

Primerjalno preizkušanje trdote pri povišanih temperaturah*

DK: 620.178.154
ASM/SLA: Q 29 p

Janez Kovač

Ugotavljanje trdote pri povišanih temperaturah je za orodna jekla, namenjena izdelavi orodij za vroče delo, zelo pomembno. Poznane so metode in drage aparature za meritve trdot v vročem stanju. Pri raziskovalnem delu na področju orodnih jekel za delo v vročem pa se često srečujemo s potrebo primerjalnega preizkušanja različnih vrst jekel in različnih postopkov toplotne obdelave z meritvami trdote v vročem stanju. Nismo imeli namena razviti metodo eksaktnega merjenja trdot in ugotavljanja absolutnih vrednosti, ampak razviti možnosti primerjalnega ugotavljanja trdot na tako preprost način, da bi bil uporaben tako v laboratoriju kot v vsakem proizvodnem obratu.

Članek opisuje tako preprosto napravo in podaja nekaj primerjalnih meritev za oceno uporabnosti.

Trdota pri povišanih temperaturah je ena najvažnejših lastnosti jekel, iz katerih izdelujemo orodja za delo v vročem stanju. Za oceno uporabnosti orodij na višjih temperaturah, kakor tudi zaradi študije vplivov toplotne obdelave na trdote v vročem so potrebne tudi razširitve ustreznih meritev trdot pri povišanih temperaturah. Metode preizkušanja trdote pri povišanih temperaturah so se v zadnjih letih močno razvile in nudijo možnost merjenja trdote pri različnih temperaturah za razne vrste jekel in zlitin.

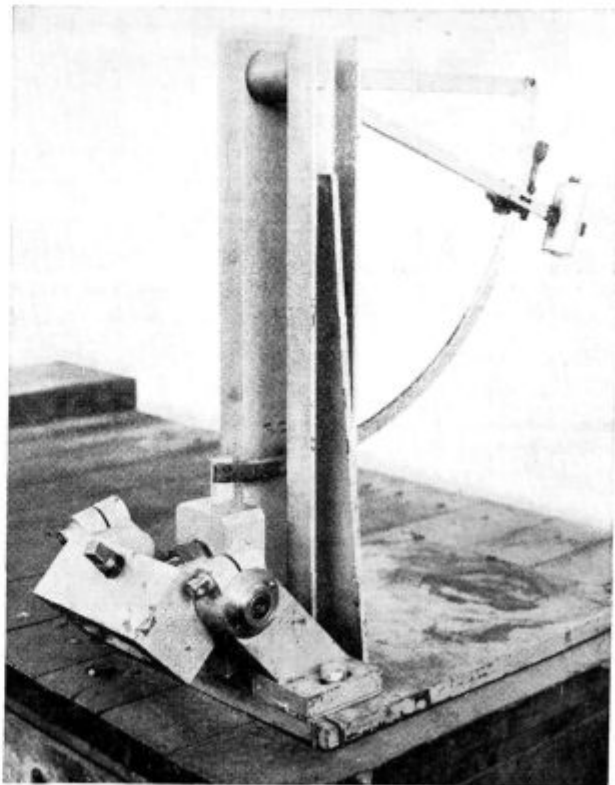
V literaturi je malo podatkov o merjenju trdote pri povišanih temperaturah. Skupina francoskih strokovnjakov (2) je merila mikrotrdoto v vročem na napravi, ki je bila prvenstveno namenjena za preizkušanje v vakuumu toplotno izoliranih prob. Merjenje so izvajali tako, da so na površino preizkušanca vtiskali prizmatično konico, podobno kot pri metodi po Vickersu, in merili premer odtiska. Poskuse so izvajali na nekaterih vrstah Cr-Ni jekel.

Sovjetski strokovnjaki so tudi merili trdoto pri povišanih temperaturah do 600° C (3). Pri merjenju so se posluževali Rockwellove naprave, na kateri je bila montirana Amslerjeva pečica. Meritve so izvajali na nekaterih brzoreznih jeklih.

V literaturi opisane metode so sicer natančne, vezane pa na posebne, večkrat tudi precej drage

aparature. V mnogih primerih pa preizkušanje ni izvedljivo, posebno ne pri pogojih, kakršni so značilni za preizkušanje v obratu.

V našem primeru smo si zadali nalogo, da z merjenjem trdote pri povišanih temperaturah določimo vpliv temperature na trdoto ledeburitnih orodnih jekel Železarne Ravne do temperature 600° C. Za naše potrebe smo želeli razviti hitro primerjalno metodo, uporabno v laboratoriju in v obratu. Meritve za preizkušanje odpornosti proti udarnemu vtiskovanju smo izvajali na posebni napravi, kjer smo dinamično z udarcem vtiskali konico stožca na površino preizkušanca. Paralelno smo merili tudi trdoto na Rockwellovi napravi. S primerjavo izmerjenega premera odtiska in trdote v HRC smo dobili pregled, kako se spreminja trdota pri povišanih temperaturah. Iz teorije plastične deformacije nam je znano, da s segrevanjem jekla pada trdota in iz tega sklepamo, da z rastočo temperaturo pada odpornost proti udarnemu vtiskovanju.

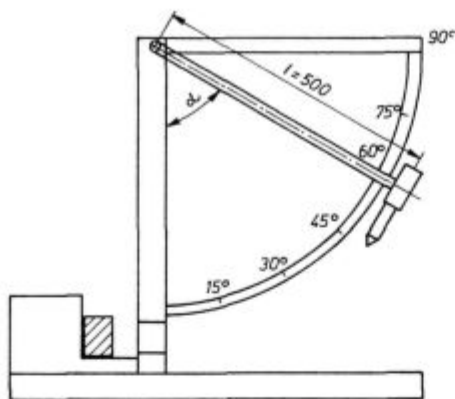


Slika 1:

Naprava za primerjalno preizkušanje odpornosti proti udarnemu vtiskovanju.

Janez Kovač, dipl. ing. je raziskovalec na področju toplotne obdelave v metalurških predelovalnih obratih.

* Primerjalno preizkušanje trdote pri povišanih temperaturah je bilo razvito v okviru širše teme diplomskega dela pod mentorstvom dipl. ing. Jožeta Rodiča.

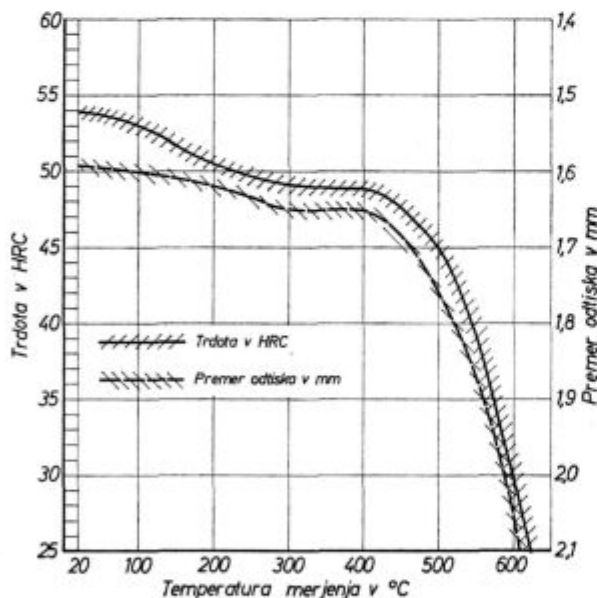


Slika 2:

Skica naprave za primerjalno preizkušanje odpornosti proti udarnemu vtiskovanju.

Č. 4150 (OCR-12) Žarjenje: 840°C Kemijska sestava
 Šarža: 48613 Kaljenje: 980°C (olje) 2,17% C 0,31% Si 0,33% Mn
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550°C 1,20% Cr 0,04% Mo 0,4% Ni
 0,2% Cu

Ozn. probe	A ₁		A ₂		A ₃		A ₄	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	53,0	1,60	53,0	1,68	53,0	1,60	53,0	1,60
200	52,0	1,60	50,0	1,65	50,0	1,60	50,5	1,60
300	49,0	1,70	48,5	1,55	50,0	1,65	49,5	1,70
400	50,0	1,47	49,0	1,67	49,0	1,60	48,0	1,75
500	44,0	1,76	45,0	1,70	46,0	1,80	44,0	1,68
600	30,0	2,05	30,0	2,05	30,0	2,00	30,0	2,10



Slika 3:

Rezultati meritev za jeklo Č.4150-OCR 12.

Vrsta jekla	Č.4150 (OCR 12)	Č.4650 (OCR - 12 sp)	Č.4750 (OCR - 12 ex)	Č.4850 (OCR - 12 VM)	Č.4754 (CRV)
Trdota po kaljenju	65—65,5	64—65	63,5—64	62,5—63,5	62—62,5
Trdota po popuščanju na 550° C	53—55	55—56,5	59—60	57,5—58,5	58—59

Premer odtiska se povečuje, trdota v HRC pa pada s poviševanjem temperature.

Napravo za merjenje trdote pri povišanih temperaturah, s katero smo izvajali preizkušanje, prikazujeta sliki 1 in 2.

Sestoji iz stojala, vzvoda, na katerem je utež z vloženim penetratorjem, podstavka za postavljanje preizkušancev, merilne skale za merjenje višine, postavljanja uteži in mehanizma za sproženje. Na vzvodu dolžine 500 mm je pritrjena utež, ki drsi po vodilu v obliki krožnice. Penetrator (konica) je izdelan iz karbidne trdine v obliki stožca, zbrusen pod kotom 120°. Utež lahko pada iz začetnega položaja pod kotom od 0—90°. Naprava dela na principu padalnega kladiva, ki pada z neke določene višine in z določeno obodno hitrostjo udari na površino v podstavku postavljenega preizkušanca in pri tem naredi odtisek.

Sproženje naprave je ročno. Na točnost pri merjenju z napravo vplivajo naslednji faktorji:

- teža uteži,
- kot padanja uteži,
- čas prenosa preizkušanca od peči do naprave,
- temperatura preizkušanca v trenutku merjenja.

Med meritvami smo skušali vse vplivne faktorje obdržati čim bolj konstantne. Teža uteži je znašala 1,22 kg, začetni kot padanja je bil 60°.

Uvodne preiskave smo izvajali z meritvami pri naslednjih orodnih jeklih: Č.4150 (OCR-12), Č.4650 (OCR-12 special), Č.4750 (OCR-12 extra), Č.4850 (OCR-12 VM) in Č.4754 (CRV).

Preizkušanci so bili izdelani iz kovane palice kvadratnega preseka s stranico 25 mm. Preizkušanci so imeli dimenzije 20 mm × 25 mm × 45 mm. nasprotni ploskvi sta bili fino brušeni. Iz vsake vrste jekla so bile izdelane štiri paralelke za vsako temperaturo merjenja.

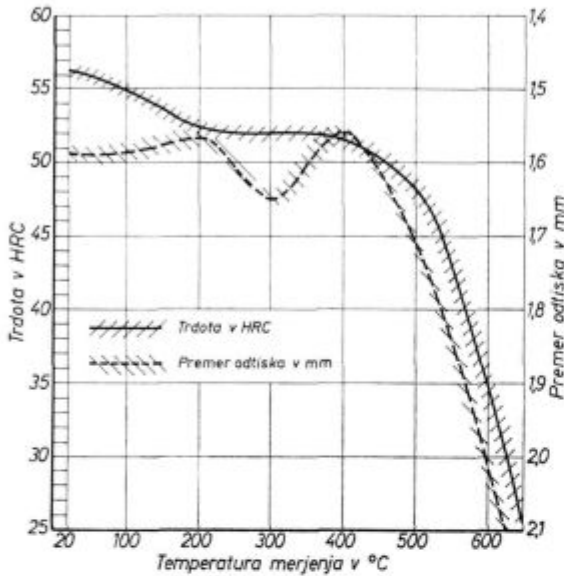
Vsi preizkušanci so bili pred merjenjem enako mehko žarjeni na 840° C, kaljeni v solni kopeli z normalne temperature kaljenja za posamezno vrsto jekla ter popuščeni na 550° C v komorni peči. Trdote po kaljenju in po popuščanju, merjene v hladnem stanju, so za posamezne vrste jekel podane v naslednji tabeli:

Č. 4650 (OCR12 sp.) Žarjenje: 840°C Kemijska sestava:
 Šarža: 48869 Kaljenje: 980°C (olja) 2,3% C 0,17% Si 0,34% Mn
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550°C 11,8% Cr 0,1% Mo 0,14% V
 0,07% W 0,16% Ni 0,14% Cu

Ozn. probe	B ₁		B ₂		B ₃		B ₄	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	54,0	1,60	56,0	1,50	55,0	1,57	56,0	1,58
200	52,0	1,52	50,5	1,52	52,0	1,60	53,0	1,60
300	52,0	1,70	52,0	1,66	52,5	1,68	51,5	1,60
400	52,0	1,46	51,5	1,43	50,5	1,55	52,0	1,56
500	49,0	1,75	48,0	1,72	49,5	1,70	49,5	1,70
600	36,0	2,00	36,0	2,00	34,0	2,05	35,0	1,98

Č. 4750 (OCR-12ex.) Žarjenje: 840°C Kemijska sestava:
 Šarža: 48882 Kaljenje: 1020°C (olja) 1,61% C 0,17% Si 0,27% Mn
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550°C 12,0% Cr 0,69% Mo 0,18% V
 0,96% W 0,18% Ni 0,17% Cu

Ozn. probe	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	58,5	1,48	58,0	1,53	58,0	1,50	59,0	1,45
200	57,0	1,42	56,5	1,50	57,0	1,44	57,0	1,50
300	57,0	1,54	56,0	1,48	56,0	1,60	55,5	1,60
400	54,0	1,58	54,0	1,56	54,5	1,55	54,5	1,55
500	54,0	1,60	54,0	1,65	52,0	1,67	53,0	1,62
600	41,5	1,88	36,0	1,80	35,0	2,05	35,0	2,08



Slika 4:

Rezultati meritev za jeklo Č.4650—OCR 12 special

Pri vseh preizkušancih smo merili:

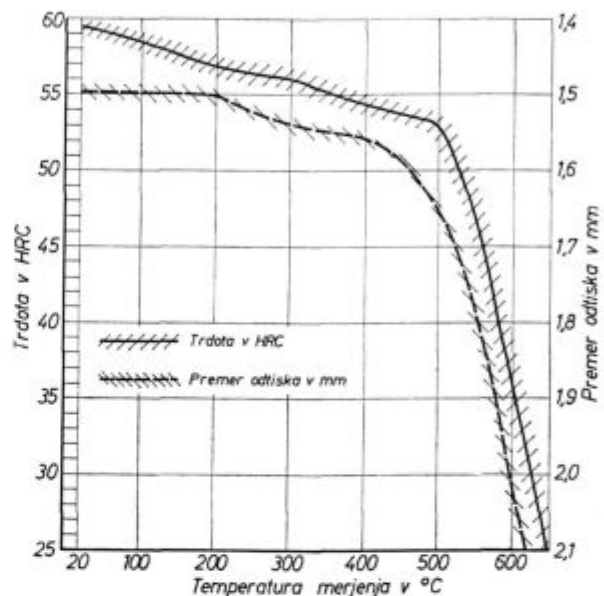
- premer odtiska, nastalega pri udarnem vtiskovanju konice na opisani napravi
- trdoto v HRC

Temperature merjenja so bile: 100, 200, 300, 400, 500 in 600°C. Preizkušance smo na temperaturo merjenja segrevali 1 uro v elektrokomorni pečici. Tako segrete preizkušance smo hitro prenesli na podstavek v napravo in naredili vtisek na površini preizkušanca. Premer vtiska smo izmerili po ohladitvi preizkušancev. Potem smo na istih preizkušancih izvedli tudi meritev na Rockwellovi napravi.

Iz dobljenih rezultatov smo narisali krivulje odvisnosti trdote od temperature, iz katerih je mogoče določiti

- odvisnost trdote od temperature merjenja v območju 200 — 600°C,
- trdoto na določenih temperaturah.

Z merjenjem premerov vtiskov lahko primerjamo trdoto pri določenih temperaturah za posamezna jekla v laboratoriju in v obratu ter tako ocenjujemo odpornost jekla proti vtiskovanju na različnih temperaturah.



Slika 5:

Rezultati meritev za jeklo Č.4750—OCR 12 extra

Rezultati meritev

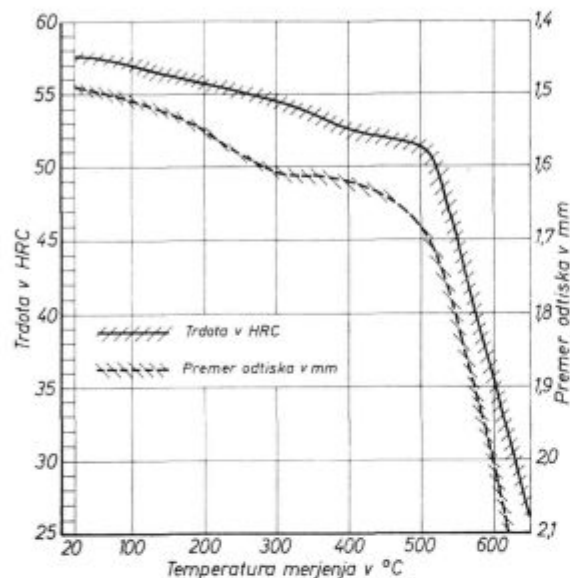
Rezultati meritev na napravi za udarno trdoto v vročem kažejo razmeroma velika trosenja zaradi tega, ker smo preizkušance prenašali iz peči do naprave ročno in ta čas prenašanja do naprave ni bil konstanten. Vendar so rezultati v določenem sprejemljivem intervalu.

Rezultati meritev na slikah 3 do 7 nam jasno pokažejo, kako pada trdota v odvisnosti od povišanja temperature merjenja. Trdota teh jekel močneje pada nad 400°C, do te temperature pa je padanje počasnejše. Najboljše rezultate kažejo jekla Č.4750 (OCR-12 ex.), Č.4850 (OCR-12 VM) in Č.4753 (CRV), ki do temperature 500°C obdržijo trdoto nad 52—53 HRC, medtem ko smo pri vrstah jekla Č.4150 (OCR-12) in Č.4650 (OCR-12 sp.) dosegli le 45—48 HRC. Pri teh dveh vrstah jekla je pri temperaturi popuščanja 550°C trdota že močno padla, zato lahko sklepamo, da sta ti dve vrsti jekla primerni za delo v vročem stanju samo do 400°C.

Rezultati meritev na opisani napravi kažejo, da je metoda uporabna za primerjalno preizkuš-

Č. 4850 (OCR-12 VM) Žarjenje: 840 °C Kemijska sestava:
 Šarža: 48865 Kaljenje: 1020°C(olja) 1,53% C 0,27% Si 0,37% Mn
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550 °C 11,3% Cr 0,84% Mo 0,97% V
 0,18% Ni 0,18% Cu 0,027% S

Ozn. probe	D ₁		D ₂		D ₃		D ₄	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	58,0	1,48	56,0	1,52	58,0	1,56	58,0	1,52
200	56,0	1,55	55,5	1,47	54,5	1,48	56,0	1,50
300	54,0	1,60	55,0	1,62	55,5	1,60	55,0	1,64
400	53,0	1,52	52,0	1,64	53,0	1,43	53,0	1,58
500	53,5	1,70	52,0	1,70	51,0	1,65	51,5	1,68
600	37,0	1,92	36,0	1,86	36,0	2,05	33,0	2,00

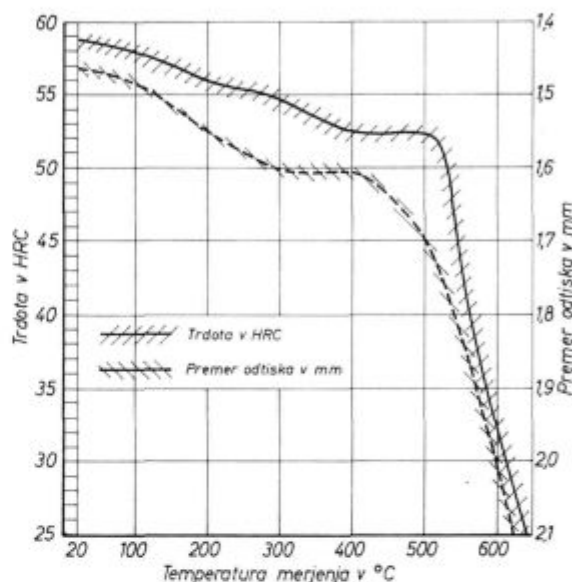


Slika 6:
Rezultati meritev za jeklo Č.4850 OCR 12 VM

nje z zadostno natančnostjo za potrebe fazne kontrole in potrebe raziskovalnih ocen praktične uporabnosti jekel v določenih temperaturnih območjih. Aparat bo po določenih manjših izboljšavah zelo koristno služil industrijskim raziskovalnim potrebam v laboratorijih in obratih.

Č. 4754 (CRV) Žarjenje: 840 °C Kemijska sestava:
 Šarža: neznana Kaljenje: 1020°C(olja) 0,92% C 0,54% Si 0,53% Mn
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550 °C 10,1% Cr 1,01% Mo 0,29% V
 0,24% Ni 0,19% Cu

Ozn. probe	E ₁		E ₂		E ₃		E ₄	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	58,5	1,35	58,0	1,52	58,0	1,42	57,0	1,48
200	56,0	1,56	53,0	1,54	56,0	1,42	56,5	1,54
300	54,0	1,60	54,5	1,65	56,0	1,60	55,5	1,54
400	52,0	1,55	52,5	1,58	51,0	1,60	54,0	1,60
500	54,0	1,70	52,0	1,70	53,0	1,65	53,0	1,70
600	35	2,00	39,0	2,00	32,0	2,10	38,0	2,15



Slika 7:
Rezultati meritev za jeklo Č.4754-CRV.

Literatura:

1. Kovač J.: Diplomski rad, Sisak, 1972
2. Rabbe P., M. Pascal, P. Mailhos: Emploi de la dureté a chaud pour caractériser la tenue a chaud des aciers spéciaux.
3. Akuliničev EV., G. V. Sutivin, V. G. Lobickij, A. N. Akuliničeva: »Gorjačaja tvrdość« naplavnoga instrumenta, MITOM, 1971/2.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Härtebestimmung bei höheren Temperaturen ist bei den Warmarbeitsstählen sehr wichtig. Die Messverfahren sowie teure Messgeräte für Härtemessungen bei höheren Temperaturen sind bekannt. Bei der Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Warmarbeitsstähle ist es oftmals nötig, Vergleichsuntersuchungen an verschiedenen Stahlsorten mit verschiedener Wärmebehandlung, Härtemessungen bei höheren Temperaturen durchzuführen. Unsere Aufgabe war es nicht Methoden für exakte Härte-

messungen und Bestimmungen der absoluten Härtewerte durchzuführen, sondern ein einfaches Verfahren für vergleichende Härtemessungen zu entwickeln, welches im Laboratorium wie auch im Betrieb angewendet werden könnte.

Im Artikel ist ein solches einfaches Messgerät beschrieben. Auch einige Vergleichsmessungen für die Bewertung der Anwendbarkeit sind angegeben.

SUMMARY

Hardness tests at higher temperatures are very important for tool steels used for hot working tools. Methods and expensive apparatuses for hardness measurements at high temperatures are known. Investigations with tool

steels for hot working often demand comparative tests of various steel qualities and various heat treatments with hardness measurements at high temperatures. Our intention was not to develop a method of exact hardness mea-

surement or obtaining absolute values but to develop a possibility of comparative hardness determination in a simple way acceptable in a laboratory or in a plant.

The paper describes such a simple set-up and gives some comparable measurements to confirm its applicability.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение твёрдости при повышенных температурах инструментальных сортов стали предназначенных для изготовления инструментов для горячей работы имеет весьма большое значение. Методы и дорогие приборы для определения твёрдости в горячем состоянии известны. При лабораторном исследовании в области инструментальных сталей для горячей работы часто встречаемся с необходимостью сравнительного испытания разных сортов стали и разных способов термической обработки, с изме-

рениями твёрдости и определения абсолютных величин, а развить возможность простого способа сравнительного определения твёрдости, способа которого можно употребить не только в лабораторном исследовании, но также в либо каком производственном предприятии. Дано описание такого несложного прибора и, чтобы дать оценку метода, приведены несколько примеров сравнительных измерений твёрдости.