

Preoblikovalna trdnost zlitine NIMONIC 80 A v vročem

M. Torkar** D. Kmetič**, F. Vodopivec**, J. Žvokelj**

UDK: 621.771.016:669.245
ASM/SLA: F2, Q23q, Mib, 1—66, SGab, 1—54

Instrumentacija eksperimentalnega valjarniškega ogrodja je omogočila registriranje preoblikovalnih sil in izračun srednje preoblikovalne trdnosti zlitine Nimonic 80 A v vročem.

Napravljena je primerjava izračuna preoblikovalne trdnosti po dveh različnih metodah.

Na podlagi dobljenih rezultatov je mogoče napraviti grobo oceno o primernosti predelovalnih naprav v Slovenskih železarnah za vročo predelavo teh zlitin.

1. UVOD

Vroča predelava nikljevih superzlitin je izredno zahteven proces, še posebno v prvi stopnji, ko se deformira material s strjevalno strukturo. V dosedanjih raziskavah^{1,2} na zlitini Nimonic 80 A smo opredelili pogoje za zadovoljivo vročo predelavo z valjanjem, nismo pa izmerili preoblikovalne sile.

Osnovni mehanizem pri vroči deformaciji je drsenje in plezanje dislokacij, dodaten vpliv pa ima še dinamično dogajanje med deformacijo. Dinamična poprava in rekristalizacija zmanjšata utrjevanje, njuno učinkovitost pa lahko ovirajo procesi izločanja med deformacijo. Večanje vsebnosti legiranih elementov povzroči povečanje napetosti tečenja, povišuje se spodnja temperaturna meja področja dinamične poprave in rekristalizacije, istočasno pa se znižuje zgornja meja tega področja zaradi znižanja temperature solidusa.

Področje predelovalnosti se tako zožuje, dokler pojav porušitve ne prepreči nadaljnjo vročo predelavo.

Popravo in rekristalizacijo ovirajo tudi izločki, zato mora vroča predelava potekati nad temperaturo njihove topnosti.

Poleg dinamičnih procesov se pojavi lahko tudi statična poprava, ki se izvrši v intervalih med prehodi ali med končnim ohlajanjem. Statični procesi, ki se dogajajo med vsakim prehodom, kontrolirajo mikrostrukturo med vtiki in na koncu.

Naraščanje odvzemov in povečanje hitrosti deformacije povzročita zmanjšanje velikosti zrn. Velikost zrn je pomembna, ker vpliva bodisi na preoblikovalnost v naslednjem prehodu ali pa na lastnosti proizvoda.

Velikost zrn pri superzlitinah na osnovi niklja ima pomembno vlogo pri zagotovitvi prave kombinacije med natezno trdnostjo in odpornostjo na malociklično utrujanje, ki zahtevata drobna zrna, ter odpornostjo proti visokotemperaturnemu lezenju, za katero so ugodnejša velika zrna.

Vsi naštetni pojavi opredeljujejo pogoje za vročo predelavo in preoblikovalno trdnost.

V toku procesa plastičnega preoblikovanja se pojavljajo številne odvisne in neodvisne spremenljivke, ki močno otežijo eksaktno eksperimentiranje in ovrednotenje rezultatov.

Raziskava je bila zastavljena z namenom, da bi v razmerah in z napravami, ki jih imamo na razpolago, izmerili preoblikovalne sile, ki so potrebne za vroče preoblikovanje zlitine Nimonic 80 A.

2. EKSPERIMENTALNO DELO

Valjanje vzorcev

Preizkusi z valjanjem na instrumentiranem, eksperimentalnem ogrodju so bili napravljeni na vzorcih zlitine NIMONIC 80 A, 20 × 40 mm, ki so bili izvaljani v trak, debeline do 2,5 mm.

Izmerili smo moment, položaj valjev in silo valjanja. Iz dobljenih eksperimentalnih podatkov smo izračunali srednjo preoblikovalno trdnost, ki smo jo primerjali tudi z literaturnimi podatki³.

Izbira metode za določitev preoblikovalne trdnosti

Srednja preoblikovalna trdnost k_f je določena z natezno tečenjem in faktorjem preoblikovalnega izkoristka po naslednji odvisnosti⁴:

$$k_f = n \cdot \sigma \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

kjer je n — faktor preoblikovalnega izkoristka in σ — natezno tečenje.

Pri valjanju ploščatih profilov, kjer je širjenje materiala le neznatno, iz geometrijskih pogojev sledi vrednost preoblikovalnega izkoristka $n = 1,155$. Če torej srednjo preoblikovalno trdnost delimo z vrednostjo preoblikovalnega izkoristka, dobimo enoosno napetost tečenja.

Z uporabo odvisnosti med silo valjanja, površino stika valjanca z valjem in lokom dotika dobimo po Simsu silo valjanja, ki je podana z naslednjo odvisnostjo³, ki je uporabna tudi pri valjanju superzlitin:

$$P = k_r \cdot b \cdot \sqrt{R} \cdot \sqrt{\Delta h} \cdot Q, \text{ (H)} \quad (2)$$

kjer je: b — širina valjanca (mm), R — polmer valjev (mm), Δh — absolutni odzjem (mm) in Q — brezdimenzijski faktor, odvisen od razmerja R/h in ϵ .

** dr. Matjaž Torkar, dipl. ing. met., Metalurški inštitut Ljubljana

** D. Kmetič, dipl. ing. met.; dr. F. Vodopivec, dipl. ing. met.; J. Žvokelj, dipl. ing. met. — Metalurški inštitut Ljubljana

** Originalno publicirano: ŽEZB, 23, 1989, 4

** Rokopis prejet: avgust 1989

Iz enačbe (2) je tako mogoče izračunati srednjo preoblikovalno trdnost zlitine Nimonic 80 A.

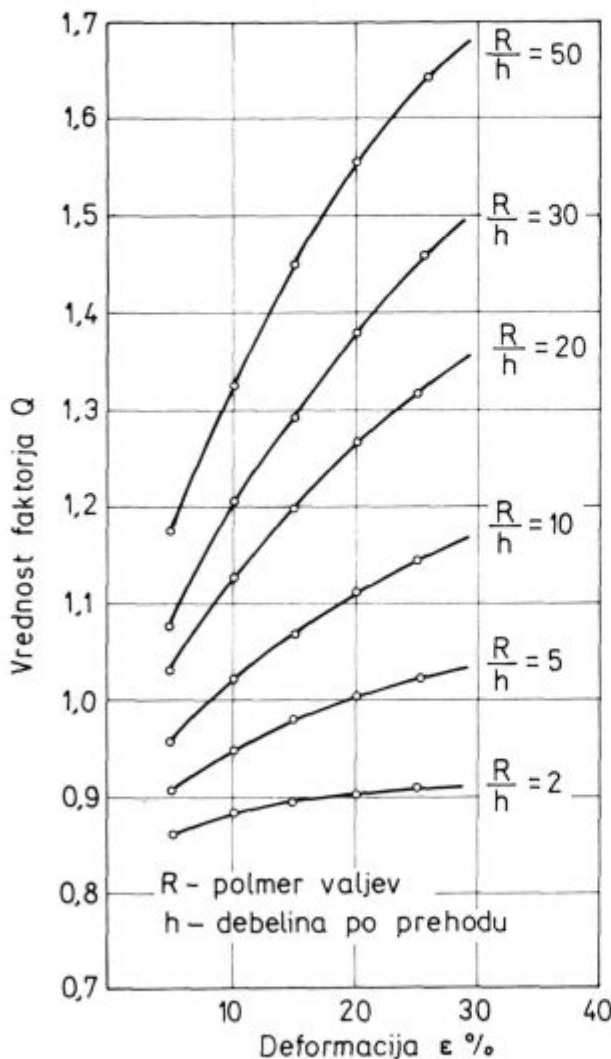
Vrednosti za Q smo vzeli iz literature^{3,4,5}. Odvisne so le od polmera valjev, (R) končne debeline (h) in od stopnje deformacije, (ϵ) torej le od geometrijskih pogojev preoblikovanja, nič pa od materiala.

3. REZULTATI

Določanje preoblikovalne trdnosti zlitine Nimonic 80 A v vročem

Meritve sile valjanja v širšem območju temperatur in odvzemov so pokazale, da se sile valjanja gibljejo med 1 in 4,5 kN pri temperaturah med 1150°C do 960°C. Vzorci z izhodnim presekom 20 × 40 mm so bili izvaljani do debeline 10 mm.

Pri znanih geometrijskih pogojih valjanja je mogoče s pomočjo enačbe (2), v katero vstavimo potrebne podatke in silo valjanja, izračunati srednjo preoblikovalno trdnost. Vrednosti za faktor Q so prikazane v tabeli 1 in na sliki 1.



Slika 1:

Grafični prikaz vrednosti faktorja Q v odvisnosti od polmera valjev (R) in debeline valjanca (h) po prehodu

Fig. 1

Plot of Q value as a function of roll diameter (R), and rolling thickness (h) after the pass

Tabela 1: Vrednosti faktorja Q

$\frac{R}{h}$	ϵ %				
	5	10	15	20	25
2	0,857	0,880	0,892	0,905	0,909
5	0,904	0,948	0,976	1,003	1,020
10	0,956	1,022	1,067	1,111	1,142
20	1,029	1,127	1,196	1,264	1,313
30	1,086	1,208	1,294	1,379	1,442
50	1,175	1,337	1,450	1,563	1,644

Za ilustracijo v tabeli 2 navajamo nekaj eksperimentalnih vrednosti in izračunanih preoblikovalnih trdnosti.

Tabela 2: Nekaj eksperimentalnih vrednosti

T	Δh	P	ϵ	$\dot{\phi}$	k_r
°C	mm	kn	%	s^{-1}	N/mm ²
1085	2,01	1,8	10,8	3,01	325
1055	2,92	2,4	17,7	4,22	347
1025	2,29	3,4	16,8	4,52	546

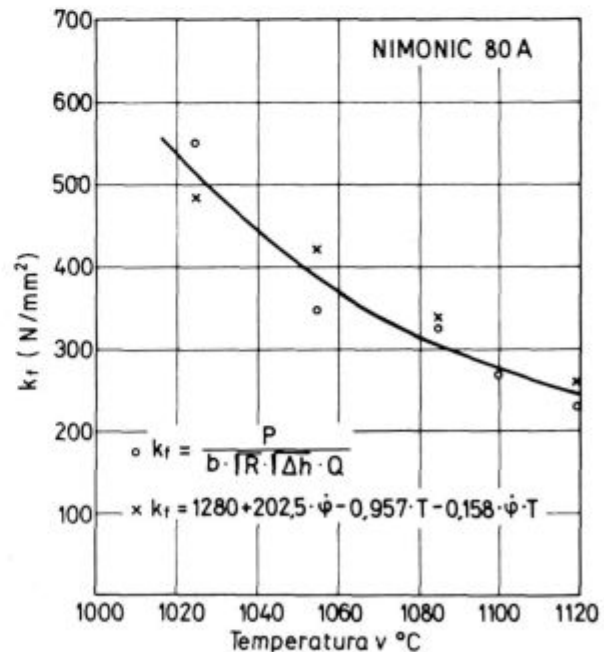
Iz podatkov, navedenih v tabeli 2 je razvidno, da se preoblikovalna trdnost hitro povečuje z nižanjem temperature valjanja. To je normalna posledica lastnosti te zlitine, ki je namenjena uporabi pri povišanih temperaturah.

Simsova enačba (2), s katero smo izračunali preoblikovalno trdnost, ne upošteva preoblikovalne hitrosti.

Za primerjavo smo uporabili empirično enačbo (3) iz literature³, ki kaže preoblikovalno trdnost v odvisnosti od temperature in preoblikovalne hitrosti pri valjanju:

$$k_r = 1280 + 202,5 \cdot \dot{\phi} - 0,597 \cdot T - 0,158 \cdot \dot{\phi} \cdot T \quad (3)$$

kjer je T — temperatura preoblikovanja (°C) in $\dot{\phi}$ — preoblikovalna hitrost (s^{-1}).

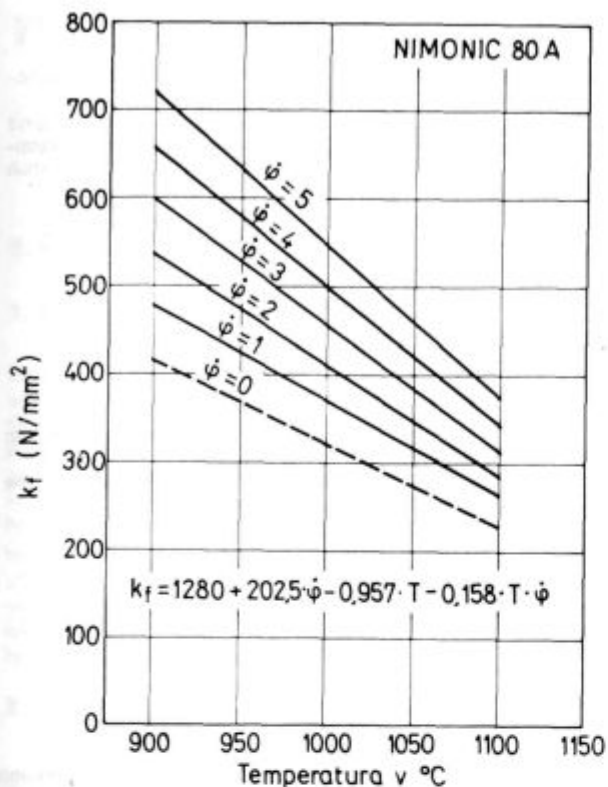


Slika 2:

Vpliv temperature na preoblikovalno trdnost, izračunano po dveh metodah

Fig. 2

Influence of temperature on the yield stress evaluated by two methods



Slika 3:
Vpliv temperature in hitrosti preoblikovanja na preoblikovalno trdnost (po viru 3)

Fig. 3
Influence of temperature and deformation rate on the yield stress (by reference 3)

V navedeno enačbo (3) smo vstavili eksperimentalne podatke za preoblikovalno hitrost in temperaturo ter izračunali preoblikovalno trdnost.

Na oba načina določene vrednosti preoblikovalnih trdnosti so prikazane v diagramu na **sliki 2**.

Iz diagrama je razvidno, da se vrednosti za k_f , izračunane po dveh metodah, zadovoljivo ujemajo v danem temperaturnem intervalu, ki predstavlja praktično celoten interval vroče predelave te vrste zlitin.

Pri izvajanju preizkusov z valjanjem žal ni bilo mogoče bolj spreminjati preoblikovalne hitrosti in tako ni bilo mogoče eksperimentalno ugotoviti morebitnega vpliva hitrosti deformacije na preoblikovalno trdnost. To odvisnost kaže enačba (3), zato smo izračunali nekaj preoblikovalnih trdnosti v odvisnosti od temperature in hitrosti deformacije. Ta odvisnost je prikazana na **sliki 3**. Vidi se, da je vpliv hitrosti deformacije na preoblikovalno trdnost precejšen in da se ta vpliv z višanjem tempera-

ture zmanjšuje. Če narisane premice podaljšamo proti višjim temperaturam, pridemo do temperature 1336°C, pri kateri je na podlagi enačbe (3) vrednost $k_f = 0$. Ta temperatura je zelo blizu temperature tališča te zlitine⁶, ki je po navajanju literature 1365°C.

Podatki, ki smo jih dobili s pomočjo instrumentacije eksperimentalnega valjarniškega ogrodja za valjanje, so pomembni s stališča predelave teh zlitin v industrijskem obsegu, saj omogočajo približno oceno reda velikosti sil, potrebnih za preoblikovanje večjih blokov. Ugotovili smo, da so te sile približno za 60 % večje, kot pri vroči predelavi jekla prokron 11.

Poudariti pa moramo, da poleg preoblikovalne trdnosti pri vroči predelavi nikakor ne smemo zanemariti tudi mikrostrukturnih dogajanj, ki jih v tem članku ne navajamo.

4. ZAKLJUČEK

Nikljeva superzlitina Nimonic 80 A, ki je namenjena uporabi pri povišani temperaturi, je problematična za vročo predelavo, še posebno če ima strjevalno mikrostrukturo. Občutljiva je na pojav raztrganin in ima visoko preoblikovalno trdnost v vročem.

Meritve na instrumentiranem, eksperimentalnem valjarniškem ogrodju na Metalurškem inštitutu so dale osnovne podatke, s pomočjo katerih je bilo mogoče bolje opredeliti pogoje pri valjanju in določiti preoblikovalno trdnost v odvisnosti od temperature deformacije. Izvedena instrumentacija je omogočila registracijo preoblikovalnih sil, preoblikovalnih momentov in položaja valjev pri vročem valjanju. V temperaturnem intervalu med 960°C in 1150°C smo izmerili preoblikovalne sile, ki so se gibale pri preoblikovalnih hitrostih okrog 4 s⁻¹ v območju od 1 do 4,5 kN.

Pri teh pogojih je bila izračunana preoblikovalna trdnost med 600 in 250 N/mm².

Sile, potrebne za vroče valjanje zlitine Nimonic 80 A, so za faktor 1,6 večje od sil, potrebnih za vroče valjanje na primer jekla prokron 11.

Dobljeni eksperimentalni podatki se zadovoljivo ujemajo z nekaterimi podatki iz literature za to in podobne zlitine.

LITERATURA

1. M. Torkar, F. Vodopivec, A. Rodič, I. Kos: Poročilo Metalurški inštitut, Ljubljana, 1985, št. 85—020
2. M. Torkar, A. Kveder, F. Vodopivec, A. Rodič, I. Kos: Poročilo Metalurški inštitut, Ljubljana, 1986, št. 86—029
3. »Superalloys 1980«, Proceedings of the 4th International Symposium on Superalloys, Ohio, 1980
4. Z. Wusatowski: Grundlagen des Walzens, VEB Verlag, Leipzig 1963
5. M. Torkar, F. Vodopivec, A. Kveder, B. Arzenšek, D. Kmetič, S. Triglav, B. Omejc: URP:C2-2557, RSS, Ljubljana 1988
6. W. Betteridge: The Nimonic alloys, Edward Arnold LTD, London, 1959

ZUSAMMENFASSUNG

Die Warmumformung der Nikelsuperlegierungen ist ein äusserst anspruchsvoller Prozess besonders noch in erster Stufe als das Material mit dem Gussgefüge verformt wird.

Die Instrumentierung des Versuchswalzgerüsts hat es ermöglicht die Registrierung der Verformungskräfte und die Berechnung der mittleren Verformungsfestigkeit der Legierung Nimonic 80 A. Im Temperaturintervall zwischen 960°C und

1.150°C betrug die Verformungsfestigkeit der Legierung Nimonic 80 A zwischen 600 und 250 N/mm².

Die nötigen Kräfte für das Warmwalzen der Legierung sind um den Faktor 1,6 grösser von den Kräften die für das Warmwalzen von austenitischem nichtrostendem Stahl Prokron 11 (X5CrNi/8/10).

SUMMARY

Hot working of nickel superalloys is a very demanding process, especially in the first stage when the material with solidification structure is deformed.

Instrumentation of the experimental rolling stand enabled the recording of rolling forces, and the evaluation of the mean yield stress for the Nimonic 80 A alloy.

In the 960 to 1150°C interval the yield stress for Nimonic 80 A was between 600 and 250 N/mm².

Forces needed for hot rolling are 1.6 times greater for the nickel alloys than for the Prokron 11 steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горячая переработка никелевых супер сплавов представляет собой очень требовательный процесс в особенности в своей первой фазе, когда наступает деформация материала с структурным застыванием.

Инструментация экспериментального прокатного оборудования дала возможность определить преобразовательные

силы и выполнить расчёт средней преобразовательной твёрдости сплава Нимоник 80 А между 600 и 250 Н/мм².

Силы, которые необходимы для горячей прокатки сплава находятся 1.6 выше от сил, которые требуются для прокатки стали Прокром II.