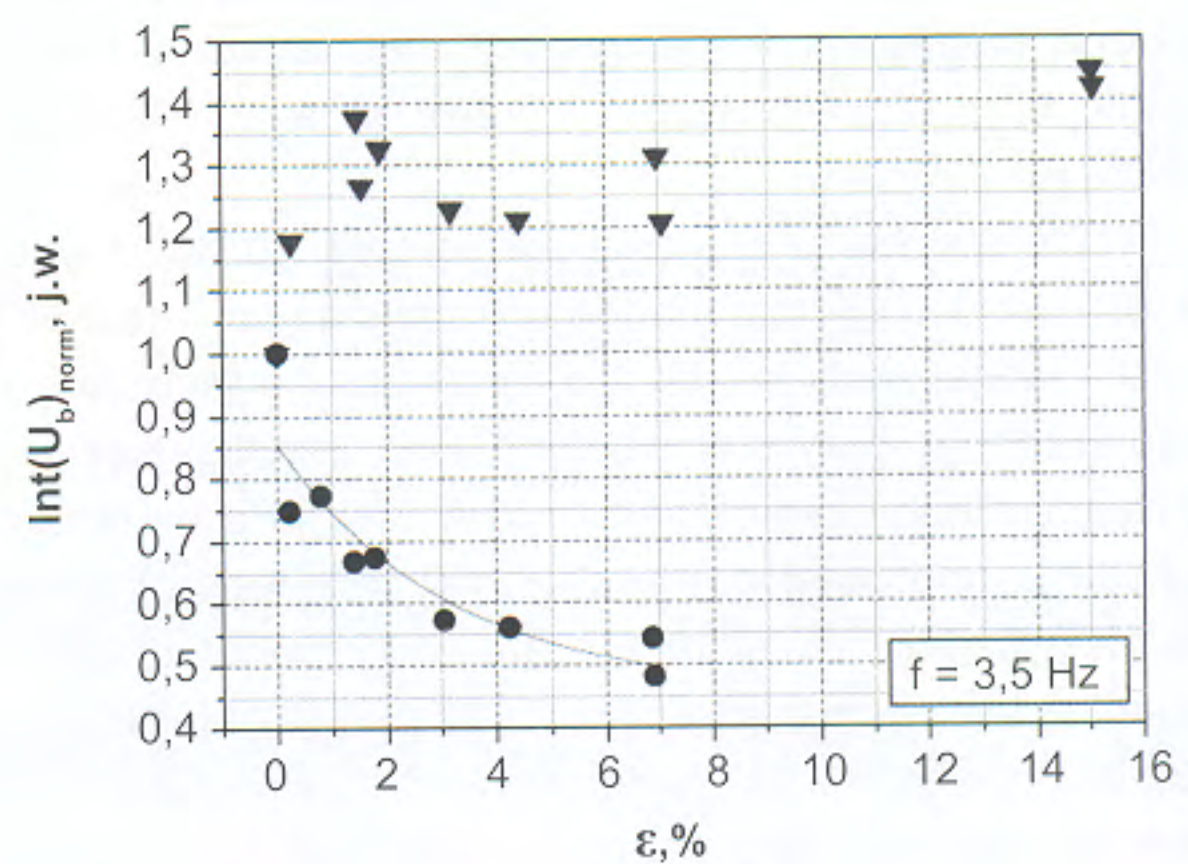
W kolejnym kroku analizy z obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena, otrzymanych dla serii próbek stalowych poddanych pełzaniu oraz serii próbek stalowych poddanych plastycznemu płynięciu, wyznaczono wartości ich całek (rys. 4) [5]. Wszystkie wartości parametru wyznaczonego na podstawie badań magnetycznych znormalizowano (odniesiono do wartości całki z obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena dla materiału bez deformacji wstępnej $\varepsilon = 0\%$).

Jak wynika z rysunku 4 wartość całki wyznaczonej z obwiedni sygnału napięciowego szumu Barkhausena $\text{Int}(U_b)_{\text{norm}}$ po pełzaniu wzrasta dla małych wartości odkształcenia, co jest związane z obniżeniem gęstości dyslokacji i tym samym wartości naprężenia na skutek działania temperatury [5]. Z dalszym wzrostem wstępnej deformacji uzyskanej przy pełzaniu następuje nieznaczne obniżenie wartości całki, co jest wynikiem wprowadzenia do materiału dodatkowych dyslokacji, utrudniających przemieszczanie się ścian domenowych [5]. Większe wartości odkształcenia pełzania (powyżej 10%) prowadzą do ponownego wzrostu sygnału Barkhausena, wyrażonego w postaci całki, ponieważ zdrowienie materiału zachodzi szybciej od jego wzmocnienia wskutek deformacji [5].

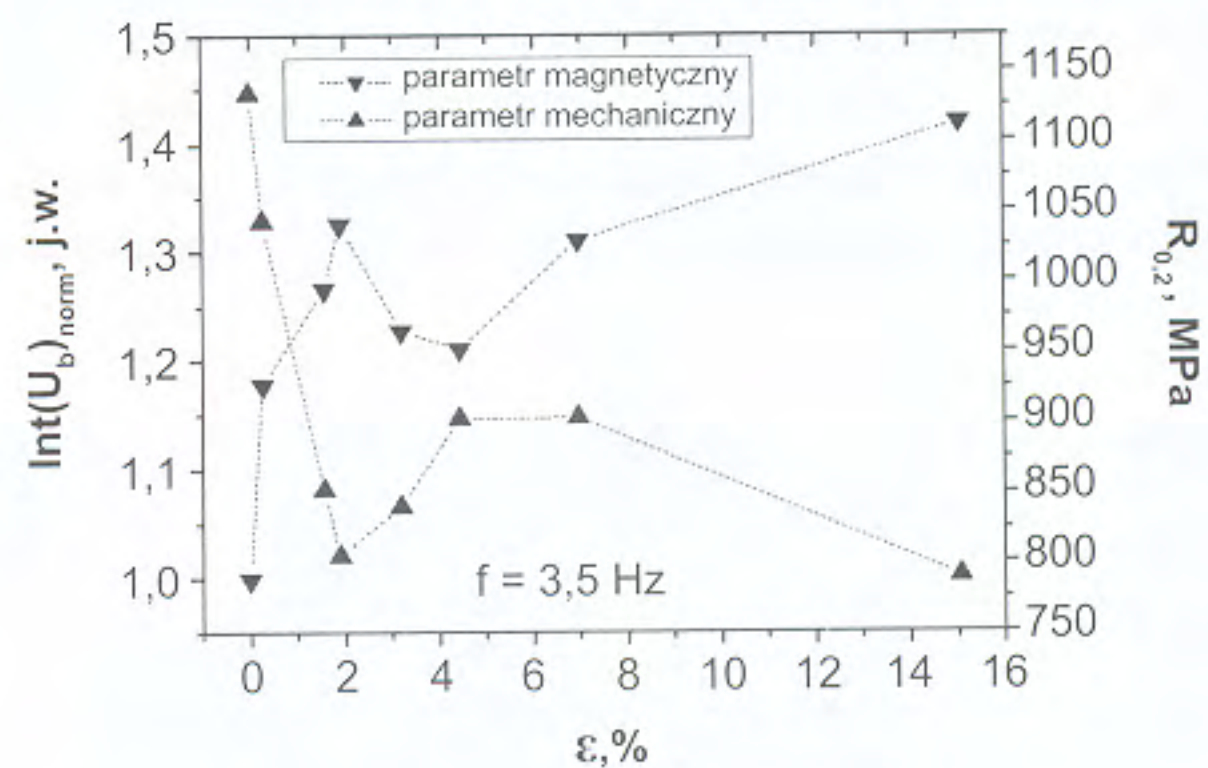
W przypadku stali poddanej wstępnej deformacji plastycznej wartość całki maleje (rys. 4) na skutek sukcesywnego generowania się w materiale nowych dyslokacji. W efekcie zmniejsza się średnia droga swobodna dla przemieszczających się granic domenowych oraz zwiększa się siła ich kotwiczenia [9]. Ściany

domenowe przemieszczają się mniej efektywnie i w rezultacie wartość rozważanej całki maleje [10].

Analiza przebiegu zmian umownej granicy plastyczności oraz całki wyznaczonej z obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena $\text{Int}(U_b)_{\text{norm}}$ w funkcji wartości odkształcenia wstępnego uwidoczniła ich odmienny charakter [5]. Jest to szczególnie widoczne w przypadku serii próbek po pełzaniu (rys. 5). Zmiany obu parametrów w funkcji wstępnej deformacji miały charakter lustrzany, tj. gdy wartość całki wyznaczonej z obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena $\text{Int}(U_b)_{\text{norm}}$ zwiększała się, to wartość umownej granicy plastyczności $R_{0,2}$ malała i odwrotnie [5].



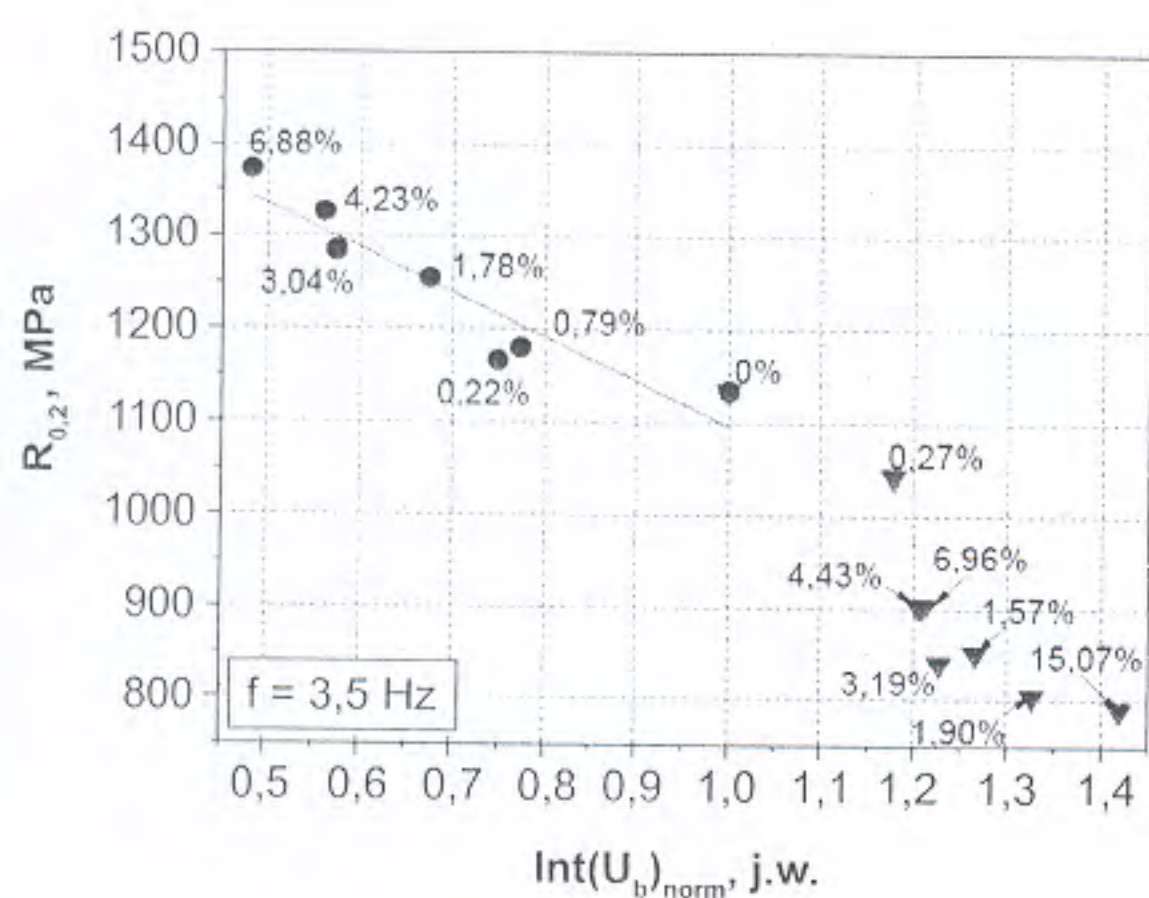
Rys. 4. Całka wyznaczona z obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena badanej stali w funkcji odkształcenia trwałego (trójkąty – pełzanie, kółka – deformacja plastyczna) [5]



Rys. 5. Zestawienie zmian wartości całki z obwiedni napięcia skutecznego emisji Barkhausena ze zmianami umownej granicy plastyczności badanej stali w funkcji wstępnego odkształcenia pełzania [5]

Na rysunku 6 pokazano zależności występujące między całką wyznaczoną z obwiedni napięcia skutecznego szumu Barkhausena dla stali po wstępnym pełzaniu lub plastycznym płynięciu a umowną granicą plastyczności.

Na zamieszczonych wykresach podano wartości wstępnego odkształcenia trwałego próbek pozwalające ustalić, czy dane zależności mają charakter funkcyjny. W przypadku stali po wstępnej deformacji plastycznej można zauważyć liniową zależność między całką a umowną granicą plastyczności [5]. Dla tego typu deformacji dodatkowo widać, że wyższym wartościom granicy plastyczności odpowiadają niższe wartości całki. Taką samą tendencję do zmian otrzymano dla serii próbek po pełzaniu, przy czym w porównaniu z serią próbek zdeformowanych wstępnie wskutek plastycznego płynięcia (rys. 6) [5], wartości umownej granicy plastyczności są znacznie mniejsze, a wartości całki istotnie większe. Stanowi to konsekwencję działania temperatury, która powoduje częściową anihilację defektów w materiale, skutkując spowolnieniem procesu umacniania materiału (jednocześnie zachodzą procesy temperaturowego zdrowienia i wzmocnienia odkształceniowego) oraz podwyższeniem wartości rozważanego parametru magnetycznego [5].



Rys. 6. Związek między umowną granicą plastyczności a całką z obwiedni rms szumu Barkhausena dla badanej stali (trójkąty – pełzanie, kółka – deformacja plastyczna) [5]

Wnioski

Obwiednie napięcia skutecznego szumu Barkhausena mogą dostarczać danych istotnie uzupełniających wiedzę o mikrostrukturze materiału oraz zmianach parametrów mechanicznych materiału mających miejsce wskutek zastosowanej historii odkształcenia. Na podstawie całki wyznaczonej z tych obwiedni można dokonać identyfikacji rodzaju zastosowanego w eksperymencie obciążenia. Jeżeli zależności zachodzące między parametrami pochodzącymi z badań niszczących i nieniszczących mają charakter monotoniczny, wówczas można na ich podstawie oszacować wybrany parametr mechaniczny, mając do dyspozycji parametr wyznaczony wskutek badań nieniszczących w danych warunkach obciążenia, i odwrotnie.

Weryfikacja możliwości wykorzystania analogicznych wykresów (parametr wyznaczony z badań nieniszczących – parametr wyznaczony z badań niszczących) dla różnych gatunków materiałów stosowanych w przemyśle energetycznym wymaga przeprowadzenia podobnych doświadczeń na wycinkach materiału z rzeczywistych obiektów pracujących w określonych warunkach eksploatacyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Jiles D.: *Introduction to magnetism and magnetic materials*, Taylor and Francis Group, New York 1998
- [2] Blaow A., Evans J.T., Shaw B.A.: *The effect of microstructure and applied stress on magnetic Barkhausen emission in induction hardened steel*, "Journal of Materials Science" 2007, Vol. 42, No. 12, 4364-4371.
- [3] Ng D.H.L., Cho K.S., Wong M.L., Chan S.L.I., Ma X.-Y., Lo C.C.H.: *Study of microstructure, mechanical properties and magnetization process in low carbon steel bars by Barkhausen emission*, "Materials Science and Engineering" A, 2003, Vol. 358, No. 1-2, 186-198.
- [4] Saquet O., Chicois J., Vincent A.: *Barkhausen noise from plain carbon steel: analysis of the influence of microstructure*, "Materials Science and Engineering" A, 1999, Vol. 269, No. 1-2, 73-82.
- [5] Makowska K.: *Metodyka oceny stanu uszkodzenia materiałów poddawanych laboratoryjnie symulowanym obciążeniom eksploatacyjnym*, Praca doktorska, IPPT PAN, Warszawa 2014.
- [6] Frost H.J., Ashby M.F.: *Deformation-mechanism maps, The Plasticity and Creep of Metals and Ceramics*, Pergamon Press, Oxford, New York, Sydney 1982
- [7] Makowska K., Kowalewski Z.L., Augustyniak B., Piotrowski L.: *Determination of mechanical properties of P91 steel by means of magnetic Barkhausen emission*, "Journal of Theoretical and Applied Mechanics" 2014, Vol. 52, No. 1, 181-188.
- [8] Kleber X., Vincent A.: *On the role of residual internal stresses and dislocations on Barkhausen noise in plastically deformed steel*, "NDT & E International" 2004, Vol. 37, No. 6, 439-445.
- [9] Baldev R., Jayakumar T., Moorthy V., Vaidyanathan S.: *Characterization of microstructures, deformation, and fatigue damage in different steels using magnetic Barkhausen emission technique*, "Russian Journal of Nondestructive Testing" 2001, Vol. 37, No. 11, 789-798.
- [10] O'Sullivan D., Cotterell M., Cassidy S., Tanner D.A., Mészáros I.: *Magneto-acoustic emission for the characterisation of ferritic stainless steel microstructural state*, "Journal of Magnetism and Magnetic Materials" 2004, Vol. 271, No. 2-3, 381-389.

