Uporabnost magnetne analize za kontrolo toplotne obdelave brzoreznih jekel

Magnetna analiza se vse bolj uveljavlja za ločenje zamešanih feromagnetnih materialov, za kontrolo toplotne obdelave in za odkrivanje površinskih napak. V članku je opisana raziskava uporabnosti magnetne analize za kontrolo trdote in toplotne obdelave brzoreznih jekel.

Za obdelavo podatkov, dobljenih pri meritvah, so bile uporabljene nekatere matematično statistične analize in elektronski računalnik.

UVOD

Princip delovanja magnetoskopa je bil v Železarskem zborniku že opisan³, zato si oglejmo le kakšen vpliv ima različna vsebnost zaostalega avstenita v vzorcih iz brzoreznega jekla na magnetne meritve.

Gostota magnetnega fluksa skozi feromagnetni vložek, ki ga vložimo v primerjalno tuljavo, znaša

$$B = B_o + J$$

B_o gostota magnetnega fluksa v prazni tuljavi

J magnetiziranje probe

Ker sta vezani obe tuljavi v protistiku, B_{α} kompenziramo in merimo samo razliko J, ki nas zanima. (Slika 1)



Slika 1

Shema impedenčnega mostu z dvema poloma tuljav in kompenzatorjem ravnotežja K

Zaostali avstenit je nemagnetna faza in se nasprotno od ferita ne magnetizira. Gostota magnetnega fluksa je torej odvisna od odstotka zaostalega avstenita. Ker pa je inducirana napetost v tuljavi odvisna od gostote magnetnega fluksa, lahko z merjenjem toka, ki ga požene inducirana napetost, merimo vsebnost zaostalega avstenita.

Meritve zaostalega avstenita, s katerimi želimo posredno meriti mehanske lastnosti jekla, ne dajo absolutnih vrednosti, temveč le relativne, ki povedo, da je pri večjih odčitkih na magnetoskopu v brzoreznem jeklu več zaostalega avstenita, pri manjših pa manj. Meritve na magnetoskopu smo delno umerili na dejansko vsebnost zaostalega avstenita z rentgensko strukturno analizo.

Po meritvah na magnetoskopu smo iskali, s pomočjo elektronskega računalnika korelacijo med odklonom na magnetoskopu (vsebnostjo zaostalega avstenita) in trdoto, da bi ugotovili kakšne so možnosti za kontrolo termične obdelave brzoreznih jekel z magnetno analizo.

Opis aparature in dela

Magnetoskop na sliki 2 je izdelan v Železarni Ravne. Sestavljen je iz dveh primerjalnih tuljav, generatorja za 30/600 Hz, ojačevalca, dveh kom-



Slika 2 Magnetoskop

penzacijskih uporov (ohmskega in induktivnega) in mikroampermetra. Tuljavi sta skupno s kompenzacijskima uporoma mostiščno zvezani. Za točnejše merjenje smo uporabili stabilizator, ki smo ga vezali med omrežje in magnetoskop. Za vse meritve na magnetoskopu smo uporabljali frekvenco 30 Hz, kar ima poseben pomen pri raziskavi.

Pri merjenju je zelo pomembna izbira primerjalnega vzorca in izbira merilnega območja skupno z ustrezno uglasitvijo merilnega mosta. Za primerjalni vzorec smo izbrali žilavostno probo iz ARMCO železa (Č.1060 — SPŽ 1), ki je skoraj 100 % ferit. Primerjalna žilavostna proba je imela enake dimenzije kot ostale probe.

Inštrument je bil umerjen tako, da je kazal tem večji odklon, čim večja je bila vsebnost zaostalega avstenita v probi.

Upoštevali smo, da na meritev vpliva:

- geometrija vzorca in tuljave

 magnetna permeabilnost (struktura, kemijska sestava vzorca, temperatura)

električna prevodnost vzorca

- frekvenca in

ojačitveno območje inštrumenta

Vse tiste faktorje, ki bi merjenje zaostalega avstenita motili (dimenzija, kemijska sestava, frekvenca, ojačitveno območje inštrumenta), smo držali nespremenjene in s tem odstranili njihov vpliv. S posebnimi preizkusi smo kasneje ugotavljali tudi vpliv dimenzije na magnetne meritve.

Za poskuse smo uporabili pomembnejše vrste brzoreznih jekel:

C.9682 (BRC-3), C.6980 (BRC), C.6882 (BRW-2), C.6880 (BRW), C.7680 (BRM-2) in C.9683 (BRU).

V žarjenem stanju se navedena jekla po magnetnih lastnostih zelo malo razlikujejo, tako, da jih pri zamešanju težko ločimo. Veliko pomembnejši so rezultati meritev dobljenih na kaljenih in popuščenih probah.

Preizkusi uporabnosti magnetnih metod za kontrolo toplotne obdelave brzoreznih jekel so bili opravljeni v okviru obširnejše raziskave vpliva toplotne obdelave na udarno upogibno žila-

vost in trdoto brzoreznih jekel.

Na probah smo izvršili:

- meritve trdote po kaljenju in popuščanju

 meritve na magnetoskopu po kaljenju in popuščanju ter

 meritve udarne upogibne žilavosti po popuščanju.

Tako smo lahko iskali tudi medsebojne odvisnošti med trdoto, žilavostjo in magnetnimi meritvami. Shemo toplotne obdelave prob kaže tabela 1.

Za objektivno oceno udarne upogibne žilavosti smo delali s 15 paralelkami, zato so rezultati magnetnih meritev, glede na število paralelk, zelo zanesljivi.

Rezultati in diskusija

Vso množico podatkov dobljenih pri meritvah smo obdelali z matematično statistično analizo porazdelitve in regresije na elektronskem računalniku.

Rezultati magnetnih meritev po kaljenju

Po kaljenju smo na žilavostnih probah, katerih dimenzije so na sliki 3, izmerili trdoto po Rockwellu ter izvršili meritev na magnetoskopu. Porazdelitve magnetnih meritev po kaljenju kažejo slike 4 do 9. Na abscisi je odčitek odklona na magnetoskopu, na ordinati pa kumulativna frekvenca v odstotkih. Prikazani rezultati so zaradi velikega števila paralelk zelo zanesljivi, saj pride



Oblika probe za udarno upogibno žilavost

Temp. kaljenja	1320º C			12904 C			1260º C			1170 ^e C			1200º C			1230º C		
Temp. pop. (°C)	530	560	590	530	560	590	530	560	590	530	560	590	530	560	590	530	560	590
BRC-3										15	15	15	15	15	15	15	15	15
BRC										15	15	15	15	15	15	15	15	15
BRM-2							15	15	15	15	15	15	15	15	15			
BRW							15	15	15	15	15	15	15	15	15			
BRW-2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15						
BRU				15	15	15	15	15	15	15	15	15						

Tabela 1 — Shema toplotne obdelave







Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo č.6980 (BRC)







Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo č.6880 (BRW)



Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.7680 (BRM-2)



Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo C.9683 (BRU)

na vsako temperaturo kaljenja kar 45 meritev. Trosenja meritev. ki jih kaže nagib premic v verjetnostni mreži so skoraj pri vseh vrstah brzoreznih jekel enaka. Večji odklon na magnetoskopu pri določenem jeklu dobimo pri probah, ki so bile kaljene pri višjih temperaturah. To pomeni, da te probe vsebujejo več zaostalega avstenita.

Iz slik 4 do 9 je še razvidno, da glede na trosenje, ne bi mogli po kaljenju z magnetno meritvijo sklepati na trdoto, to pa hkrati pomeni, da tudi ne moremo kontrolirati kaljenja brzoreznega jekla.

Nomogrami na slikah 10 do 14 kažejo medsebojno zvezo med trdoto po kaljenju in odklonom na magnetoskopu. Pri večjih odklonih na magne-







Slika 11

Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo Č.6882 (BRW-2)



Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo č.6880 (BRW)



Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.7680 (BRM-2)



Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo č.9683 (BRU)

toskopu je trdota nižja. To lahko trdimo z 99,9 % statistično gotovostjo. Pomembnost odvisnosti (R²) med trdoto in magnetno meritvijo po kaljenju je pri posameznih vrstah jekla precej različna. Pri jeklih č.6980 (BRC) in č.7680 (BRM-2) nismo ugotovili pomembne odvisnosti, dočim lahko n. pr. pri č.6880 (BRW) pripisujemo kar 60 % sprememb trdote »vplivu« magnetnih meritev, to je vsebnosti zaostalega avstenita.

V praksi pride včasih do neljubega zamešanja jekel. Z magnetno meritvijo bi lahko odkrili zamešanje le v primeru, če bi bili kosi enako toplotno obdelani in imeli enake dimenzije. Pri takšnih pogojih bi lahko med sabo ločili jekla: Č.6880 (BRW), Č.7680 (BRM-2) in Č.6882 (BRW-2) od Č.9682 (BRC-3), Č.6980 (BRC) in Č.9683 (BRU). Dobimo torej dve grupi jekel, ki jih z magnetno metodo lahko ločimo med sabo, ne moremo pa ločiti med sabo jekel znotraj posamezne grupe.

Magnetne meritve po popuščanju

Iz tabele 1 je razvidno, da so probe kaljene pri določeni temepraturi, popuščene pri treh različnih temperaturah.

Na probah, ki so bile različno toplotno obdelane, smo izmerili po popuščanju trdoto, udarno upogibno žilavost in relativno vsebnost zaostalega avstenita z magnetoskopom.

Magnetne meritve po popuščanju smo izvedli pri enakih pogojih kot po kaljenju.

Statistična analiza porazdelitve magnetnih meritev po popuščanju je dala zanimive rezultate, ki so prikazani an slikah 15 do 20. Opazimo grupiranje magnetnih meritev po temperaturah popuščanja. To pomeni, da je za odklon pri magnetni meritvi pomembnejša temperatura popuščanja kot temperatura kaljenja. Pri višjih temperaturah kaljenja in nižjih temperaturah popuščanja pokaže magnetoskop večji odklon, kar je glede na večjo vsebnost zaostalega avstenita, pri takšni toplotni obdelavi, povsem razumljivo.

Kako vplivata na magnetno meritev temperatura kaljenja in popuščanja, kažejo slike od 21 do 26. Tudi na teh slikah vidimo, da so na magnetoskopu izmerjene vrednosti tem višje, čim višja je temperatura kaljenja in čim nižja je temperatura popuščanja in to pri vseh preizkušenih jeklih. S 95 do 99,9 % statistično gotovostjo lahko trdimo, da veljajo prikazane odvisnosti.

Koeficient determinacije je v vseh primerih zelo visok, kar pomeni, da lahko na primer pri Č.7680 (slika 25) 98 % ugotovljenih variacij magnetne meritve pripisujemo vplivu toplotne obdelave in da le ostala 2 % variacij magnetnih meritev ostane nepojasnjenih ter jih moramo pripisovati drugim vplivom. To je za uporabnost magnetoskopa zelo pomembna ugotovitev, saj upoštevajoč rezultate vseh preizkušenih jekel lahko trdimo, da ima vpliv na magnetno meritev praktično le toplotna obdelava. Le 2 do 11 % variacij pri magnetnih meritvah pripisujemo vplivu drugih faktorjev, med katerimi je verjetno najbolj pomemben faktor dimenzije.

Zanima nas: ali lahko z magnetno meritvijo po popuščanju kontroliramo temperature toplotne obdelave? Iz nomogramov je razvidno, da glede na trosenje, ki nastopa pri meritvah, ne moremo kontrolirati temperatur kaljenja, lahko pa kontroliramo temperaturo popuščanja z natančnostjo 10 do 30^o C, vendar le v primeru, ko delamo pri vsaki vrsti jekla le z eno šaržo in enako temperaturo kaljenja tako, da je izločen vpliv kemične sestave in temperature kaljenja. Kasneje bo vpisan še vpliv različne kemijske sestave na odklon pri magnetni meritvi.

Zveza med udarno žilavostjo, trdoto in magnetno meritvijo po popuščanju

V praksi je pomemben odnos žilavosti in trdote, saj hočemo večkrat vedeti, kakšna bo žilavost, če bo trdota večja in obratno. To odvisnost smo povezali še z magnetnimi meritvami, tako, da smo dobili korelacijo med žilavostjo, trdoto in magnetno meritvijo.

Za jeklo Č.6882 (BRW-2) in Č.9683 (BRU) so ostale pri izbranem kriteriju variacije udarne upogibne žilavosti nepojasnjene. Pri ostalih preizkušenih jeklih se koeficient determinacije R² giblje od 0,26 do 0,55. Pri jeklu Č.6880 (BRW) in Č.6980 (BRC) ni pomembne korelacije med udarno žilavostjo in magnetno meritvijo, tako da ugotovljenih 26 oziroma 34 % variacije udarne žilavosti pripisujemo trdoti. Torej smo dobili od šestih vrst jekel, ki smo jih preizkušali, le dve vrsti jekel, ki kažejo pomembno korelacijo med vsemi tremi parametri.

Na sliki 27 je za jeklo č.7680 (BRM-2) v obliki nomograma prikazana zveza med magnetno meritvijo, trdoto in udarno žilavostjo po popuščanju. Koeficient determinacije je razmeroma visok, saj znaša 0,55. Udarna žilavost in trdota sta si v obratnem sorazmerju. Pri višjih odčitkih na magnetoskopu dobimo višjo udarno žilavost.

Celo pri tem jeklu, ki ima najvišji koeficient determinacije, lahko ugotovimo, da z magnetno meritvijo ne moremo dovolj zanesljivo sklepati na udarno žilavost. Iz slike 27 vidimo, da se za 15 odčitanih enot na magnetoskopu žilavost spremeni za 0,3 kpm/cm², kar je dosti manj kot so meje zanesljivosti meritev udarne žilavosti, ki znašajo v tem primeru \pm 0,5 kpm/cm².

Vpliv dimenzije na točnost magnetne meritve

Poleg vrste jekla, kemijske sestave posamezne šarže in toplotne obdelave ima na magnetno meritev vpliv še dimenzija preizkušanca. Z namenom, da ugotovimo vpliv dimenzije na točnost magnetne meritve smo naredili poseben preizkus magnetne analize. Uporabili smo strugarske nože dimenzij $12.5 \times 12.5 \times 180$ mm. Primerjalno tuljavo smo







Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo č.6882 (BRW-2)



Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo č.7680 (BRM-2)



Slika 16 Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po popuščanju jekla č.6980 (BRC)



Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah ja jeklo č.6880 (BRW)



Slika 20

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo č.9683 (BRU)



rancami pod $\pm 0,1$ mm.

Vpliv temperature kaljenja in popuščanja na magnetno meritve za jeklo C.6882 (BRW-2)

171



Vpliv temperature kaljenja in popuščanja na magnetno meritev za jeklo č.9683 (BRU)



Korelacija med udarno žilavostjo, trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.7680 (BRM-2)

Vpliv kemijske sestave šarže na magnetno meritev

Zanimalo nas je, kako vplivajo variacije kemijske sestave določenega jekla na magnetno meritev. Korelacijo smo iskali za jeklo Č.7680 (BRM-2). Rezultat kaže slika 29. Pri matematično stastični analizi korelacije smo zajeli naslednje kemijske elemente: C, Si, Mn, Cr, Mo, V in W. Pri danih omejitvah in variacijah nimajo pomembnega vpliva na magnetno meritev: Mn, Cr, V in W. Ostalim trem elementom: C, Si in Mo pa lahko pripisujemo kar 95 % variacij pri magnetnih meritvah. Tako velik vpliv kemijske sestave na magnetno



meritev dobimo le v primeru, da so izločeni vsi vplivi, kot npr. termična obdelava, geometrija prob itd. To praktično pomeni, da zaradi tako velikega vpliva kemijske sestave lahko imamo v primeru, da kontroliramo termično obdelavo serije izdelkov z različno kemijsko sestavo, resne probleme pri uporabi magnetoskopa.

Najmočnejši vpliv od naštetih treh vplivnih kemijskih elementov ima Si. Iz nomograma na sliki 29 se vidi, da se pri spremembi silicija za 0,12 % spremeni odklon na magnetoskopu za 7 enot. Ravno takšen velikostni red sprememb na magnetoskopu pa zaznamo tudi pri variacijah termične obdelave. Ta, za praktično uporabo magnetoskopa pomemben problem, se da rešiti le tako, da izvedemo sortiranje preizkušancev po šaržah, pred magnetno meritvijo.

Umerjanje magnetnih meritev z rentgensko strukturno analizo

Z rentgensko strukturno analizo smo hoteli umeriti magnetne meritve na zaostali avstenit in s tem dokazati, da zavisi magnetna meritev po toplotni obdelavi, predvsem od vsebnosti zaostalega avstenita, za katerega smo dobili pri magnetnih meritvah le relativne vrednosti.

Za kvantitativno določitev zaostalega avstenita smo na rentgenskem difraktometru posneli uklonski liniji avstenita (220) in martenzita (200), na osnovi katerih je izdelana metoda za določevanje zaostalega avstenita.

Pri določevanju zaostalega avstenita v preiskovanih jeklih z visokim odstotkom karbidotvornih legirnih elementov nastopajo določene težave, ki močno zmanjšajo možnost določitve prave vsebnosti zaostalega avstenita. Poleg standardnih napak so se pojavile še napake zaradi delne koincidence karbidnih in martenzitnih oz. avstenitnih uklonskih linij ter visokega odstotka karbidne



Korelacija med magnetno meritvijo in kemijsko sestavo jekla Č.6780 (BRM-2)

faze. Kristalne rešetke — nastopajo tri kristalne vrste druga poleg druge — so močno napete in deformirane, kar se kaže v močno razširjeni in deformiranih uklonskih linijah. Tudi to znižuje natančnost meritev.

Zaradi naštetih vzrokov in zato, ker je težko določiti točen odstotek karbidov je natančnost meritev ± 1 % zaostalega avstenita.

Iz tabele 2 je razvidna povezava med toplotno obdelavo, trdoto, odstotkom zaostalega avstenita in magnetno meritvijo jekla Č.7680 (BRM-2). Meritve smo izvršili pred in po popuščanju. Več zaostalega avstenita in večji odklon na magnetoskopu dobimo pri višjih temperaturah kaljenja.

Po popuščanju dobimo pri varianti toplotne obdelave 1260 + 560°C večjo trdoto kot pri varianti 1170 + 560°C, kljub temu, da imamo pri prvi varianti višji odstotek zaostalega avstenita in večji odklon na magnetoskopu. To si pojasnimo s tem, da nam pri popuščanju prob, kaljenih pri temperaturi 1260°C, razpade pri popuščanju 4,8 % zaostalega avstenita, dočim pri probah kaljenih pri temperaturi 1170°C, razpade le 2,3 % zaostalega avstenita.

Zanima nas primerjava magnetne meritve z odstotkom zaostalega avstenita, ki je v tabeli 2 vpisana v obliki kvocienta. Razmerje med magnetno meritvijo in odstotkom avstenita se spreminja, kar pomeni, da med njima ni preproste linearne odvisnosti.

Zanimiva je ugotovitev, da se razlika med vsebnostjo zaostalega avstenita pred popuščanjem in po njem zelo močno zazna na magnetoskopu. Tako se na primer pri Č.7680 (BRM-2) (1170°C) pri spremembi vsebnosti zaostalega avstenita za 2,3 % spremeni odklon na magnetoskopu za 26 enot in hkrati, da se pri spremembi vsebnosti zaostalega avstenita za 50 %, tudi na magnetosko-

Vrsta	Tem	peratura	Trdota	% zaostalega	Magnetna	Mag. meritev	
jekla	kaljenja	popuščanja	HRc	avstenita	meritev	% avstenita	
č.7680	1170	-	63,5	4,4	46	10,5	
(BRM-2)	1260		64	7,2	48	6,7	
	1170	560	63	2,1 20	20	9,5	
	1260	560	64,5	2,4	24	10	

Tabeal 2

pu spremeni odklon za cca 50 % enot. To je zadosten dokaz, da z magnetno meritvijo toplotno obdelanega brzoreznega jekla, merimo relativno vsebnost zaostalega avstenita, ki vpliva na mehanske lastnosti tega jekla.

Zaključek

Pokazalo se je, da magnetoskop dobro registrira vsako spremembo vsebnosti zaostalega avstenita v brzoreznem jeklu. To pa še ni zadostni pogoj, za uporabo magnetoskopa v redni kontroli termične obdelave brzoreznih jekel, kajti na magnetno meritev vplivata močno še dva faktorja: kemijska sestava jekla in dimenzije preizkušanca. V primeru, da ta dva faktorja eleminiramo, bi bila redna uporaba magnetoskopa mogoča. Vpliv kemijske sestave odstranimo s tem, da merimo v eni seriji meritev le preizkušance z isto kemijsko sestavo, to je preizkušance izdelane iz iste šarže. Vpliv dimenzije lahko zmanjšamo z nižjimi frekvencami na magnetoskopu, primernejšo obliko tuljav in s čim enakomernejšimi dimenzijami preizkušancev. Po rešitvi teh problemov bi lahko kontrolirali trdoto brzoreznih jekel z magnetno meritvijo po popuščanju.

Literatura

- Segel J.: Diplomsko delo, Fakulteta za montanistiko, Ljubljana 1969
- Lindgren R.: "Measuring Retained Austenite by X Ray Techniques" — Metal Progres (Ohio) 87, No 4, 102–106, 1965
- M. Šipek: »K problemu ločenja feromagnetnih materialov po sestavi in trdoti s pomočjo neporušnih metod ter magnetne strukturne analize« — Železarski zbornik (Jesenice), 1969/1, str. 53—65
- J. Magušar: Rentgensko določevanje zaostalega avstenita v jeklih — Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, 1967
- B. Rode: »Analiza statistične porazdelitve na elektronskem računalniku« — Železarski zbornik (Jesenice), 1967/1, str. 189—205
- B. Rode: »Statistična analiza regresije z uporabo elektronskih računalnikov« — Zelezarski zbornik (Jesenice), 1961/3, str. 221—237

ZUSAMMENFASSUNG

Die magnetische Analyse wird in immer grösserem Ausmass für das Trennen der vermischten feromagnetischen Materialen, für die Kontrolle der Wärmebehandlung, und für das Entdecken der Oberflächenfehler angewendet. Im Artikel ist eine Untersuchung über die Anwendbarkeit der magnetischen Analyse für die Überprüfung der Härte und der Wärmebehandlung der Schnellarbeitsstähle beschrieben. Für die Datenbearbeitung sind mathematischstatistiche Methoden und eine Elektronenrechenmaschine angewendet worden.

Wenn bei der Untersuchung die chemische Zusammensetzung und die Probenanbessungen konstant gehalten werden, kann man mit der magnetischen Messung jede Anderung des Resaustenitgehaltes im Schnellarbeitsstahl registrieren. Es ist eine hohe Korrelation zwischen der magnetischen Messung und der Härte nach dem Anlassen festgestellt worden.

SUMMARY

Magnetic analysis is becoming important in separation of mixed magnetic materials, for the control of heat treatment, and for detection of surface defects. The investigation of usability of magnetic analysis for the control of hardness and of heat treatment of high-speed steels in described in the paper. Mathematical statistical analysis and computer were used in treatment of data obtained by measurements and investigations.

If chemical composition and dimensions of the test pieces are constant magnetic measurements can register any change of content of retained austenite in high-speed steel. High correlation between the magnetic measurement and hardness at annealing was determined.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магнитный анализ имеет уже широкое применение при отделеннии замешанных ферромагнитных материялов; также для контролья термо-обработки и для обнаруживания пороков на поверхности изделия.

В статье описаны исследования о применимости магнитнога анализа при проверки твёрдости и тепловой обработки быстрорежущей стали. Для обработки данных полученых при измерениях и исследований употребили математичеко-статический контроль и электронный счётчик,

В случаю, когда химический состав и размеры пробных образцов постоянные, можно с магнитным анализом заследить каждое изменение содержания заостаточнога аустенита в быстрорежущей стали. Установили высокую коррелационную связь между магнитным измерением и твёрдостью материяла после отпуска.