

Antoni PIEŁA

ANALIZA LITERATUROWA ZAGADNIENIA ODKSZTAŁCANIA STALI Cr-Ni  
ORAZ Ce-Ni-Mn W TEMPERATURACH PODWYŻSZONYCH

**Streszczenie.** Trudności w odkształcaniu na zimno stopów stali austenitycznych o dużej intensywności umocnienia są powodem podejmowania licznych badań naukowych i prób technologicznych, związanych z odkształcaniem ich w temperaturach wyższych od otoczenia, lecz niższych od temperatury przeróbki plastycznej na gorąco.

Wyniki tych prób w wielu przypadkach dały zadowalające rezultaty zarówno w zakresie oszczędności wynikających z obniżenia energo-siłowych parametrów procesu odkształcania, jak również ze względu na występowanie zjawisk pozwalających na odpowiednie kształtowanie struktury stali i uzyskanie korzystniejszych własności wyrobu. Publikowane dane wskazują, że praktyczne wykorzystanie tego rodzaju procesu wymaga indywidualnego podejścia dla każdego gatunku stali, zwłaszcza w zakresie zagadnień obejmujących wzajemne zależności w oddziaływaniu gniotu i temperatury na własności stali w trakcie odkształcania, jak i na własności mechaniczne po zakończeniu procesu przeróbki plastycznej.

Wstęp

Wykazywany w licznych badaniach odmienny wpływ odkształcania po wstępnym podgrzaniu metalu poniżej temperatury rekrytalizacji na efekt umocnienia oraz własności stali stworzył potrzebę zawężenia przedziału temperatur przeróbki plastycznej na zimno i wprowadzenia nowego pojęcia - przeróbki plastycznej w temperaturach podwyższonych, nazywanej niekiedy przeróbką plastyczną na ciepło lub też na półgorąco.

Ogólnie przeróbka plastyczna w temperaturach podwyższonych dotyczy odkształcania w temperaturach wyższych od temperatury otoczenia oraz niższych od temperatury przeróbki plastycznej na gorąco [1 ÷ 6]. Według niektórych źródeł zakres ten obejmuje temperatury  $0,3 \div 0,5 T_m$  [6]. Uwzględniając charakter procesów zachodzących w trakcie odkształcania w temperaturach podwyższonych, Gubkin [1] przedstawia następujący podział przeróbki plastycznej:

- na gorąco - realizowanej w warunkach pełnej rekrytalizacji;
- "nie w pełni na gorąco" realizowanej w warunkach niepełnej rekrytalizacji;

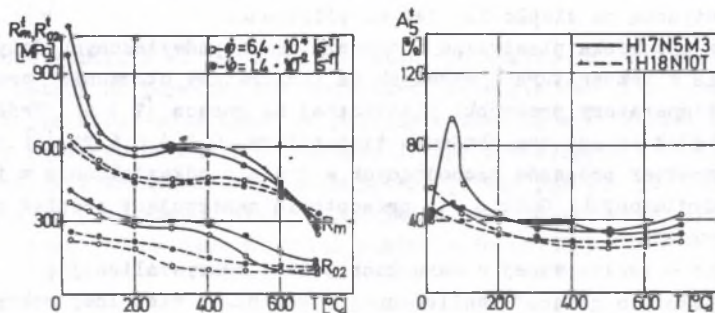
- "nie w pełni na zimno" - realizowanej w warunkach występowania procesów nawrotu lub zdrowienia i braku śladów procesu rekrytalizacji;
- na zimno - prowadzonej w warunkach pełnego umocnienia metalu.

Jednakże, jak dotychczas, brak jest bardziej precyzyjnych definicji tego rodzaju obróbki plastycznej, uwzględniającej złożoność możliwych do występowania zjawisk strukturalnych względnie określającej w sposób ścisły przedział temperatur.

W niniejszej pracy przyjęto określenie "przeróbka plastyczna w temperaturach podwyższonych" jako nazwę dla procesów odkształcania, w których występuje wstępne podgrzewanie stali poniżej temperatury rekrytalizacji, co w zasadzie odpowiada pojęciu "nie w pełni na zimno" (wg klasyfikacji Gubkina). Celowość stosowania tego rodzaju obróbki związana jest z możliwością uruchomienia aktywowanych cieplnie oraz odkształceniem procesów, powodujących korzystne zmiany własności stali, zarówno w temperaturze odkształcania, jak i po odkształcaniu [7 ÷ 15]

#### Własności mechaniczne stali austenitycznych odkształczanych w temperaturach podwyższonych

Podwyższenie temperatury odkształcania wpływa zarówno na własności stali w trakcie procesu, jak i na własności wyrobu. W stopowych stalach austenitycznych, ulegających znacznemu umocnieniu przy odkształcaniu na zimno, główny problem stanowi określenie optymalnej temperatury ze względu na możliwość obniżenia siłowych parametrów procesu odkształcania. Badania [6, 7] podstawowych własności wyznaczonych w próbie rozciągania wykazują, że zmiany własności w funkcji temperatury są charakterystyczne dla danego gatunku stali (rys.1, 2).



Rys. 1. Zależność własności mechanicznych stali 1H18N10T i H17N5M3 od temperatury oraz prędkości odkształcania [7]

Charakter zmian wytrzymałości  $R_m^t$  stali 1H18N10T i H17N5M3 (rys. 1) ze wzrostem temperatury odkształcania jest podobny. W zakresie do 200°C większą intensywnością zmniejszenia wytrzymałości charakteryzuje się gatunek H17N5M3. Zjawisko to, jak również zmniejszenie wytrzymałości ze wzrostem prędkości odkształcania, tłumaczone jest mniejszą skłonnością austenitu do przemiany martenzytycznej.

W zakresie temperatur 200 do 350°C dla stali H17N5M3 oraz 300 do 400°C dla stali H18N10T (rys. 1) występuje nieznaczny wzrost wytrzymałości  $R_m^t$ .

Podobne zależności uzyskano dla stali H13N4G9 (rys. 2), przy czym zarówno charakter zmian, jak i zakres temperatur, przy których występuje wzrost wytrzymałości, zależą także od wielkości wstępnego odkształcania [4].

Wpływ prędkości odkształcania na wartość granicy plastyczności (rys.1) jest przeciwny do przedstawionych zmian wytrzymałości. Zdaniem autorów [7] potwierdza to wniosek o braku oddziaływania na wielkość  $R_{02}^t$  procesu przemiany martenzytycznej, do zainicjowania której niezbędne jest znaczne odkształcenie plastyczne. Efekt ten wyraźnie uwidocznił się w badaniach [1] zmian naprężenia uplastyczniającego w funkcji temperatury odkształcania dla stali 1H18N9T (rys. 3).

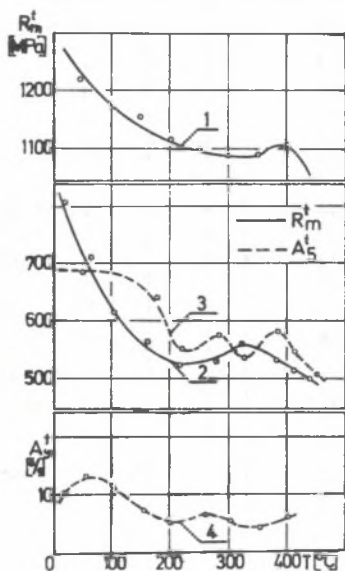
Najbardziej wyraźne zmniejszenie naprężenia uplastyczniającego występuje w zakresie temperatur do 300°C, jednocześnie intensywność tych zmian zwiększa się z odkształceniem. Zmniejszenie granicy plastyczności ze wzrostem temperatury rozciągania, tak jak i naprężenia uplastyczniającego w zakresie małych odkształceń, związane jest z takimi zjawiskami, jak: obniżenie krytycznej wartości naprężenia ścinającego w płaszczyznach poślizgu, wzrost liczby płaszczyzn poślizgu oraz możliwość plastycznego płynięcia po granicach ziarn [4, 7].

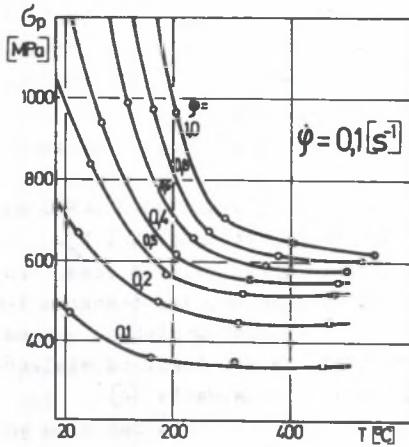
Rys. 2. Wpływ temperatury rozciągania na wytrzymałość  $R_m^t$  oraz wydłużenie  $A_5^t$  stali H13N4G9 [4]

1,4 - próbki walcowane gniotem  $\epsilon = 40\%$ , 2,3 - próbki wstępnie przesycone

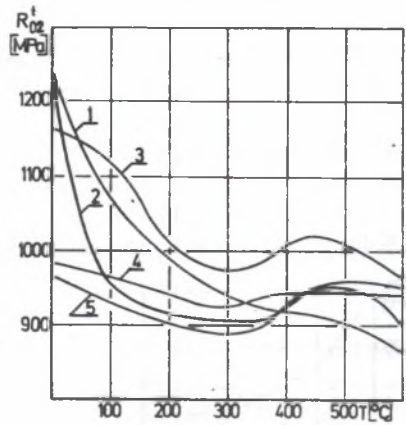
Efekt zmniejszenia granicy plastyczności ze wzrostem temperatury rozciągania występuje również w austenitycznych stalach manganowych [5], przy czym zarówno charakter, jak i wielkość zachodzących zmian zależą od gatunku stali (rys. 4).

Charakter zmian naprężenia uplastyczniającego w funkcji temperatury oraz wielkości odkształcania przy opisywaniu tych zależności funkcją potęgowa  $\sigma_p = C\phi^n$  [12], określa zmniejszenie stałej C oraz zmiana wykładnika umocnienia n.





Rys. 3. Zmiana naprężenia uplastyczniającego  $G_p$  dla stali 1H18N9T w zależności od temperatury oraz wielkości i odkształcenia przy stałej prędkości odkształcenia  $\dot{\phi}$  [1]

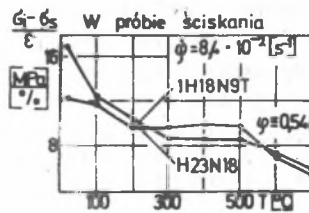
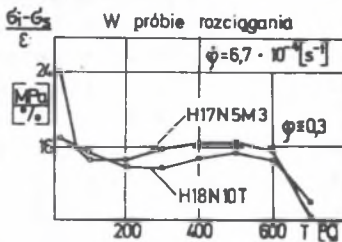


Rys. 4. Zależność granicy plastyczności od temperatury rozciągania [5]

1 - 40G18, 2 - 40G18H4, 3 - 40G18H8  
4 - 40G18H4N4, 5 - 40G18H4N8

Intensywność umocnienia stali austenitycznych zależy równocześnie od temperatury oraz wielkości odkształcenia [4, 7 ÷ 9]. Podwyższenie temperatury odkształcenia powoduje znaczne zmniejszenie modułu umocnienia stali w porównaniu do występującego przy odkształceniu na zimno (rys. 5).

Przykładowo, dla stali 1H18N9T powyżej temperatury  $300^\circ\text{C}$  moduł umocnienia jest około 2 razy mniejszy aniżeli przy temperaturze otoczenia [8, 9].



Rys. 5. Zmiany modułu umocnienia  $\frac{\sigma_1 - \sigma_s}{\epsilon}$  w funkcji temperatury odkształcenia [7].

W szeregu publikacjach przedstawiono również zmiany wydłużenia względnego stali austenitycznych typu 18 - 8 w funkcji temperatury rozciągania.

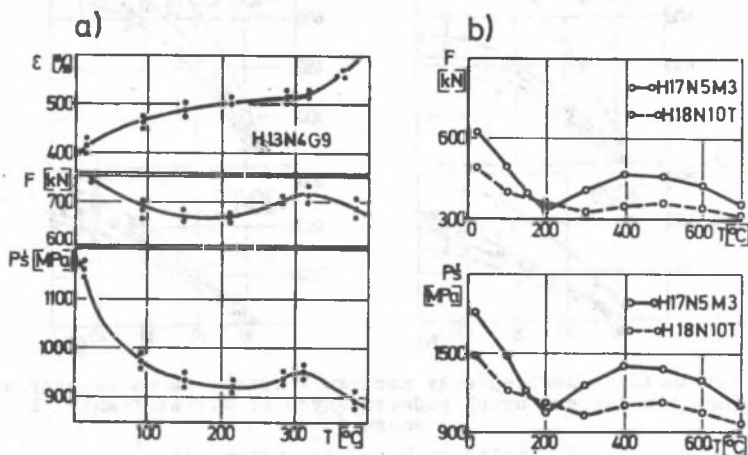
Charakter zachodzących zmian przedstawiony w poszczególnych pracach jest jednak niejednoznaczny. Autorzy prac [8, 11, 12] stwierdzają, iż sus-

tenityczne stale typu 18 - 8 stabilizowane tytanem posiadają większe wydłużenie  $A_5$  powyżej temperatury  $300^{\circ}\text{C}$ . Wniosku tego nie potwierdzają w pełni wyniki przedstawione w pracach [7, 15]. Zasadniczo jednak podwyższenie temperatury odkształcania nie powoduje zmian własności plastycznych, które istotnie ograniczałyby możliwość prowadzenia procesu w stosunku do odkształcania na zimno.

Parametry procesu walcowania w temperaturach podwyższonych

Przedstawione zależności zmian własności mechanicznych w funkcji temperatury, wskazują na możliwość znacznego obniżenia siłowych parametrów procesów kształtowania plastycznego stopowych stali austenitycznych w temperaturach podwyższonych.

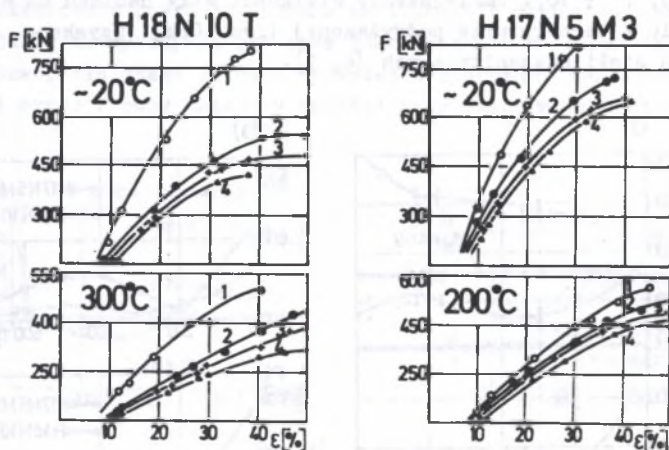
Walcowanie stopowych stali austenitycznych w temperaturach podwyższonych w porównaniu do walcowania na zimno pozwala na intensyfikację procesu odkształcania ze względu na możliwość zmniejszenia wartości naprężenia uplastyczniającego oraz skłonności stali do umocnienia odkształceniowego. Zmniejsza to parametry siłowe procesu walcowania i umożliwia stosowanie większych gniotów pojedynczych oraz odkształceń całkowitych, a tym samym zmniejsza liczbę przepustów, jak również ilość międzyoperacyjnych obróbek cieplnych [5, 7 ÷ 10]. Zmniejszenie wielkości siły nacisku na walce przy odkształcaniu w temperaturze podwyższonej (rys. 6ab) uzyskano dla szeregu stopowych stali austenitycznych [4, 7].



Rys. 6. Zależność całkowitej siły nacisku  $F$  metalu na walce oraz średniego nacisku jednostkowego  $P_s$  od temperatury walcowania: a - przy stałej nastawie szczeliny walców, b - przy stałym gnioście  $\epsilon = 20\%$  [4, 7]

Pozwala to, jak w przypadku stali H13N4H9 (rys. 6a), na uzyskanie większych odkształceń całkowitych mimo nie zmienionej nastawy walców. Podwyższenie temperatury odkształcenia stali H17N5M3 i H18N10T prowadzi również do zmniejszenia wartości całkowitej siły nacisku oraz średniego nacisku jednostkowego w porównaniu do wartości rejestrowanych przy walcowaniu na zimno (rys. 6b). Efekt ten uwidacznia się szczególnie w zakresie stosunkowo niskich temperatur 200 - 250°C, dla których krzywe zmian nacisków wykazują minimum

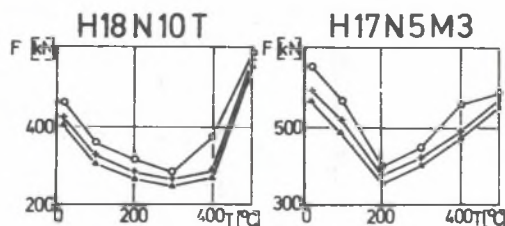
Stwierdzono równocześnie, że podwyższenie temperatury walcowania niekorzystnie zmienia warunki tarcia w kotlinie walcowania, a tym samym prowadzi do zmian wielkości występujących sił nacisku metalu na walce, a także wartości wyprzedzenia i poszerzenia [7, 14, 16, 17]. Przeprowadzone w tym względzie badania [18] współczynnika tarcia przy ściskaniu bez smaru wykazały, że dla szeregu metali wartość jego rośnie ze wzrostem temperatury w zakresie od 20 do 500°C. Występujące również dla stali austenitycznych niekorzystne zmiany warunków tarcia ze wzrostem temperatury walcowania powodują, iż zmniejszenie siły nacisku metalu na walce nie jest proporcjonalne do zmniejszenia naprężenia uplastyczniającego. Poprawa warunków tarcia poprzez zastosowanie odpowiednich smarów pozwala na zmniejszenie wartości nacisku metalu na walce w porównaniu do walcowania na sucho (rys. 7).



Rys. 7. Zależność całkowitej siły nacisku  $F$  metalu na walce przy walcowaniu na zimno i w temperaturach podwyższonych od odkształcenia i rodzaju smaru [7]

- 1 - walce suche - nie smarowane;
- 2 - olej maszynowy;
- 3 - olej silnikowy;
- 4 - olej lniany

Efektywność działania danego smaru uwidacznia się w wielkości zmniejszenia siły nacisku na walce. Zarówno przy walcowaniu stali H18N10T i



Rys. 8. Wpływ temperatury odkształcania oraz smaru na wielkość całkowitej siły nacisku metalu na walce przy walcowaniu gniotem  $\epsilon = 30\%$  [7]

Przy walcowaniu w zakresie temperatur 350 do 400°C, stali H18N10T i H17N5M3, efektywność działania oleju maszynowego, silnikowego i lnianego zdecydowanie maleje, co w powiązaniu z występującym procesem deformacyjnego stwarzania prowadzi do intensywnego wzrostu wielkości nacisku metalu na walce (rys. 8). Ogranicza to możliwość stosowania, przy walcowaniu w temperaturach podwyższonych, środków smarujących stosowanych do walcowania na zimno.

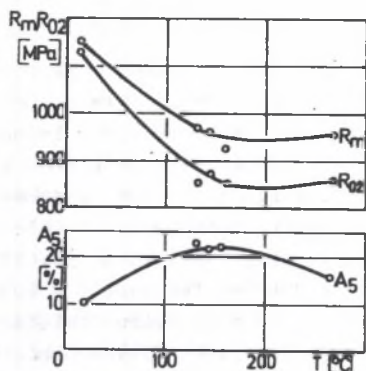
#### Własności mechaniczne stali po odkształceniu w temperaturach podwyższonych

Stosowanie procesów odkształcania austenitycznych stali stopowych w temperaturach podwyższonych daje również możliwość uzyskania lepszych charakterystyk własności mechanicznych wyrobu w porównaniu do procesów odkształcania na zimno.

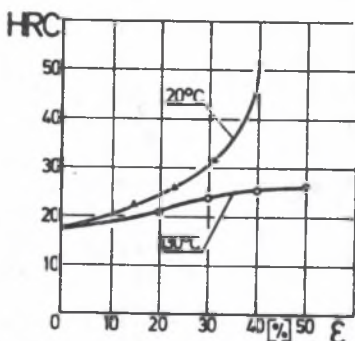
Silne oddziaływanie temperatury podgrzewania wsadu przed walcowaniem na własności mechaniczne wykazano w badaniach dotyczących walcowania rur ze stali 1H18N9T [9]. Pomiary wykonane na próbkach wyciętych z rur walcowanych na zimno i w temperaturach podwyższonych wykazały, że walcowanie w zakresie temperatur 130 ÷ 200°C powoduje zmniejszenie własności wytrzymałościowych przy jednoczesnym wzroście własności plastycznych (rys.9).

Efekt znacznie mniejszej intensywności umocnienia (mierzonej zmianami twardości, rys. 10) po walcowaniu w temperaturach podwyższonych w stosunku do umocnienia po walcowaniu na zimno wykazano również dla stali H13N4G9 [4].

H17N5M3 na zimno, jak i w temperaturach podwyższonych największe zmniejszenie nacisków w porównaniu do walcowania na sucho uzyskano przy zastosowaniu oleju lnianego (krzywa 4 rys. 11). Jednakże efektywność działania danego smaru związane jest z jego fizykochemicznymi własnościami, które również zależą od temperatury walcowania.

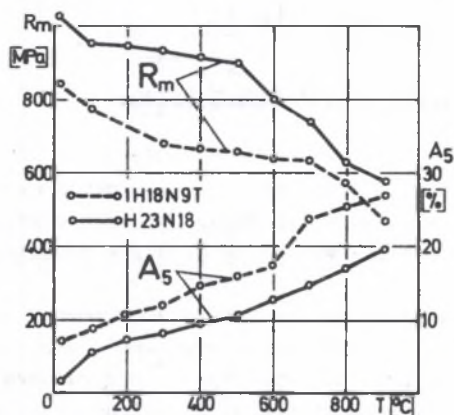


Rys. 9. Wpływ temperatury podgrzewania wsadu na własności mechaniczne rur ze stali 1H18N9T [9]



Rys. 10. Zależność twardości HRC stali H13N4G9 od odkształcenia i temperatury walcowania [4]

Rezultatem badań procesu wyciskania stali 1H18N9 oraz H23N18 [8] było określenie jako optymalnej temperatury 400°C, przy której oprócz znacznych efektów technologicznych uzyskano wyrób o zadowalającej wytrzymałości oraz znacznie podwyższonej plastyczności (rys. 11).



Rys. 11. Zależność wytrzymałości  $R_m$  oraz wydłużenia  $A_5$  od temperatury wyciskania dla stali 1H18N9T oraz H23N18 [8]

### Wnioski

Przedstawione w literaturze wyniki badań wskazują na celowość zastąpienia w niektórych przypadkach procesów odkształcania na zimno, procesami

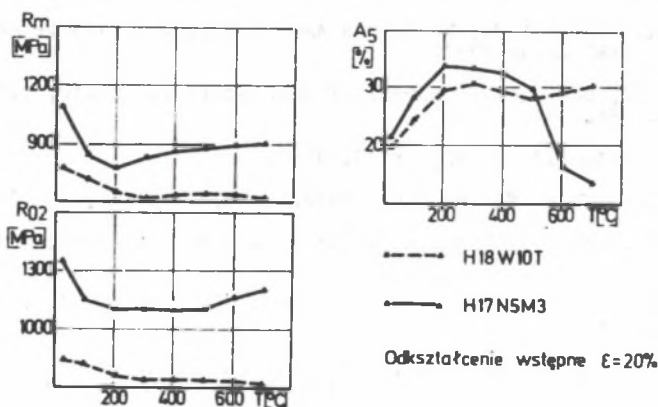
Dla taśm ze stali H18N10T i H17N5M3 stwierdzono [7], że po walcowaniu w zakresie temperatur 200 - 500°C występuje w tych stalach zmniejszenie własności wytrzymałościowych przy jednoczesnym wzroście własności plastycznych (rys. 12) w stosunku do walcowania na zimno.

Zwraca się również uwagę na istotne oddziaływanie układu gniotów na poziom uzyskiwanych własności mechanicznych po walcowaniu stwierdzając, że wzrost umocnienia jest tym większy, im mniejsza jest wielkość odkształceń pojedynczych [7].



odkształcania w temperaturach podwyższonych. Daje to możliwość uzyskania dla szeregu stopowych stali austenitycznych korzystnych efektów, jak:

- korzystniejszego zespołu własności wytrzymałościowych i plastycznych w porównaniu do odkształcania na zimno,
- zmniejszenia parametrów energo-siłowych procesu odkształcania ze względu na zmniejszenie naprężenia uplastyczniającego ze wzrostem temperatury.



Rys. 12. Zależność wytrzymałości  $R_m$ , granicy plastyczności  $R_{0.2}$  oraz wydłużenia względnego  $A_5$  od temperatury walcowania [7]

Obniżenie oporów kształtowania w powiązaniu z poprawą technologicznej plastyczności stali daje możliwość znacznego podwyższenia efektywności procesu odkształcania. Wymaga to jednak stosowania odpowiednich środków smarujących zapewniających uzyskanie podobnych warunków tarcia jak przy odkształcaniu na zimno.

#### LITERATURA

- [1] Gubkin S.J.: Teorija obrabotki metallow dawlenijem, Metalurgizdat, Moskwa 1947.
- [2] Stognij L.D., Bogdanowa T.M.: Stal, nr 3, 1975, s.263.
- [3] Sipos K., Remy L.: Metall. Trans. AIME, t.7A, nr 6, 1976 s. 857.
- [4] Astachow I.G., Krupkin A.W.: Processy prokatki. Metalurgizdat, Moskwa 1962, s. 138.
- [5] Hoderny B.: Wiadomości Hutnicze, nr 6, 1968, s. 12.
- [6] Mc Queen H.J.: Zeszyty Naukowe AGH, Metalurgia i Odlewnictwo, t.5 zeszyt 3, 1978, s. 421.

- [7] Sewierdienko W.P.: Tępiąca dieformacja metali. Nauka i Technika, Mińsk 1978.
- [8] Sewierdienko W.P., Tjurin L.I.: Kuzniecno Sztampowocznoje proizwodstwo, nr 9, 1970, s. 11.
- [9] Akfieowa I.S., Ostrin S.J.: Teoria prokatki. Metaliurgizdat, Moskwa 1962.
- [10] Doroszko W.I., Kartasiewa L.I.: MITOM, nr 3, 1976 s.56.
- [11] Siegel R.: Fertigungstechnik und Betrieb, 25, nr 8, 1975, s. 485.
- [12] Hensel A., Spittel T.: Kraft und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren, VEB Lipsk 1978.
- [13] Bastion P., Delien J.: Journal of Iron Steel Institute, t.183, nr 3, 1956, s. 254.
- [14] Czemerinskaja P.I.: Stal, nr 11, 1966.
- [15] Krause U.: Archiv für das Eisenhüttenwesen, t. 34, nr 10, 1963 s.745.
- [16] Siewierdienko W.P., Bojaczek E.S.: Izw. Wuzow. Czernyje Met., nr 4, 1960.
- [17] Siewierdienko W.P.: Osnowy teorii prokatki. Mn.Nauka i Technika, Moskwa 1969.
- [18] Masterow W.A., Berkasow W.S.: Teoria plastycznosti dieformacji i obrabotka metali dawlienijem. Metaliurgia, Moskwa 1976.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛЕЙ Cr-Ni  
И Cr-Ni-Mn В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Р е з ю м е

Трудности холодной деформации легированных аустенитных сталей с большой интенсивностью упрочнения являются причиной предпринимания многочисленных научных исследований и технологических попыток, связанных с их деформацией при температурах выше температуры окружающей среды но ниже температуры горячей обработки давлением.

Результаты этих попыток во многих случаях оказались достаточными, как с точки зрения экономии следующей из понижения энергосиловых параметров процесса деформации, так и по поводу существования явлений позволяющих соответственно формировать структуру стали и получать более полезные свойства продуктов. Литературные данные указывают, что практическое применение этого рода процесса требует индивидуального подхода к каждой марке стали, особенно в области проблем охватывающих взаимосвязанности при воздействии обжатия и температуры на свойства стали во время деформации, а также на механические свойства после окончания процесса обработки давлением.

LITERATURE ANALYSIS CONCERNING THE PROBLEM OF STEEL DISTORTION  
Cr-Ni AND Cr-Ni-Mn IN RAISED TEMPERATURES

S u m m a r y

Difficulties in cold distortion of alloy austenitic steels of great strain hardening intensity are the reason of undertaking numerous research works and technological tests connected with their distortion in temperatures higher than the surroundings but lower than hot working temperature. The results of these tests gave in many cases satisfactory results, both in the scope of savings resulting from reducing energy - strength parameters concerning the process of distortion, as well as in consideration of the phenomena enabling suitable forming of steel and obtaining more profitable properties of an article. The published data show that practical use of this sort of process requires individual approach for every grade of steel, especially in the scope of the problems comprising mutual dependencies as regards the interaction of draft and temperatures on the properties of steel in the course of distortion and on mechanical properties after finishing plastic working process.