

Magnetografija v metalurški praksi

Članek obravnava magnetografski postopek kontrole jekla. Ta način služi predvsem za odkrivanje napak v površinskem sloju.

Opisan je princip metode s teoretičnimi osnovami, podane pa so tudi praktične izkušnje.

Studija je bila namenjena predvsem ugotavljanju uporabnosti magnetografskega postopka odkrivanja napak.

Magnetografski postopek je dokaj nov in le slabo poznan, saj so tudi podatki iz prakse dokaj skopi. Magnetografski postopek kontrole materiala, posebno gredic na površinske defekte in defekte, ki leže blizu površine, je prišel v Evropi prednekaj leti razvijati »Inštitut Dr. Förster« v Reutlingenu, razen tega pa še v SSSR. Prva naprave, ki so industrijsko izkoriščene, so pokazale veliko uporabnost metode z gotovimi prednostmi, ki jo odlikujejo pred vsemi drugimi metodami.

V maju 1965 je defektoskopski oddelk železarne Ravne pričel s serijo raziskav, da bi to metodo osvojili v lastnem kontrolnem procesu. Prvi poizkusi so bili izvedeni s televizijskim magnetoskopskim trakom, ki sicer nima nobene obrabne trdnosti, je pa zelo občutljiv in z njegovo pomočjo je bilo mogoče razviti potrebno elektroniko, ki spada k temu postopku, ter dognati najvažnejše parametre o občutljivosti in uporabnosti metode.

Ključni problem metode je magnetografski trak, ki mora poleg zadostne občutljivosti imeti še zadostno obrabno trdnost in fleksibilnost, da bi se lahko brez škode valil po razmeroma grobi površini gredice. Pri tem mora čim tesneje nalegati na površino, zapisana magnetska sled pa mora ostati poljubno dolgo časa shranjena v magnetnem sloju, ko pa zapis potuje mimo brisalne glave, mora biti zapis popolnoma izbrisan. Razen tega mora biti odporen proti prekrmljenju, to se pravi, da tudi najmočnejša magnetna polja nad napakami ne pustijo tako močnega zapisa, da bi ga izmenično polje brisalne glave ne izbrisalo. Končno ne sme biti trak preobčutljiv na prečna magnetna polja tam kjer ni napak, odnosno, kjer se polja iztekajo na robovih gredic. Magnetoskopski trak je pokazal sicer odlično občutljivost za male in srednje velike napake, pokazal je, da je malo občutljiv na prečna polja dokler ni premočno, pri močnejšem magnetenju pa je pobiral velik del prečnega polja na robovih, kar je povzročalo motnje pri analizi traku, predvsem pa so ga močna polja tako močno prekrmlila, da ga je bilo težavno popolnoma zbrisati. Napake, ki so ležale pod površino so

pustile na magnetoskopskem traku nesorazmerno slabšo sled — trak je bil torej slabo občutljiv za globoko ležeče napake, največja hiba pa je bila seveda v tem, da ni imel nobene obrabne odpornosti in je bil uporaben res samo za laboratorijske namene.

Z nadaljnjimi raziskavami smo prišli do industrijsko uporabnega traku. Za občutljivost traku je poleg pravilnega magnetnega prahu odgovorna še debelina zrn prahu in debelina nanese plasti.

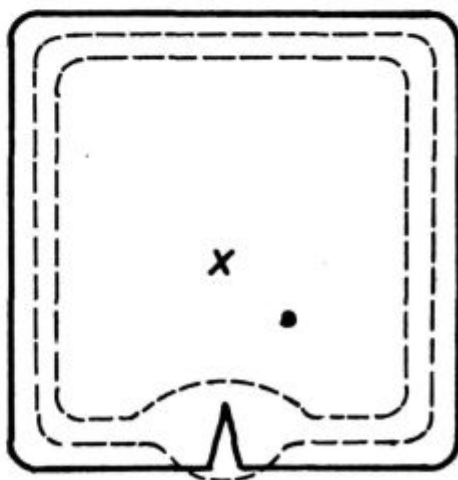
Poizkusi so pokazali, da lahko občutljivost traku močno zvečamo z gradacijo prahu, toda trak postaja pretirano občutljiv na prečna magnetna polja — dobiva »prečne lastnosti« ali »ozadje«. Pretirana finoizgradnja pa zmanjšuje občutljivost traku. Za globinsko občutljivost traku je predvsem odgovorna debelina plasti, dočim na sposobnost brisanja predvsem vpliva kemijska sestava prahu. S primernim kompromisom moremo izdelati trak s poljubnimi magnetnimi lastnostmi n. pr. odkrivanje finih napak ali pa pretežno grobih napak s povečano globinsko občutljivostjo itd.

Na občutljivost in praktično uporabnost metode pa v veliki meri poleg kvalitete magnetografskega traku vplivajo še: način magnetenja, občutljivost sonde, hitrost sondiranja.

Princip metode

Ako skozi vzorec n. pr. gredico v vzdolžni smeri pustimo teči električni tok, se okoli nje opredeli cirkularno magnetno polje.

Slika 1 kaže kako na mestu razpoke (vzdolžne) magnetne silnice izstopijo. Jakost magnetnega



Slika 1

Shematsko prikazan potek magnetnih silnic nad razpoko. Silnice nad razpoko izstopajo in ponazorijo napako

polja znaša:

$$H = - \frac{0,2 \cdot J (A)}{r (cm)} \quad (Oe) \quad (1)$$

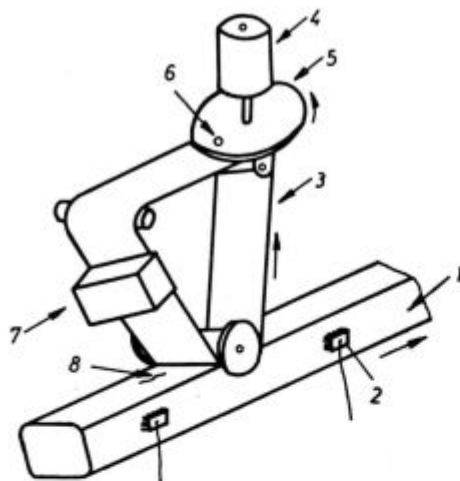
J ... jakost el. toka

r ... polmer

Že iz enačbe (1) vidimo, da bo na robovih gredice, kjer je r manjši, jakost polja večja, torej bodo napake na robovih slabše odkrite.

Dobro znana metoda ferofluksa omogoča na mestih, kjer magnetne silnice izstopajo, napraviti defekt viden na ta način, da površino gredice potresemo z magnetnim prahom ali pa polijemo z magnetnim oljem. Tako nam koncentracija magnetnega prahu na mestu defekta ponazori defekt v pretirani obliki, ne pove pa nam mnogo kako globoko defekt leži, niti kake oblike je pod vidno površino, predvsem pa ne omogoča nikakršne avtomatizacije postopka.

Magnetografska metoda se od metode ferofluksa razlikuje po tem, da namesto magnetnega prahu ali olja naredi magnetni zapis tako, da položimo na magnetizirano površino gredice magnetografski trak, ki na mestu napake registrira izstopajoče magnetne silnice ne samo po obliki v ravnini, temveč tudi po jakosti, tako vsebuje sedaj še nevidni zapis na magnetskem traku poleg lokacije še podatek o globini ali resnosti odkrite napake. Magnetografski trak moramo polagati na površino in ga potem analizirati ali pa ga zlepimo v brezkončni trak, ki se vali po površini gredice, potuje mimo naprave za analizo magnetnega zapisa (scanning) in dalje mimo glave za brisanje in končno zopet na površino gredice prazen in pripravljen za nov zapis — slika 2.



Slika 2

Shematsko prikazan princip sondiranja gredice na vzdolžne razpoke z magnetografskim trakom

1. gredica,
2. tokovne ščetke,
3. magnetografski trak,
4. motor,
5. scanning plošča za otipavanje,
6. sonda,
7. brisalna glava,
8. vzdolžne razpoke.

Odkrivanje magnetnega zapisa na traku

Magnetno sled na traku bi lahko odkrili po obliki tako, da bi sedaj trak, ki predstavlja negativ vzorca, posuli z magnetnim prahom, ki je zadosti občutljiv za razmeroma slaba magnetna polja, ki so ostala registrirana na magnetografskem traku. Tega načina se nikoli ne poslužimo, temveč »otipamo« trak prečno v pasovih z magnetografsko sondo, ki je v principu podobna magnetofonski reprodukciji glavi, vendar se od nje razlikuje po frekvenčni karakteristiki in po tem, da odkriva razmeroma široke magnetne sledi. »Scanning glava« se vrti z enakomerno hitrostjo tik nad površino magnetografskega traku in na mestu, kjer naleti na magnetno sled, odda električni inducirani signal, ki je po obliki in velikosti odvisen od hitrosti vrtenja sonde in od oblike magnetnega zapisa, ter oddaljenosti od površine traku. Praktično moramo poskrbeti, da je hitrost vrtenja sonde in oddaljenost od površine traku vedno enaka, tako so meritve odvisne le še od samega magnetnega zapisa. Ako dosežemo še, da je jakost magnetnega polja konstantna, potem je detektirani signal vse bolj verna slika defekta. Scanning glava ne sme biti občutljiva za zunanja stresana polja, zato mora biti primerno magnetno oklopljena, razen tega mora biti primerno globinsko občutljiva. To občutljivost dosežemo z regulacijo zračne špranje v glavi. Zelo ozka zračna špranja, kot jo srečamo pri magnetofonski glavi, je slabo uporabna, saj pri malo večji oddaljenosti od površine traku močno duši signal, s tem pa je treba pri magnetografskem postopku računati, prav tako z učinkom širokih zapisov. Ozka špranja prenaša le fine zapise kot jih srečamo pri magnetofonu, ne pa širokih zapisov, kot jih najdemo pri magnetografiji n. pr. zapis prevajane preplate more biti širok tudi po več mm.

Frekvenčni spekter, katerega sonda prenaša, je podrejenega pomena, vendar se je treba izogibati preozkem pasu, saj srečujemo v magnetografiji dokaj različne frekvence n. pr. na gredici širine 100 mm najdemo razpoko širine 0,1 mm (fine razpoke pa gredo še dosti nižje), vendar je magnetni zapis širši kot sama razpoka, saj silnice silijo iz vzorca v okolici razpoke.

Ako uporabimo scanning s sinhronim številom obratov (kar je najbolj praktično) in napravimo premer plošče D tako, da širina traku zaseže 1/5 obsega ($D \cdot \pi = \pi \cdot 160 = 500 \text{ mm}$, $D = 160 \text{ mm}$), potem bo frekvenčni pas pri širini zapisa 0,1 mm segel do 250 KHz. Iz tega primera vidimo, da je za verno odkrivanje finih razpok dokaj važna frekvenčna karakteristika sonde in ojačevalca. V praksi pa se tako visokim zahtevam odrečemo, ker take osamljene napake le redko nastopijo, v večini slučajev so napake grupirane in tako pride do prekritja polj in do deformacije ter interferenc pri odkrivanju, kar zmanjša vrednost širokopasovnega detektorja in pravzaprav razvleče resultantni signal v nižja frekvenčna področja, predvsem še, ako ležijo defekti globlje pod površino in tako dajo razširjene zapise.

Prenos električnega signala

Najenostavnejši prenos električnega signala iz sonde, ki se vrti, je preko drsnih obročev. Ta način direktno uporabljen, pa ima veliko nevšečnost, na drsni površini med obročki in ščetko namreč nastopajo spremenljivi prehodni upori, ako se nabere med obe ploskvi še prah, nastopijo še dodatne motnje kot termo in galvanski toki zaradi končne dimenzije obročkov pri mičnih magnetnih poljih more priti do induciranih parazitnih signalov — vse skupaj imenujemo šum, ki more biti večji kot je koristni merjeni signal. Red velikosti merjenega signala je med 1 do 50 mV, v tem področju pa se gibljejo tudi »šumi«.

Bolj ugoden je sistem modulacije nosilnega oscilatorja in brezkontaktni prenos merjenega signala na nadaljni sistem. Ta način pa je bolj kompliciran in tudi dražji, zato smo mi uporabili kombinacijo. Signal iz sonde se pojača v vrtečem se tranzistorskem ojačevalcu za približno $500\times$ in šele potem ga vodimo na drsne obročke. Tako dosežemo zelo ugodno razmerje koristni signal : šum, $500 : 1$ in šumi praktično niso več opazni.

Druga vrsta šumov, katerih pa se je težje znebiti, pa so šumi sonde, posebno ako je sonda slabo oklopljena ali pa šumi slabo izglajenega magnetilnega toka, ako delamo z brezkončnim trakom. Zato moramo skrbeti, da je magnetilni tok čimbolj usmerjen in sonda dobro oklopljena. Končno imamo šume iz traka. Ti šumi pa so odvisni od vrste traku, načina magnetenja in od homogenosti preiskovane gredice.

Mnogo bolj elegantna je seveda za otipavanje magnetnega zapisa Försterjeva sonda, ki je napajana z visoko osnovno frekvenco od nekaj KHz do nekaj MHz. Enosmerno polje, ki se superponira izmeničnemu, močno popači osnovno sinusoido tako, da lahko kot merjeno količino uporabimo drugo harmonično, katero izfiltriramo, pri tem ko osnovno v ojačevalniku čim bolj dušimo. Razmerje med osnovno in drugo harmonično naj bo vsaj $1 : 500$. Taka sonda je zelo malega premera (pod 1 mm). Zaradi visoke napajalne frekvence moremo sondo v primarju napajati preko vrtečih se transformatorjev, prav tako prenašamo merilni signal druge harmonične preko enakega sistema. Z mikrotranzistorji je mogoče graditi kompletno grupo ojačevalnika in filtrov direktno k sondi, tako da na transformator prenašamo že čist in pojačan signal druge harmonike. Zaradi pomanjkanja primerne materiala za jedra Försterjeve sonde smo pri naših poizkusih ostali pri induktivni sondi. Za otipavanje magnetne sledi bi mogli uporabiti tudi hallovo sondo, ki je nevisna od hitrosti otipavanja (prav tako kot Försterjeva), vendar zaradi slabe občutljivosti in enosmernega izhoda ni primerna za to vrsto otipavanja in ne nudi nobene prednosti pred induktivno sondo.

Način magnetenja gredice

Gredice, ki so iz trdomagnetnega jekla (jekla z visokim % C ali legirana), moremo magnetiti

z enosmernimi impulzi zadostne jakosti n.pr. iz izpraznjenjem kondenzatorske baterije. Gredica se po par impulzih namagnetni, tako da zadrži zadosti remanentnega magnetizma, da lahko napake naknadno posnamemo na trak. Pri večini jekel pa to ni mogoče in moramo magnetiti s stalnim enosmernim tokom. Tako magnetenje predstavlja gotov problem, saj moramo imeti na razpolago izvor enosmernega toka jakosti do 2000 A, n.pr. za gredico premer 150 kv., ker smo s poizkusom ugotovili, da naj znaša jakost polja med 10 in 20 Oe.

Napetosti so zelo nizke in zavisne od dolžine gredice, odnosno odseka, katerega magnetimo in od prehodnega upora kontaktov. Dobro so se izkazali bronasti kontakti, tako da je padec napetosti na vzorcu na njih max. 1 V, na gredici pa tudi 0,5 do 1 V. Magnetilni tok za kontinuirni postopek mora biti čimbolj uglajen, sicer dobimo močan šum v detektorskem delu naprave.

Uporabili smo Graetzov usmernik, priključen na trafo 6 V/2000 A. Idealni izvori bi bili unipolarni generatorji brez vsake izmenične komponente. Jakost magnetilnega toka reguliramo na primarni strani transformatorja. Jakost magnetilnega toka moramo najti s poizkusom in je zavisna od premera gredice, prevodnosti gredice, od velikosti napak in kvalitete traku.

Za orientacijo nam lahko služi podatek $H = 10$ do 20 Oe.

Ako je polje prešibko, se napake slabo odkrivajo, ako je premočno, pa dobimo močno ozadje, v posebno neugodnih slučajih celo motnje zaradi geometrije površine in zaradi močnih karbidnih segregacij v gredici, predvsem pri trdih jeklih. Razen tega močno tangencialno polje more popolnoma izbrisati magnetni zapis napake posebno pri trakovih z ozko histerezo zanko.

Predelava merjenega signala in možnosti avtomatizacije postopka

Detektirani signal, ki naj bi bil merilo za odkriti defekt v gredici, je dejansko posredno merilo in je tembolj objektivno podatek čim več spremenljivih, ki vplivajo nanj, uspemo spraviti med konstante. Ta električni impulz ali serija impulzov, katero smo dobili iz ščetk na sistemu ojačevalca — drsni obroč, moramo primerno ojačati in ga predelati v uporabno obliko. Izhodni impulz je odvisen od vrste ojačevalca med 0,1 do 1 V. Da bi ga prikazali na katodnem osciloskopu, ga moramo primerno ojačati — ojačevalec je običajno že vgrajen v katodnem oscilografu.

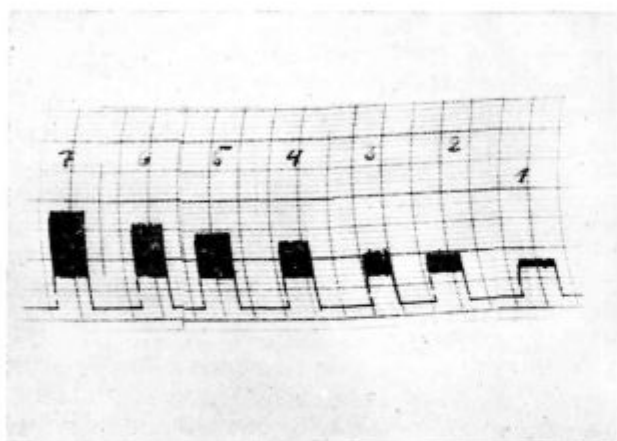
Za sinhronizacijo uporabimo običajno sinhronizacijski signal, katerega moremo dobiti na najrazličnejše načine iz scanning sistema n.pr. induktivno, fotoelektrično itd. Tako dosežemo, da slika na zaslonu miruje in jo raztegnemo čez ves ekran t.j. širina ekrana je širina traku. Z opazovanjem ekrana na K.O. moremo razbrati položaj, število in velikost defektov, ki se pojavljajo po vsej širini gredice. Običajno pa se ne zadovoljimo samo

z opazovanjem ekrana, temveč želimo odkriti signal registrirati na trak, to pa le v slučaju individualne analize posameznih posnetkov n. pr. v svrhu študija metode, dočim za praktično industrijsko sondažo običajno izberemo direktno markiranje defektov na površino gredice ali pa štetje napak po dolžini, širini in velikosti.

Registracija je mogoča na več načinov. Najbolj verno sliko razporeditve in velikosti napak nam da katodni oscilograf, ki analizira napake tudi po širini traku, lahko imenujemo ta zapis B-slika, dočim nam registrator da le zapis rezultante vseh napak, pri enem obhodu sonde imenujemo ta zapis A-slika.

Ako bi ekran katodnega oscilografa kontinuirno snemali po dolžini gredice, bi dobili C-sliko. Tak zapis je drag in kompliciran za interpretacijo, zato se običajno zadovoljimo z A-sliko ali pa z več A-slikami, tako da širino traku elektronsko razdelimo na več kanalov in vsak kanal posebej registriramo z več kanalskim registratorjem.

Izbor registratorja z ozirom na njegovo frekvenčno zmogljivost moremo oceniti z dveh gledišč. Verno prenaša zapis le visokofrekvenčni registrator. Na prejšnjem primeru smo videli, da naj bi obsegal področje več sto kilohertzov. Tak registrator je edino mogoče realizirati s projekcijskimi katodnimi cevmi. Z ozirom na visoko ceno pa nam tak registrator da dokaj malo podatkov, ki bi opravičili njegovo nabavo. A zapis bi v takem slučaju morali izvajati z velikimi pomiki traku, kar spet nima smisla, ako pa je pomik traku majhen, pa visokofrekvenčni zapis izgubi svoj smisel. V tem slučaju je primernejše uporabiti nizkofrekvenčni registrator (ca. 20 Hz), ki deloma integrira zapis. V ta namen vgradimo še visokofrekvenčni filter in sploh podvzamemo mere, da signal čimbolj raztegemo. Pri takem zapisu se moramo zavedati, da predstavlja rezultanto signalov in ni verni odraz višine enega samega ozkega signala.



Slika 3

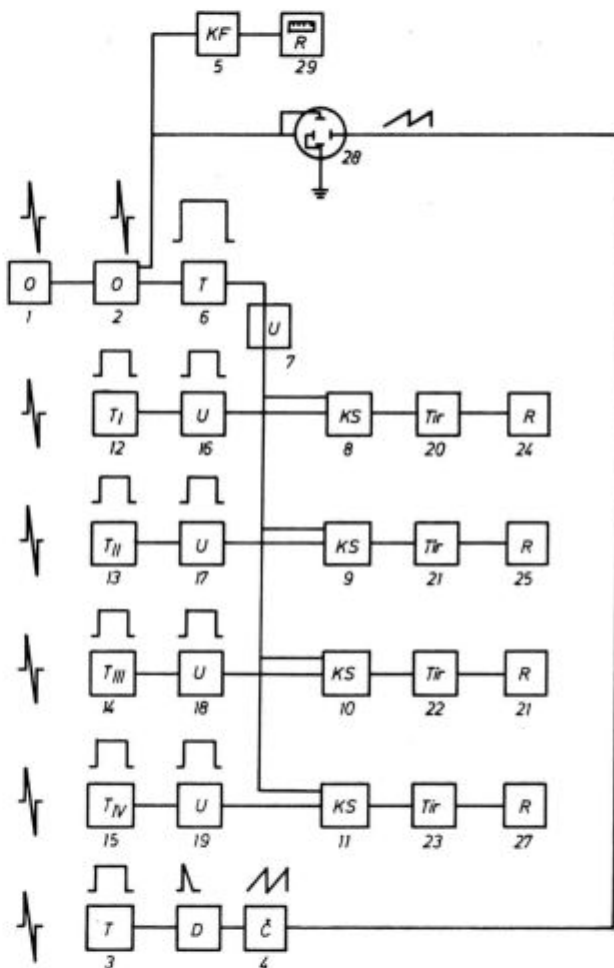
Zapis na registratorju na umetnih napakah globine 0,5 mm

1 — osamljen signal,

2 — 7 zapis, ako je napak več (2 do 7).

Na sliki 3 vidimo primer zapisa osamljenega signala (1) in grupe signalov (2—7), ki imajo vsak zase manjšo amplitudo pa nastopijo z enako višino zapisa. Tak način registracije tudi želimo, ker običajno ni interesanten en sam defekt na kratki dolžini, temveč vsota grupe, ki predstavlja »kvaliteto gredice«.

Za direktno markiranje napak na gredico ali za pogon elektronskih števecv moramo signal primerno pripraviti t. j. dati mu moramo tako obliko, da sigurno odpira servomehanizme. Del signala peljemo na šmitov triger, ki nam da pravokotni signal. Tega moremo uporabiti sedaj z ali brez zakasnitve za odpiranje monovibratorja in dalje preko koincidenčnih stopenj za aktiviranje relejnih stopenj ali števecv.



Slika 4

Shematski prikaz elektronskih grup 4-kanalne naprave za popolno kontrolo gredic na vseh štirih ploskvah

Na sliki 4 je prikazana blok shema 4-kanalne sondažne naprave s pripadajočo impulzno shemo. Izvedba more biti v cevni ali tranzistorski tehniki, ki je bolj ekonomična in stabilna.

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | — vrteči tranzistorski ojačevalec |
| 2 | — končni ojačevalec |
| 3 | — triger za časovno bazo |

- 4 — časovno prožena baza
- 5 — katodni ojačevalec in cevni volt-meter
- 6 — trigger za merjeni signal
- 7 — monovibrator za merjeni signal
- 8, 9, 10, 11 — koincidenčne stopnje
- 12, 13, 14, 15 — triggerji za sinhronizacijo kanalov
- 16, 17, 18, 19 — monovibratorji za sinhronizacijo kanalov
- 20, 21, 22, 23 — tiratronske stopnje za direktno markiranje
- 24, 25, 26, 27 — relejne stopnje za direktno markiranje
- 28 — katodni oscilograf
- 29 — registrator

Opis blok sheme

Merjeni signal je pojačan v vrtečem ojačevalcu 1 in nato v stabilnem ojačevalcu 2, ter prikazan na katodnem oscilografu 28.

Za sinhronizacijo služi sinhronizacijski signal, ki se formira v triggerju 3 v pravokotni impulz in proži časovno bazo 4, ki daje žagasto napetost za horizontalni premik elektronskega žarka v katodni cevi. Del signala vodimo preko katodne stopnje 5 in cevnega voltmetra v registrator 29. Drugi del signala uporabimo za direktno markiranje defektov na površini gredice oziroma za štetje napak. Signal formiramo v triggerju 6 in v monovibratorju 7, ter ga vodimo na vse koincidenčne stopnje 8 do 11. Na drugi vhod koincidenčnih stopenj peljemo pravokotni signal, katerega dolžino določimo v posameznih monovibratorjih 16 do 19. Te monovibratorje krmilijo sinhronizacijski signali, formirani v triggerjih 12 do 15. Širino pravokotnega impulza v posameznem monovibratorju nastavimo na 1/4 širine traku. Merjeni signal prepušča koincidenčna stopnja le v času, ko je na drugem vhodu sinhronizacijski signal. Če sta prisotna oba merjeni in sinhronizacijski signal, se aktivirajo tiratronske stopnje 20 do 23 in relejne stopnje 24 do 27.

Občutljivost nastavimo na triggerju 6, tako moremo s štirimi elektropnevmatskimi pištolami direktno markirati napake na površino gredice selektivno po širini gredice. Število kanalov je seveda lahko tudi večje ali manjše, če pa pomislimo, da je za industrijsko kontrolo treba istočasno sondirati gredice s štirih strani, ki ima npr. vsaka po 4 kanale, vidimo, da hitro narašča število potrebnih elektronskih enot in s tem cena naprave.

Avtomatizacija postopka lahko seveda krene v različne smeri npr. statistična analiza kvalitete se more dokaj elegantno izvajati s selektivnim štetjem napak po velikosti in porazdelitvi z elektromehanskimi števci. Končni podatek je kvaliteto število.

Zopet drugi projekti vključujejo avtomatsko krmiljenje brusov ali avtogenih pištol za istočasno odstranjevanje najdenih napak.

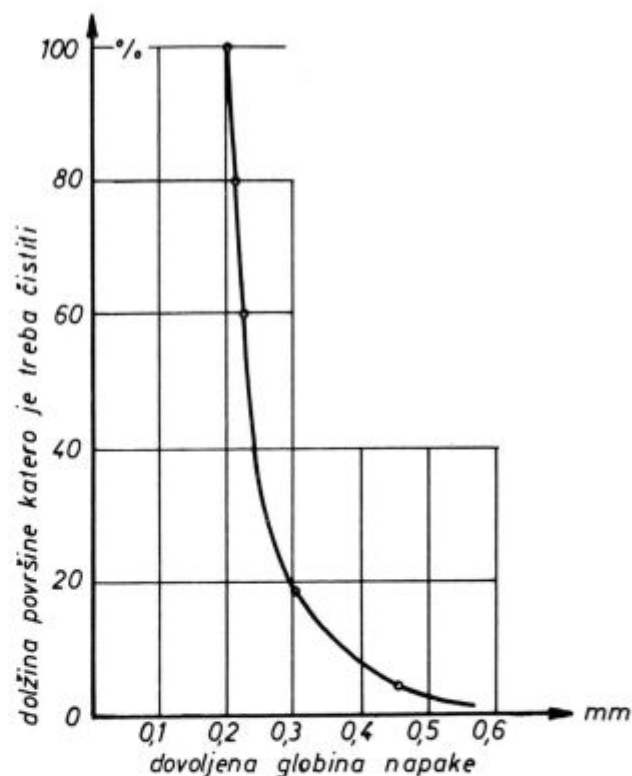
Ocena uporabnosti metode

Na seriji poskusov smo ugotavljali občutljivost metode, tako da smo individualno snemali posamezne gredice, napravili zapis in na defektnih mestih gredice rezali, ter metalografsko kontrolirali.

Občutljivost postopka ima svoje meje na meji šumov, ki so lahko prav različnega izvora kot smo prej prikazali. Izkazalo se je, da lahko brez težav registriramo površinske napake globine nad 0,2 mm, ki pa so za uporabnost gredice nepomembni, saj je skoro pri vsakem naknadnem ogrevanju polfabrikata odgorek večji. Po statistiki, katero je prikazal dr. Förster v svojih raziskavah (slika 5) moremo videti, da je potrebna površina čiščenja gredice padla od 100 % pri globini defekta 0,2 mm na 5 % pri globini 0,45 mm. Napake globlje od 1,5 do 2 mm se pokažejo praktično z istim signalom kot napake blizu te meje. Ta nedostatek za prakso niti ni važen, kajti gredica, ki ima razpoko globljo od 2 mm itak ni uporabna brez čiščenja.

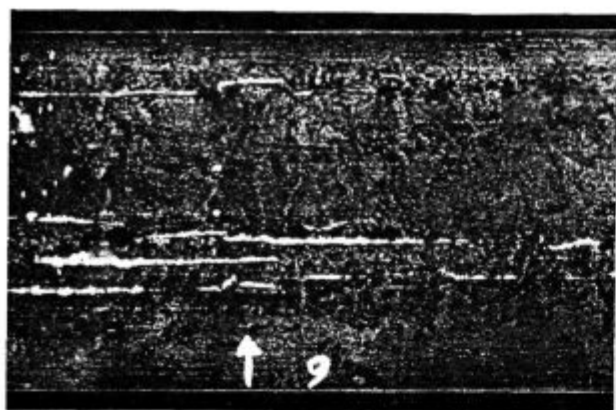
Bolj delikatno je vprašanje globinske občutljivosti metode. Z umetnimi napakami $\varnothing$ 1,5 mm smo uspeli dobiti sliko magnetske sledi z magnetnim prahom do globine 4 mm, dočim smo isto napako zabeležili s trakom na globini 20 mm. Predpogoj je zadostno magnetenje.

Shema, prikazana na sliki 4, ni popolna in je za prakso pomanjkljiva iz sledečih razlogov:

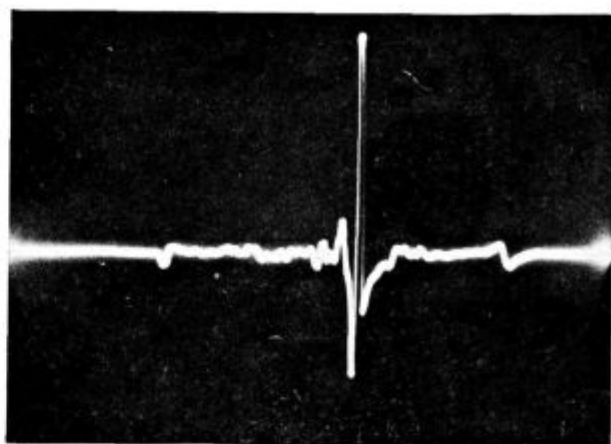


Slika 5

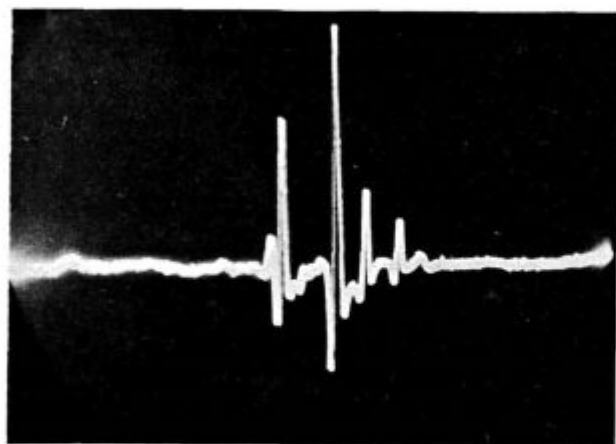
Praktično dognan prikaz, kolikšna je površina gredice, ki jo moramo čistiti, ako toleriramo večje globine razpok. 100 % je pri globini 0,2 mm



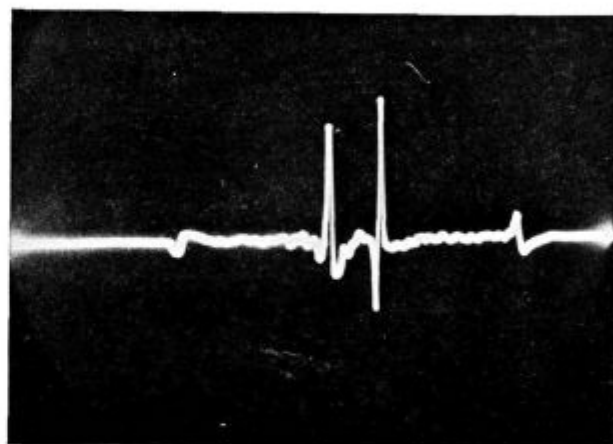
Slika 6 a
Magnetofluks odtis s prahom na gredici



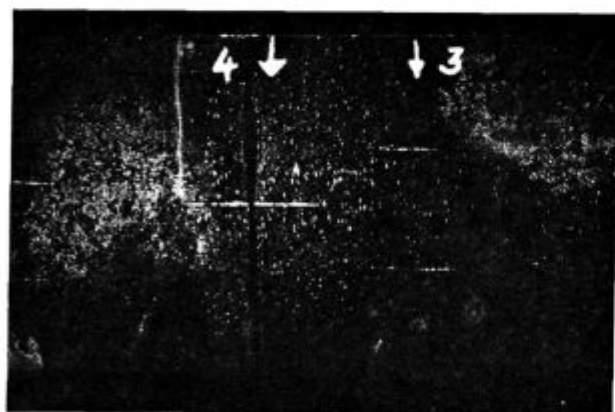
Slika 6 d
Magnetografski posnetek na preseku 4 v sl. 6 c



Slika 6 b
Magnetografski posnetek na preseku 9, vidne so prve tri razpoke, tretja je največja, četrta pa zopet manjša, kar pa na ferofluks posnetku ni jasno vidno



Slika 6 e
Magnetografski posnetek na preseku v sl. 6 c



Slika 6 c
Magnetofluks odtis na isti gredici na drugem mestu, na preseku 4 je gredica pozneje zabrušena
Globina razpoke je ca. 1 mm



Slika 6 f
Magnetografski posnetek pri visokih občutljivostih na palici Ø 25 mm s tremi razpokami
Globina razpok 0,4 do 0,6 mm

Jakost polja na robovih gredice upada do 1/3 jakosti na sredini gredice. Zato je potrebno krmiljeno balansirno pojačalo, ki v začetku pojača s polnim pojačanjem, proti sredini upade na 1/3 pojačanja in se na koncu zopet zveča na polno pojačanje. Ako imamo celo površino gredice razdeljeno na več kanalov n.pr. na 5, potem se moremo zadovoljiti s stopenjskim nastavljanjem pojačanja n. pr. 1 in 5 polno pojačanje, 2 in 4 = 70 %, tretji na sredini pa s 30 % pojačanja.

Pri velikih pojačanjih, kadar želimo odkrivati male defekte in kadar uporabljamo visoko magnetilno polje, nastopi močan signal na robovih traku. Ta signal bi prav tako sprožil elektroniko in ga moramo izbrisati, odnosno moramo krmiliti elektroniko, tako da postane občutljiva šele izven področja motečih signalov, torej med obema robovoma traku. To moremo doseči s krmiljenimi ojačevalniki ali s koincidenčnimi stopnjami, katerih širino lahko poljubno spreminjamo. Tak primer je prikazan na sliki 6 f. Poleg treh razpok v osrednjem delu gredice sta vidna tudi oba robova traku, katere moramo izolirati, tako da jih elektronsko porežemo.

Na sliki 6 so prikazani primeri detekcije naravnih napak in pripadajoči makro posnetki.

Prednost in hibe magnetografskega postopka pred ferofluks postopkom:

1. Je hiter in ekonomičen.
2. Daje podatek o globini defekta.
3. Dovoljuje avtomatizacijo kontrole in statistiko kvalitete.
4. Odkriva napake v globini in na temnih površinah.
5. Je malo zavisen od površine.
6. Je slabo uporaben na okroglih profilih zaradi težkega naleganja traku.
7. Terja čimbolj zglajen enosmerni magnetilni tok, dočim je pri običajni ferofluks metodi uporabno izmenično magnetenje.
8. Je neuporaben na neferomagnetnih materialih.

Ti prvi preizkusi magnetografije pri nas so pokazali veliko bodočnost postopka za kontrolo gredic, ki je bila vse do sedaj v veliki meri nerešen problem in bo verjetno instaliran v nekaterih naših železarnah.

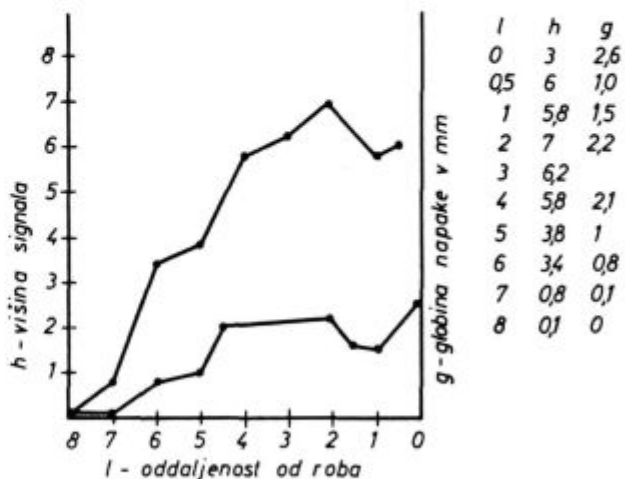
Vsekakor lahko uporabimo magnetografsko metodo tudi za kontrolo drugih polfabrikatov in fabrikatov n. pr. za kontrolo zvarov, ravno zaradi odlične globinske občutljivosti in male občutljivosti na neravno površino, nadalje za kontrolo ulitkov in pa na končnih izdelkih n.pr. kontrola strgarskih nožev.

Tak poizkus je bil napravljen v železarni Ravne na strgarskih nožih iz brzoreznega jekla. Po metodi ferofluksa, ki odkriva na trdo kaljenih in brušenih površinah tudi najmanjše rise, je bilo izločenih 10 nožev. Vseh deset je bilo ponovno kontroliranih na magnetografskem traku. Zaradi

velike trdote nožev moremo uporabiti impulzno namagnetenje, tako da preko serije nožev v vzdolžni smeri izpraznimo kondenzatorsko baterijo.

Vsled velike remanence napravimo magnetografski zapis šele po izvršenem magnetenju, kar nam da izredno čist zapis brez vsakega ozadja. Ta zapis na scanningu analiziramo in tako ločimo razpoke od plitvih.

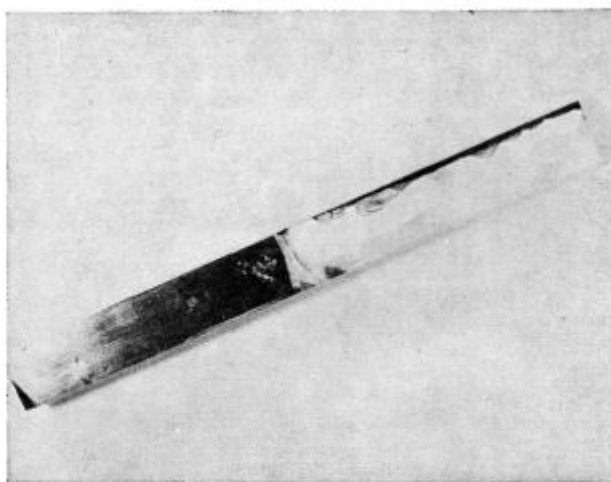
Na sliki 7 vidimo diagram globine razpoke po dolžini noža izmerjen iz preloma in iz oscilograma.



Slika 7
Diagram globine razpoke po dolžini noža

h ... višina merjenega signala na traku,
g ... dejanska globina razpoke v mm,
l ... oddaljenost od začetka razpoke.

Slika 8 kaže potek razpoke na prelomu noža. Podobno globljo razpoko je kazal še en strgarski nož. Vsi ostali pa so na scanningu dali tako šibke signale, da smo mogli smatrati, da so globine zanemarljivo majhne. Z zarezovanjem smo ugotovili, da je globina take razpoke daleč izpod



Slika 8
Prelom noža z napako po dolžini. Črna senca predstavlja potek razpoke

1/100 mm in je za praktično uporabo noža nenevarna. Kje so meje uporabnosti nekega artikla z manjšo napako je pač treba določiti s serijo poizkusov, magnetografija nam pokaže le približni podatek, ki je zdaleč bolj zanesljiv kot so podatki drugih metod neporušenega merjenja resnosti defekta.

Magnetografska kontrola zvarov na zvarjenih ceveh

Varjene cevi na avtomatu z debelinami stene 4 do 6 mm predstavljajo dokaj kompliciran problem za kontinuirno preiskavo zvara. Pri stiskanju raztaljenih robov nastane na notranji steni izrazita brada, dočim jo na zunanji površini nož sproti obrezuje.

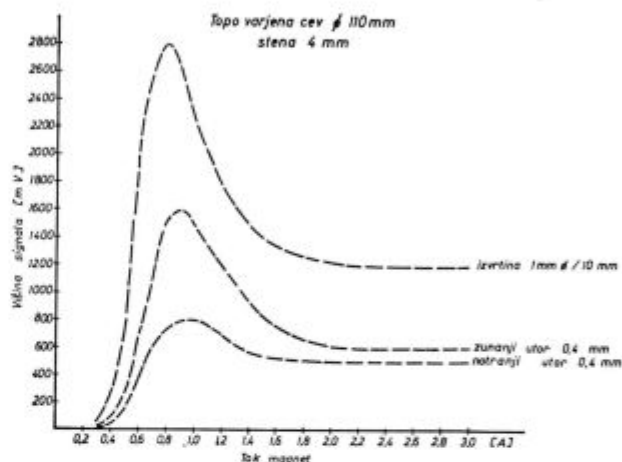
Običajno se v linijo vključi ferofluks, tako da cev potuje med poli elektromagneta, na površino pa se vsipa magnetni prah, ki se nakopiči na napaki. Taka sled pa je dobro vidna le na razpokah, ki pridejo na površino, ničesar pa ne pove o napakah v notranjosti zvara ali tistih, ki prodrejo na notranjo stran cevi.

Ultrazvočne metode so pri takih tenkih stenah z močnimi bradami neuporabne, ker nastopi odmev od brade, ki je običajno večji kot pa odmev od napake, ki jo še lahko toleriramo t. j. 10 % debeline stene.

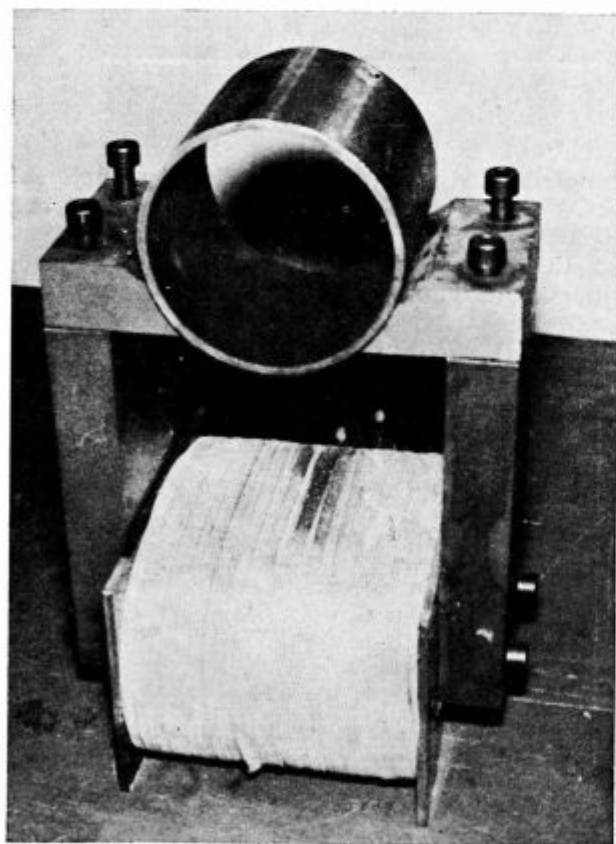
Poizkusi z magnetografijo so pokazali, da ta metoda pove mnogo več o napakah te vrste. Ne-

izogibna brada na notranji strani ne daje pretirano velik signal, pač pa eventuelne razpoke. Za poizkus smo vzeli varjeno cev $\varnothing$ 110 mm z debelino stene 4 mm. Na zunanji in notranji steni smo vrezali utor 0,4 mm t. j. 10 % debeline stene, ter za kontrolo še izvrtali izvrtino $\varnothing$ 1 mm. Tak testni komad smo postavili med magnetne pole kot je razvidno iz fotografije sl. 9, ter ga magnetili z enosmernim tokom. Na površino smo polagali magnetografske trakove in snemali velikost signala od vseh treh umetnih napak in pri tem spreminjali tok magnetenja.

Iz diagrama na sliki 10 je razvidno, da da večji signal zunanja zareza, manjši pa notranja zareza, seveda pa je signal od 1 mm izvrtine zdaleč največji, saj predstavlja zmanjšanje preseka stene za 25 %.



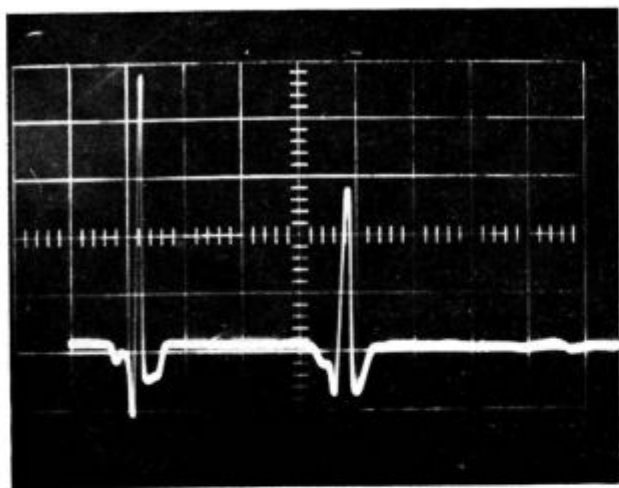
Slika 10
Odvisnost višine signala od jakosti magnetilnega toka



Slika 9
Magnetilni jarem, zvar je zgoraj

Iz diagramov lahko tudi posnamemo, da se signal povečuje do določene jakosti magnetilnega toka, ki je zavisna od geometrije vzorca in od vrste jekla, ter velikosti zračne špranje med vzorcem in polovimi čevlji. Pri našem poizkusu je znašala zračna špranja $2 \times 2,5$ mm in nazvečjo občutljivost smo dosegli pri 0,8 A. Pri večjih magnetnih poljih signal upada, saj prehaja material v zasičenje in relativna permeabilnost pada, dokler ne doseže nekega konstantnega iznosa, tam kjer preide krivulja v horizontalo. V našem primeru nad 1,8 A. Pri teh pogojih so razlike med velikostjo signala od zunanjega ali notranjega utora konstantne in eventuelno povečanje zračne špranje praktično ne vpliva na rezultat. Ako moremo zasigurati konstantno razdaljo zračne špranje je zaradi večje občutljivosti umestno uporabiti vrhnji del diagrama, ako pa geometrije ne moremo natančno držati, je bolj primerna desna stran krivulje, seveda s tem moramo računati na zmanjšano občutljivost.

V opisanem primeru je poljska jakost zaradi eksaktne geometrije valja povsod enaka in ni treba nobenih korekcij.



Slika 11
Magnetografski posnetek zunanjega utora (levo) in notranjega utora (desno). Globina 0,4 mm

Na sliki 11 je prikazan primer magnetografskega posnetka zunanjega utora (levo) in notranjega utora (desno) istočasno pri optimalnih pogojih magnetenja, zunanji signal je ca 100 % večji od notranjega.

Ako pogledamo sl. 11, vidimo, da se signal od zunanje in notranje zareze razlikuje tudi po širini. Ako ga opazujemo v ničelni črti, moremo izmeriti (pod povečavo) da zunanji traja ca. 0,2 msec, notranji pa cca. 0,3 msec (en delec znaša 10 msec). S primernimi filtri moremo pojačati samo ene vrste signale, tako moremo pri avtomatizaciji kontrole ločeno markirati zunanje in notranje razpoke do določenih mej, pri tem moramo seveda uporabljati dva merna kanala, enega z vgrajenim nizkofrekvenčnim, drugega brez ali z vgrajenim visokofrekvenčnim filtrom.

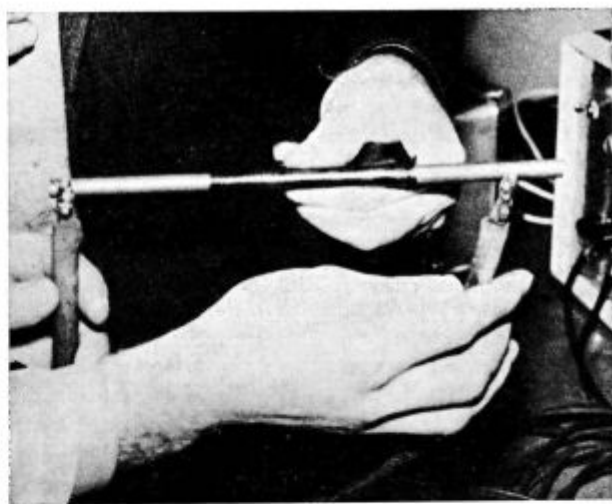
Avtomatizacija kontrole zvara je enaka kot pri gredicah, brezkončni trak se vali po zvaru, magnetno polje pa ustvarja jarem, ki objema cev. Magnetni zapis potuje mimo izpraševalne glave (scanning), ter nato mimo brisalne glave in pride prazen zopet na zvar. Pomanjkljivost tega sistema je v tem, da se na trak nabira nesnaga, ki sčasoma onemogoči snemanja in ga je treba sproti čistiti. Zato modernejšie naprave uvajajo direktno otipavanje zvara (brez dotika) s krožečimi ferosondami, v disk pa so istočasno vgrajene še visokofrekvenčne sonde, ki otipavajo površino, globinske defekte pa odkrivajo ferosonde. Taka naprava je poznana pod imenom »discomat« fa. dr. Förster, Reutlingen.

Magnetografska kontrola risov na žičnih kolobarjih

Vroče valjana žica običajno v dimenzijah od 6 do 20 mm $\varnothing$ in zvita v kolobarje je za kontrolo težko pristopna. Danes sicer obstajajo naprave za kontinuirno kontrolo vroče žice nad AC₃ t. j. v nemagnetnem stanju s tunelskimi tuljavami in visoko frekvenco (do 100 KHz), kjer teko vrtinčasti tokovi

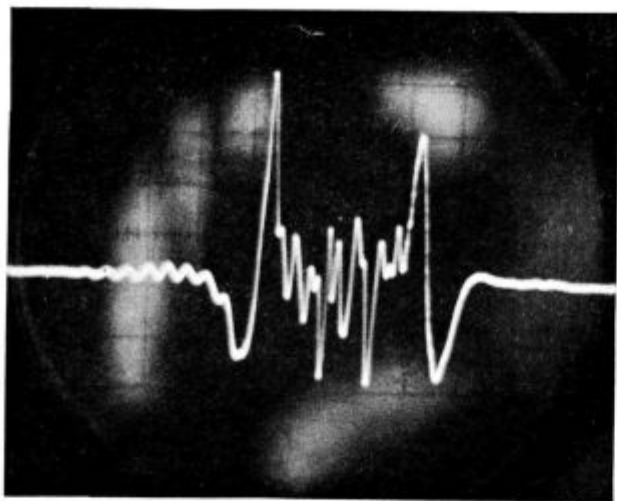
čisto na površini in na razpoki spremene impedančni signal. Ta kontrola je kontinuirna, vendar je registracija napak na žici komplicirana in se običajno reducira na digitalno štetje napak in ugotavljanje kvalitetnega faktorja žice. Teoretsko bi bila mogoča tudi registracija na magnetno žico ali trak in sinhrono odvijanje kolobarja in registrirnega traka. Vendar bi taka naprava ne opravičevala svoje cene, predvsem ne, ker ni rečeno, da so razpoke v vročem edine, lahko nastanejo namreč tudi na žici pri hlajenju, posebno še pri trdih kvalitetah. Zato v praksi rajši uporabimo orientacijsko metodo, da na vsakem koncu kolobarja odrežemo košček žice, ter jo lužimo ali fero-fluksamo. Tako sigurno najdemo površinske razpoke, ne vemo pa njih globine, niti ne kako daleč po kolobarju se raztezajo, iz sredine kolobarja pa jih ne smemo izrezovati.

V pomoč nam je magnetograf. Na poljubnem delu kolobarja ovijemo okoli žice magnetografski trak in na vsakem koncu nekaj cm oddaljeno od traka pritisnemo elektrode z močnim enosmernim tokom nizke napetosti ali napolnjeno kondenzatorsko baterijo visoke kapacitete n. pr. 1000 μ F/200 V (slika 12). Tokovni sunek, ki steče skozi odsek žice, jo cirkularno namagnetni in magnetna sled eventualnih razpok ostane na traku. Trak preiščemo na scanningu in najdemo napake, tako po številu in globini, ako smo na probnem vzorcu določili z zarezovanjem velikost signala v odvisnosti od globine napak.

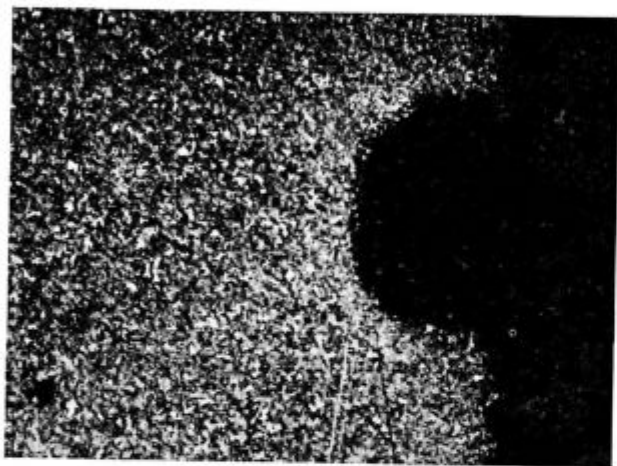


Slika 12
Snemanje na kolobarju, vidni obe elektrodi in magnetografski trak med njima.
Desno magnetilna naprava

Tak primer je prikazan na sliki 13. Na obeh konceh so vidni signali od robov traku, teh ne moremo preprečiti, vmes pa sta vidni dve razpoki. Z metalografskim pregledom smo ugotovili, da so globoke največ 0,2 mm (slika 14). Žica je lahko črna pa tudi tanka plast ška je ne moti.



Slika 13
Magnetografski posnetek razpok globine največ 0,2 mm
na VCV žici $\varnothing 7$



Slika 14
100 $\times$, nital
Vzorec: $\varnothing 7$ mm, kvalitete VCV-150, globina vzdolžne
razpoke 0,20 mm

Poizkusi so pokazali, da daje boljše rezultate impulzno magnetenje s praznjenjem kondenzatorske baterije, ker se podobno visokofrekvenčnemu toku koncentrirajo magnetne silnice na površini, ki nas najbolj zanima, uporabili pa smo manj občutljiv trak s široko histerezo zanko.

S primernimi filtri za nizke frekvence se iznebimo prevelike valovitosti signala in slika napak postane bolj izrazita.

Magnetografija za odkrivanje napak na nerjavečih žicah

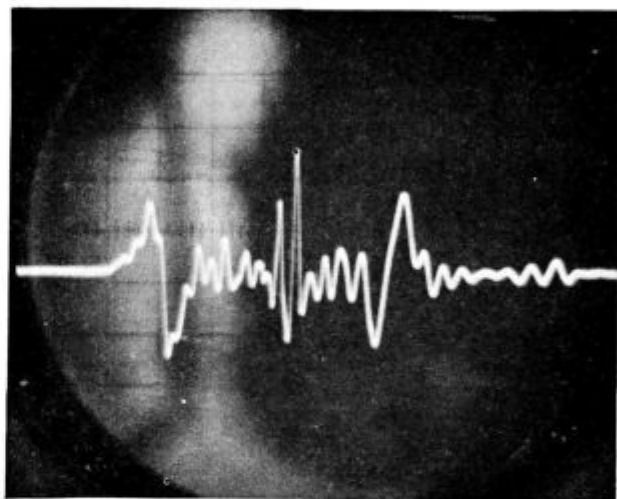
Magnetografija ima veliko pomanjkljivost kakor ferofluks, da je uporabna le na feromagnetnih materialih.

Vendar jo v določenih primerih lahko uporabimo tudi na prokronih, ker je površina običajno nekoliko feromagnetna zaradi različnih vzrokov n. pr. hladna deformacija. Ali pa ima v razpoki

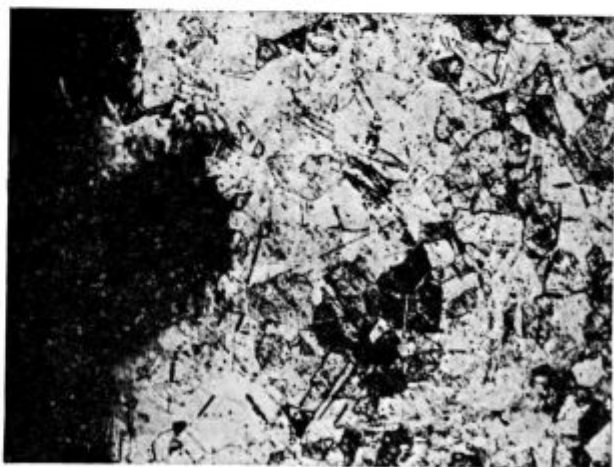
zavaljano škajo, ki je magnetna. Z impulznim magnetenjem dobimo koncentriran magnetni pretok na sicer slabo magnetni površini in tudi nad napakami izstopijo magnetne silnice. Seveda je signal v primeri s feromagnetnim materialom nižji, vendar v določenih primerih zadosten za odkrivanje razpok, kar bi bilo možno sicer le z luženjem.

Na sliki 15 je prikazan magnetografski posnetek prokron žice $\varnothing 9$, ki ima dve napaki globine max. 0,3 mm, tretja pa je nevidna, ker leži ravno nasprotni strani, zato moramo na istem mestu narediti dva posnetka, da bi tako sigurno zajeli celo površino. Na sliki 16 vidimo eno teh razpok pri 100 $\times$ povečavi.

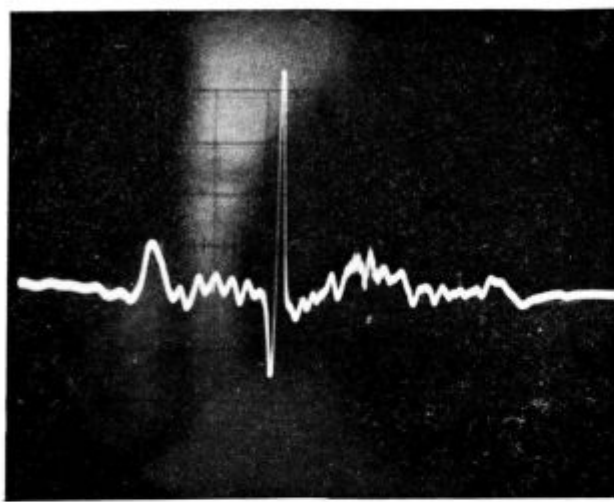
Na sliki 17 je prikazan še en magnetografski posnetek, žica $\varnothing 14$ z močno razpoko globine 1 mm. Pojačanje smo znižali za 5 $\times$, zato so tudi robovi traku malo vidni.



Slika 15
Magnetografski posnetek razpok globine 0,3 mm
na prokron žici $\varnothing 9$ mm



Slika 16
100 $\times$, zlatotopka
Vzorec: $\varnothing 9$ mm avstenitni prokron vzorec je imel tri
vzdolžne razpoke do globine 0,30 mm



Slika 17

Magnetografski posnetek razpoke 1 mm na žici $\varnothing$ 14 mm.
Pojačanje znižano na 5×

Magnetografijo lahko uporabimo še v številnih drugih slučajih n. pr. za preiskavo zvarov itd. Treba pa je poudariti, da so predstave o veliki globinski občutljivosti magnetografskega traku pretirane. Res da dosežemo globinsko občutljivost tudi do 20 mm, vendar se v signalu popolnoma izgubi podatek o obliki in velikosti zareze.

Vsled velikega magnetnega shunta v materialu nad napako, se signal močno splošči, čeprav ga z večjim pojačanjem še lahko vidimo, pa nam da premalo podatkov o napaki predvsem še, ako je voluminozna. Lahko zaključimo, da je magnetografija predvsem uporabna za odkrivanje površinskih napak in napak pod površino do ca. 5 mm. Njena velika prednost pred ferofluks metodo pa je kvantitativnost in možnost avtomatizacije postopka.

ZAKLJUČEK

V članku je opisana študija magnetografskega postopka odkrivanja napak v obliki risov in razpok na feromagnetnih materialih. Študija je imela predvsem namen ugotoviti uporabnost te metode na različnih metalurških proizvodih, čeprav naprave te vrste na trgu že obstojajo in so elektronsko dokaj popolne, vendar so cene tem napravam

tako visoke, da bi bila nabava na srečo preveč tvegana.

Magnetografsko metodo s priborom izdelano v laboratorijih Železarne Ravne smo preizkusili na gredicah, na palicah, na kaljenih strgarskih nožih, ter na žičnih kolobarjih ter varjenih ceveh.

Uspeh magnetografske metode je v veliki meri odvisen od pravilno izbranega polja magnetenja. Prenizko polje daje slab signal, previsoko polje pa prav tako potlači signal, močno pa poudari šume in nezaželjene robne efekte traku. Na gredicah je razen tega še potrebna kompenzacija pojačanja na obeh robovih, kjer opada poljska jakost na 1/3. Kvantitativna interpretacija rezultatov je mogoča na podlagi test vzorcev in kontroli jakosti magnetilnega polja na samem vzorcu (tangencialna komponenta polja).

Avtomatizacija kontrole na gredicah obstoji v avtomatskem markiranju napak na vse preiskovane površine istočasno in selektivno z večjim številom pištol ter avtomatsko sortiranje v dobre in defektne. Predpogoj je seveda peskana površina gredice in dovolj ravna gredica, ki je na koncih prirezana brez robov.

Prikazan je tudi primer magnetografije strgarskih nožev. Ker so ta jekla po kalenju magnetno trda, lahko uporabimo remanentni magnetizem. Kontrola strgarskih nožev po magnetografskem postopku sicer ne povečuje količine kontroliranih nožev, pač pa preprečuje, da bi izločali izdelke, ki imajo zanemarljivo plitve napake, kar je na ferofluksu težko ali nemogoče določiti, običajno je ferofluks preveč rigorozna metoda.

Magnetografija je omogočila kontinuirno kontrolo čelno zvarjenih cevi s tankimi stenami. Kontrola je lahko popolnoma avtomatizirana in omogoča direktno markiranje defektov na površino ločeno za notranje in zunanje, ako uporabimo še frekvenčno analizo signalov.

Magnetografska kontrola žičnih kolobarjev je edina skoraj kvantitativna metoda kontrole kolobarjev na kateremkoli mestu kolobarja. Pri tem se je pokazalo impulzno magnetenje kot bolj primerno, ker koncentrira magnetni fluks podobno kot skin efekt na površini, ki je najbolj interesantna.

S poizkusi smo ugotovili, da se tudi na avstinitnih materialih more uporabiti magnetografska kontrola v kolikor je površina delno feromagnetna.

ZUSAMMENFASSUNG

Es ist ein magnetographisches Verfahren für die zerstörungsfreie Prüfung der Stähle beschrieben. Dieses Verfahren dient vor allem für die Entdeckung der Fehler in der Oberflächenschicht.

Das Prinzip der Methode und die theoretischen Grund-

lagen sind beschrieben. Auch die praktischen Erfahrungen sind angegeben.

Diese Studie war vor allem für die Feststellung der Brauchbarkeit des magnetographischen Verfahrens für die Entdeckung der Fehler bestimmt.

SUMMARY

The paper deals with the magnetographical method of the steel control. This procedure is usable mainly for determination of defects in the surface layer.

The principle of this method is described together with theoretical basis, and also practical experiences are given.

The study had intention mainly to find the usability of the magnetographic procedure in discovering the defects.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен магнетографический метод качественного контроля стали. Этот метод применяется главным образом для обнаруживания пороков в поверхностном слое.

Описан принцип метода, его теоретические основания; поданы также результаты получены вследствие применения в практики.

Цель испытания была определить пригодность этого магнетографического метода при обнаруживанию пороков.