

2.22 — emisja akustyczna  
5.52 — przemiany fazowe podczas  
rozciągania metali

J. Chorós, S. P. Gadaj, J. Kaczmarek,  
W. Oliferuk, E. Pieczyska

EMISJA AKUSTYCZNA TOWARZYSZĄCA  
PRZEMIANOM FAZOWYM  
W DEFORMOWANEJ STALI IH18N9T

31/1982

P. 269



WARSZAWA 1982

ISSN 0208-5658

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 14 października 1982 r.

Zarejestrowana pod nr 31/1982



57043



Na prawach rękopisu

---

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 160 egz. Ark.wyd. 0,75. Ark. druk. 1.

Oddano do drukarni w listopadzie 1982.

Nr zamówienia 601/o/82 | Z - 86.

---

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,  
ul. Sniadeckich 8

Jan Choroś, Stefan Paweł Gadał,  
Jan Kaczmarek, Wiera Oliferuk,  
Elżbieta Pieczyńska  
Zakład Układów Mechanicznych

## EMISJA AKUSTYCZNA TOWARZYSZĄCA PRZEMIANOM FAZOWYM W DEFORMOWANEJ STALI 1H18N9T

### 1. Wprowadzenie

Celem pracy było zbadanie, czy i w jakim stopniu zjawisko emisji akustycznej, występującej podczas plastycznej deformacji stali 1H18N9T, można wiązać z przemianami fazowymi zachodzącymi w tym materiale.

W naturalnych warunkach stal ta jest stałą austenityczną /paramagnetyczną/. Pod wpływem odkształcenia plastycznego zachodzą w niej przemiany fazowe [1], w wyniku których wytwarza się struktura bardziej stabilna - martenzyt /ferromagnetyk/. Zmiana własności magnetycznych w czasie odkształcenia plastycznego może służyć jako wskaźnik przemian fazowych zachodzących w tej stali.

W prezentowanej pracy badano zmiany przenikalności magnetycznej podczas rozciągania stali 1H18N9T. Jednocześnie rejestrowano charakterystyki emisji akustycznej, a następnie korelowano je ze zmianami przenikalności magnetycznej.

### 2. Zjawisko emisji akustycznej a przemiany fazowe

Procesom zachodzącym w metalach towarzyszy często emisja fal sprężystych o szerokim zakresie częstotliwości. Zjawisko to nazwano emisją akustyczną. Badania emisji akustycznej prowadzone są najczęściej w zakresie częstotliwości od 50 kHz do 1 MHz.

Według D. Jaffrey'a [2] przyczyną emisji akustycznej w meta-

lach można podzielić na następujące grupy:

- deformacja plastyczna,
- przemiany fazowe,
- zjawiska magnetyczne /przemieszczanie domen magnetycznych/,
- zjawiska fizykochemiczne zachodzące na powierzchni,
- proces niszczenia /pękanie/.

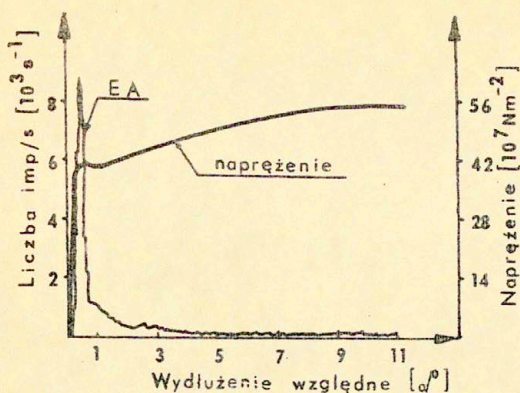
W praktyce mamy najczęściej do czynienia z kilkoma przyczynami emisji akustycznej naraz. Ich rodzaj i liczba uwarunkowane są sposobem dostarczania /względnie uwalniania/ energii oraz rodzajem materiału. Można przypuszczać, że w przypadku rozciągania stali 1H18N9T mamy do czynienia głównie z dwiema pierwszymi przyczynami.

Emisję akustyczną pojawiającą się podczas odkształceń plastycznych wiąże się na ogół z ruchem i oddziaływaniem dyslokacji w metalu. Jako źródła emisji akustycznej wymieniane są tu najczęściej: ruch pojedynczych dyslokacji i grup dyslokacyjnych, anihilacja dyslokacji o przeciwnych znakach /lub pojedynczych dyslokacji na powierzchni metalu/, działanie źródeł, uruchamianie spiętrzeń dyslokacyjnych, tworzenie pasm poślizgu oraz poślizg granic ziarn [3] .

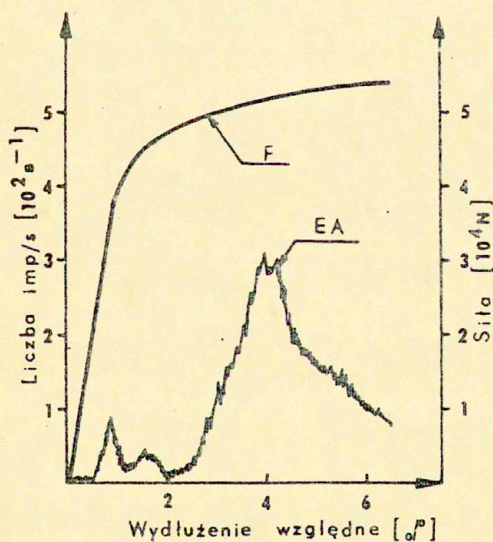
Najczęściej stosowanym rodzajem deformacji podczas badania emisji akustycznej jest rozciąganie jednoosiowe. Charakterystyki emisji akustycznej są rejestrowane w funkcji odkształcenia lub czasu. W większości metali maksimum sygnału emisji akustycznej występuje przy przejściu od odkształceń sprężystych do plastycznych. Wiąże się to z uruchamianiem zablokowanych dyslokacji, spiętrzeń i źródeł dyslokacyjnych.

Ze wzrostem odkształcenia poziom sygnału emisji akustycznej szybko spada do zera. Tego typu przebieg przedstawiono na rys. 1.

W niektórych metalach przebieg emisji akustycznej w czasie rozciągania ma inny charakter /patrz rys. 2/. Oprócz maksimum występującego na granicy plastyczności obserwuje się wzrost emisji w drugim etapie odkształcania. Taki przebieg otrzymuje się dla stali austenitycznych, stopów miedzi i cynku oraz niektórych stopów aluminium. Przypuszcza się, że jednym z mechanizmów wywołujących emisję akustyczną przy dużych odkształce-



Rys. 1. Zależności emisji akustycznej i naprężenia od wydłużenia próbek ze stali miękkiej [5]



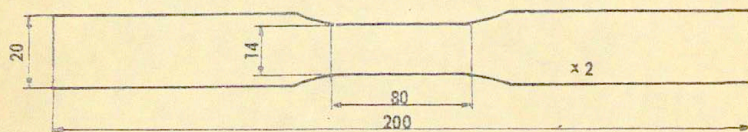
Rys. 2. Zależności emisji akustycznej i siły od wydłużenia próbek z metastabilnych stali austenitycznych /AJSJ 301, 304/ [4]

niach są przemiany fazowe. W większości prac poświęconych badaniom emisji akustycznej w procesie deformacji nie były jednak prowadzone jednoczesne badania przemian fazowych. Przypuszczenie to jest oparte na wynikach badań emisji akustycznej prowadzonych podczas obciążeń termicznych, w czasie których zachodzą przemiany fazowe [2, 6].

Równoczesne badania przemian fazowych i emisji akustycznej podczas deformacji powinny pozwolić na porównanie kinetyki tych zjawisk i ewentualne ich powiązanie. To zainspirowało autorów niniejszej pracy do podjęcia takich badań.

### 3. Opis eksperymentu i wyniki badań.

Badania prowadzone na próbkach o kształcie pokazanym na rys. 3, wykonanych ze stali austenitycznej 1H18N9T. Materiałem

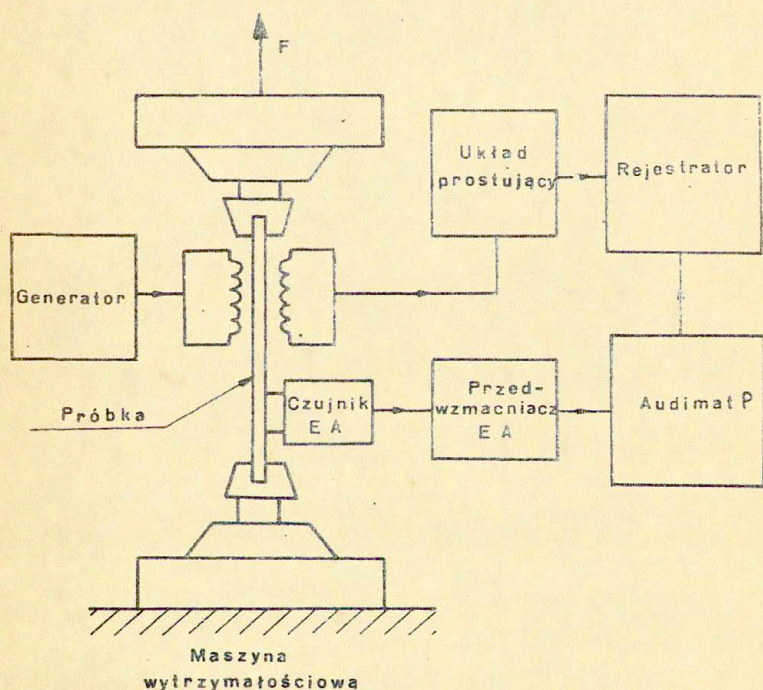


Rys. 3. Kształt i wymiary próbki.

wyściowym były arkusze blachy o grubości 3,4 mm, walcowanej na gorąco. Po wstępnym szlifowaniu i frezowaniu do odpowiedniego kształtu, próbki wygrzewano przez 40 min. w próżni, w temperaturze 1070°C. Takie wygrzewanie zapewniało jednorodność struktury i usunięcie skutków wstępnej obróbki. W zakresie temperatur 900-500°C próbki szybko chłodzono, aby nie wystąpiło wydzielenie się węglików.

Próbki rozciągano za pomocą maszyny wytrzymałościowej firmy Schopper przy stałej prędkości przesuwania się szczęk, równej 9 mm/min. Wartość ta wynika z technicznych możliwości maszyny. Zakres siły rozciągającej wynosił 25kN/. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys.4. Wspomniana

maszyna wytrzymałościowa nie zapewniała pomiaru wydłużenia, dlatego też zmiany przenikalności magnetycznej, sygnał emisji akustycznej i przebieg siły rozciągającej rejestrowano w funkcji czasu rozciągania. Wartości wydłużenia przyporządkowano na podstawie krzywych "siła-wydłużenie", otrzymanych podczas rozciągania takich samych próbek na maszynie wytrzymałościowej firmy Instron. /Sygnały akustyczne wywołane hadrylicznym napędem tej maszyny uniemożliwiały pomiar emisji akustycznej./



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego do badania emisji akustycznej i przenikalności magnetycznej w procesie deformacji.

Badania zmian przenikalności magnetycznej prowadzono w następujący sposób: rozciągana próbka stanowiła rdzeń dwóch współosiowo nawiniętych cewek. Na zaciski jednej z nich podawano z generatora napięcie sinusoidalne o częstotliwości  $\sim 1000\text{Hz}$  i amplitudzie  $\sim 2\text{V}$ . W wyniku przepływu prądu  $i_1$  przez tę cewkę w drugiej powstała siła elektromotoryczna indukcji

$$(1) \quad \mathcal{E}_2 = -M \frac{di_1}{dt},$$

gdzie:  $M$  - indukcyjność wzajemna dwóch cewek.

Przy założeniu, że pojemność elektryczna układu cewek jest pomijalnie mała oraz obwód drugiej cewki jest rozwarty, otrzymamy:

$$(2) \quad u_1 = L \frac{di_1}{dt} + Ri_1,$$

$$(3) \quad u_2 = -\mathcal{E}_2 = M \frac{di_1}{dt}.$$

$u_1, u_2$  - napięcia na zaciskach pierwszej i drugiej cewki,  
 $L, R$  - indukcyjność i oporność w obwodzie pierwszej cewki,

$$(4) \quad i_1 = I_1 \sin \omega t.$$

Podstawiając (4) do (2) i (3) otrzymujemy zależność między amplitudami napięć na zaciskach cewek:

$$U_2 = M \frac{\omega U_1}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}},$$

lub

$$(5) \quad \frac{R^2}{L^2 \omega^2} + 1 = \frac{M^2}{L^2} \frac{U_1^2}{U_2^2}$$

$$(6) \quad M \sim \mu, \quad L \sim \mu,$$



gdyż cewki są nawinięte na ten sam rdzeń.

$\mu$  - przenikalność magnetyczna rdzenia.

Podstawiając (6) do (5) otrzymujemy:

$$\frac{R^2}{L^2 \omega^2} + 1 = A \frac{U_1^2}{U_2^2}$$

lub

$$(7) \quad L = \frac{R}{\omega} \frac{U_1}{\sqrt{AU_1^2 - U_2^2}}$$

A - współczynnik, którego wartość zależy od konstrukcji i układu cewek.

$$(8) \quad L = k \mu,$$

gdzie  $k$  wielkość zależna od konstrukcji pierwszej cewki (8) do (7)

$$\mu = \frac{R}{\omega k} \frac{U_1}{\sqrt{AU_1^2 - U_2^2}}$$

$\frac{R}{k} = B$  - dla danego układu jest wartością stałą, więc

$$(9) \quad \mu = \frac{B}{\omega} \frac{U_1}{\sqrt{AU_1^2 - U_2^2}}$$

Współczynniki A i B wyznaczono doświadczalnie mierząc napięcia  $U_1$  i  $U_2$  w układzie cewek bez rdzenia ( $\mu = 1$ ) dla dwóch bliskich sobie wartości częstotliwości.

Wyznaczone wartości umożliwiły jakościową ocenę zmian przenikalności magnetycznej próbki, wywołanych deformacją plastyczną. Mając zarejestrowane w czasie rozciągania narastanie napięcia  $U_2$  /na naciskach drugiej cewki/ wyznaczono na podstawie zależności (9) narastanie przenikalności magnetycznej próbki. Za poziom odniesienia przyjęto wartość napięcia  $U_2$  przed umieszczeniem w cewce badanej próbki.

Pomiary emisji akustycznej prowadzono za pomocą zestawu

aparatury, którego podstawowym ogniwem jest "Audimat P" firmy Leanord. Czujnikiem emisji akustycznej jest przetwornik piezoelektryczny, przetwarzający sygnały akustyczne na elektryczne. W przedstawionej pracy stosowano przetwornik firmy Dunegan. Jego czułość jest największa przy częstotliwości  $\sim 200$  kHz. Sygnał z przetwornika jest podawany na wejście audimat. W audimacie zawierają się dwa stopnie wzmacniacza o regulowanym wzmocnieniu, filtr górnoprzepustowy, dyskryminator odcinający sygnał na wybranym poziomie amplitudy oraz licznik impulsów, powstających na wyjściu wówczas, gdy sygnał przekracza wartość równą poziomowi dyskryminatora. W danej pracy stosowano filtr odcinający sygnały o częstotliwości poniżej 100 kHz.

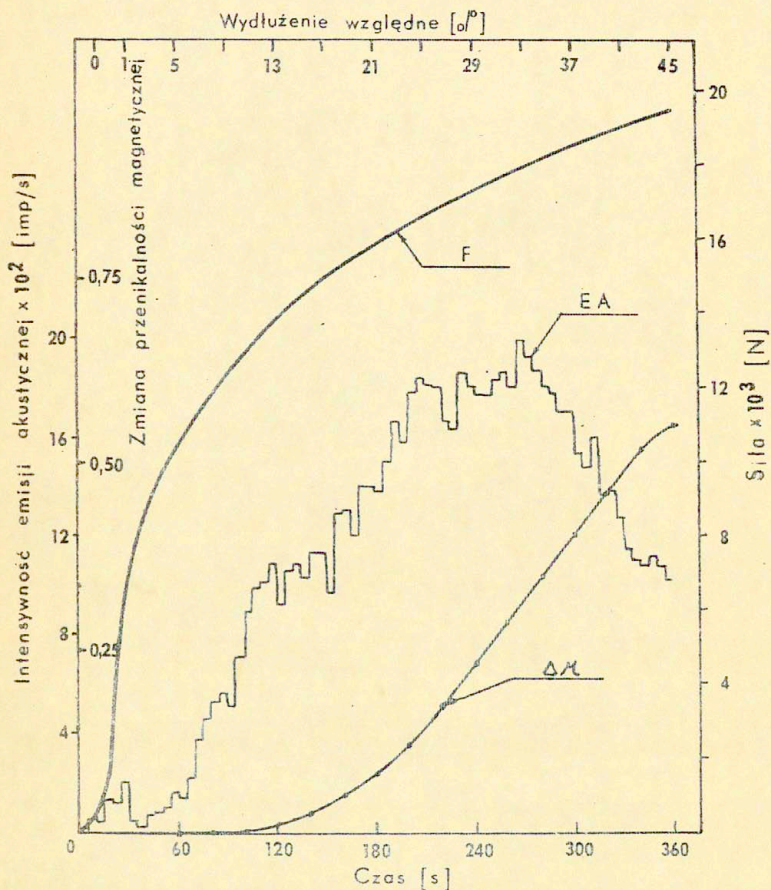
Na rejestratorze zapisywano liczbę impulsów zliczanych w ciągu jednej sekundy. Wielkość tę nazwano intensywnością emisji akustycznej.

Typowy przebieg zależności siły, intensywności emisji akustycznej i zmiany przenikalności magnetycznej przedstawiono na rys. 5. Rejestrację tych przebiegów przerywano tuż przed zerwaniem próbki /czas rozciągania/ do chwili zerwania wynosił  $\sim 380$  s/.

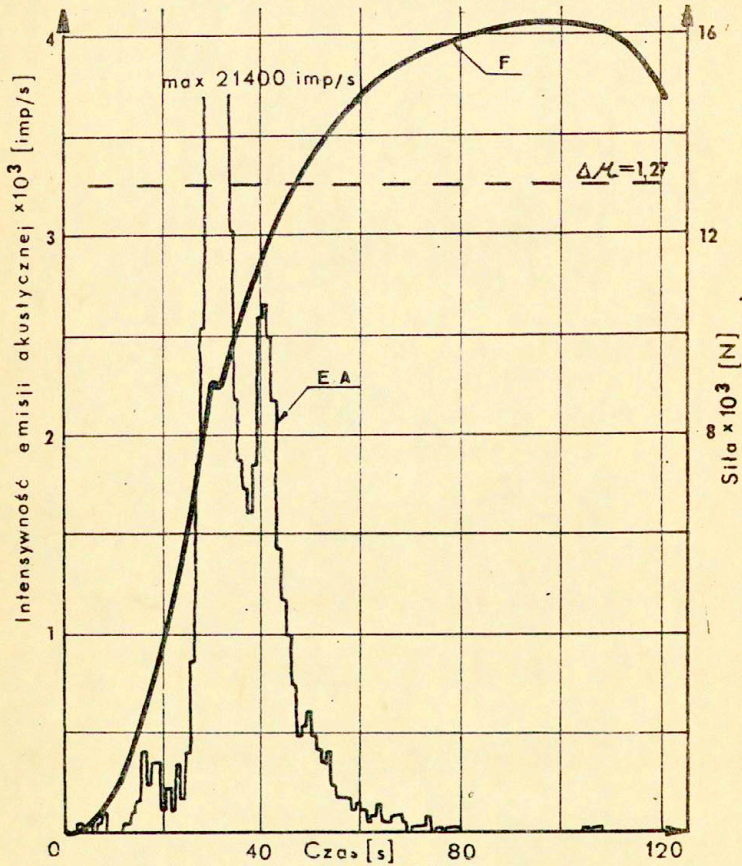
Dla porównania przeprowadzono badania tego samego typu na próbkach wykonanych ze stali magnetycznej. Kształt tych próbek był podobny do przedstawionego na rys. 3. Porównawcze wyniki badań /dla stali 45/ przedstawiono na rys. 6.

#### 4. Dyskusja wyników

W stali 45, w której podczas rozciągania nie mogą zachodzić przemiany fazowe, nie obserwuje się zmian przenikalności magnetycznej./rys.6/. Znaczna zmiana przenikalności magnetycznej występuje natomiast podczas rozciągania stali 1H18N9T /rys.5/. Stal ta przed deformacją ma strukturę austenityczną i jest paramagnetykiem. Podczas deformacji zachodzą w niej przemiany fazowe [1], w wyniku których nabiera ona własności ferromagnetycznych. Zmiana przenikalności podczas rozciągania stali 1H18N9T jest wskaźnikiem zachodzących w niej przemian fazowych.



Rys. 5. Zależność siły, intensywności emisji akustycznej, zmiany przenikalności magnetycznej od czasu rozciągania i od wydłużenia próbek ze stali 1H18N9T



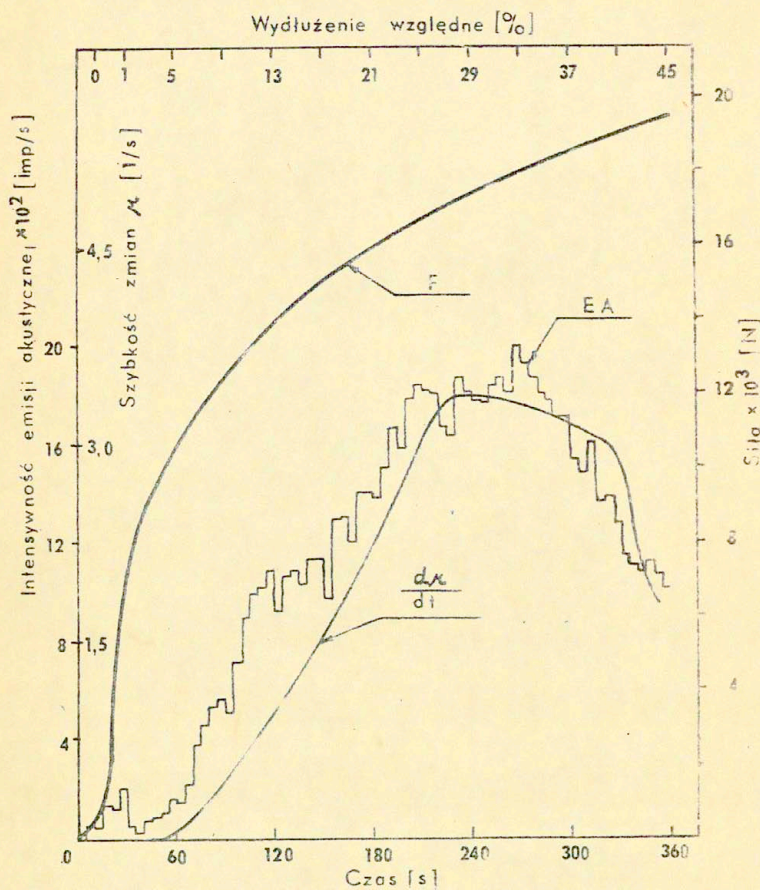
Rys. 6. Zależność siły, intensywności emisji akustycznej i zmiany przenikalności magnetycznej od czasu rozciągania próbek ze stali 45

W stali 1H18N9T możliwe są dwie przemiany fazowe: perlityczna i martenzytyczna. Przemiana perlityczna polega na rozkładzie austenitu na prawie czyste żelazo  $\alpha$  i cementyt. Warunkiem zajścia tej przemiany jest dyfuzja węgla, gdyż w austenicie /stały roztwór węgla w żelazie  $\gamma$  /jest on rozpuszczony równomiernie. Wymaga to odpowiednio wysokiej temperatury i stosunkowo długiego czasu. Podczas rozciągania warunki te nie były spełnione, toteż przemiana perlityczna jest mało prawdopodobna. Przemiana martenzytyczna polega na przebudowie żelaza  $\gamma$  w żelazo  $\alpha$ . W jej wyniku powstaje stały roztwór węgla w żelazie  $\alpha$  zwany martenzytem. Charakterystyczną cechą tej przemiany jest bezdyfuzyjność. Jednym z mechanizmów powstawania martenzytu jest ruch dyslokacji powodujący przebudowę sieci krystalicznej [7]. Zjawisko to występuje podczas rozciągania stali 1H18N9T. Prawdopodobnie mechanizm ten powoduje przesunięcie granicznej temperatury przemiany fazowej.

Po upływie pewnego czasu od początku rozciągania stali 1H18N9T, jak widać na rys.5, jej przenikalność magnetyczna zaczyna rosnąć. Wzrost ten trwa aż do zerwania próbki. W miarę rozciągania coraz więcej austenitu przemienia się w martenzyt. Jest to zgodne z wynikami badań przedstawionymi w pracy [8].

Przebiegi intensywności emisji akustycznej otrzymywane podczas rozciągania stali 1H18N9T różnią się od tego typu przebiegów otrzymywanych dla metali, w których nie występowały przemiany fazowe. Świadczą o tym, oprócz naszych badań, również wyniki pracy A.W. Zołotowa [9]. Porównując charakterystyki emisji akustycznej otrzymane w czasie rozciągania próbek ze stali 1H18N9T /rys.5/ i stali 45 /rys.6/ widzimy, że w obydwu przypadkach w okolicach granicy plastyczności występują maksyma intensywności emisji akustycznej /choć o różnej wysokości/. W miarę rozciągania, w stali 45 następuje spadek intensywności emisji akustycznej aż do zaniku, natomiast w stali 1H18N9T jej wyraźny wzrost.

Autorzy niniejszej pracy wzrost ten wiążą z przemianami fazowymi. Powiązanie to staje się bardziej umotywowane, jeśli porównamy intensywność emisji akustycznej z szybkością zmian prze-



Rys. 7. Zależność siły, intensywności emisji akustycznej, szybkości zmian przenikalności magnetycznej od czasu rozciągania i od wydłużenia próbek ze stali 1H18N9T

nikalności magnetycznej /rys.7/.

Analiza przebiegów intensywności emisji akustycznej i szybkości przenikalności magnetycznej przeprowadzona dla kilkudziesięciu próbek wskazuje na korelację tych zjawisk. W miarę wzrostu szybkości zmian przenikalności magnetycznej, a więc szybkości przemian fazowych, wzrasta intensywność emisji akustycznej. Oznacza to, że uaktywnia się coraz więcej źródeł emisji akustycznej. Zjawisko emisji akustycznej może więc służyć do badania przemian fazowych zachodzących podczas deformacji plastycznej metali.

##### 5. Podsumowanie.

Z opublikowanych dotychczas badań wynika, że jednym z mechanizmów emisji akustycznej są przemiany fazowe. Badania te dotyczyły zazwyczaj przemian zachodzących podczas obciążeń termicznych. Na ich podstawie próbowano wyjaśnić jeden z mechanizmów emisji akustycznej występujący w czasie deformacji plastycznej.

W przedstawionej pracy śledzono jednocześnie zjawisko emisji akustycznej i przemiany fazowe podczas rozciągania stali 1H18N9T. Stwierdzono, że po osiągnięciu pewnej wartości odkształcenia /~ 3%/ w stali tej następuje przemiana austenitu w martenzyt. Towarzyszy temu wzrost sygnału emisji akustycznej. Analiza otrzymanych wyników wykazała ścisłą korelację między przebiegiem intensywności mierzonej emisji akustycznej a szybkością zmian przenikalności magnetycznej, czyli szybkością przemian fazowych. Zjawisko emisji akustycznej może więc służyć do badania kinetyki przemian fazowych zachodzących podczas deformacji plastycznej metali.

Literatura

- [1] В.И.ПРОСВИРИН, Влияние внешнего давления на фазовые превращения в стали и чугуне, Машгиз, Москва, 1948
- [2] D.JAFFREY, Sources of Acoustic Emission in Metals - A Review, Non-Destructive Testing - Australia, 6, v. 16, no 4, 5, 6, 1979.
- [3] H.N.G.WODLEY, C.B.SCRUBY, J.H.SPEAKE, Acoustic Emission for Physical Examination, Inter.Metals Rev., no 2, 1980.
- [4] K.ONO, Acoustic Emission and Microscopic Deformation and Fracture Process, Sec. Acoustic Emission Symposium, Tokyo, Japan, 1974
- [5] F.DUŠEK, C.SEIDL, Akustická Emise - nova metoda ke studiu fyzikalne-mechanických vlastnosti kovových materialu, Smolenice, 1978
- [6] А.П.ДРОЗДОВ и др., Исследование акустической эмиссии при фазовых превращениях, Дефектоскопия, 8, 1978
- [7] А.Р.ГУЛАЖЕВ, Metaloznawstwo, "Śląsk", Katowice, 1969
- [8] Э.Д.БУТАКОВА и др., Влияние хрома и никеля на мартенситное превращение при деформации и механические свойства сплавов Физ. Мет. и Металлов. 31, 3, 1971
- [9] А.В.ЗОЛОТОВ, О стадийности процессов деформации металлических материалов, Металлы, 5, 1979