

Žilavost orodnega jekla kot statistično zanesljiva srednja vrednost

Sodobnejše metode vrednotenja zahtevajo pomoč statistike tudi pri tehnoloških preizkusih. Ker tehnika kljub vsej eksaktnosti ne more doseči popolne enakosti posameznih artiklov, so nujne umetno postavljene meje, znotraj katerih imamo izdelke za enake. Podobno kot pri izdelkih tolerance mer so pomembne pri rezultatih tehnoloških preizkusov poleg toleranc v dimenzijah prob še tolerance, znotraj katerih se lahko pojavljajo izračunane srednje vrednosti, da jih še nimamo za bistveno različne.

Z največjo praktično možno natančnostjo sta se določili udarni upogibni žilavosti dveh orodnih jekel za hladno delo. Natančnost preizkusov se primerja z natančnostjo drugih preizkusov orodnih jekel, da se ugotovi, koliko prednosti ima preizkušanje probe z novjšim tipom zarez glede na preizkuse prob brez zarez.

Za krhka orodna jekla, kaljiva v olju, je ugotovljeno izboljšanje natančnosti za 30 %, pri drugih jeklih pa je ugoden vpliv zarez večji.

Prikazan je postopek določanja takšnega števila paralelnih prob, ki natančno podaja vpliv nihanja standardnega odklona na spreminjanje računske srednje vrednosti.

Uvod

Razni podatki o žilavosti orodnih jekel govorijo, da je najprimernejši postopek določanja žilavosti isti kot za konstrukcijska jekla. To je v Evropi udarni upogibni preizkus na Charpy nihalu. Poleg številnih prednosti, ki jih ima, pa bremenijo to metodo določanja žilavosti orodnih jekel tudi šibke točke, kot so na primer veliko trosenje rezultatov, neenakomerni zlomi, premajhne žilavostne vrednosti, dobljene na probah z ostrimi zarezami, premalo podakov o žilavostnem obnašanju jekla. Zaradi enostavnosti metode in razlage rezultatov je ta poskusni način še zmerom najbolj v veljavi in se skuša odpraviti njegove šibke točke z vpeljavo prob, ki dajejo natančnejše rezultate in z uporabo elektronskih naprav ter napetostnih trakov, da se dobi več značilnih podatkov o žilavostnem obnašanju jekla.

Poskusili smo izboljšati natančnost preizkusa s tem, da smo namesto prob brez zarez in namesto prob z zarez DVM vpeljali probe z rahlo oslabitvijo preseka na mestu, kjer probo udari

nihalo. Statistično smo že poprej obravnavali natančnost preizkusov z novo zarez, vendar tiste ugotovitve niso sledile vsestranski analizi možnih napak in odstopanj od dejanske neznane srednje vrednosti. Poleg tega nismo imeli primerjalne raziskave o natančnosti preizkusov s probami različnih zarez. Zato se je planirala raziskava, da se ugotovi, ali dejansko dobimo znatno natančnejše žilavostne rezultate s probami, ki imajo blago zarez kot s probami brez zarez.

SPLOŠNO O STATISTIČNEM DOLOČANJU NATANČNOSTI MERJENJ

Podatke o natančnosti merjenja žilavosti lahko dobimo iz porazdelitve pogostnosti nastopanja posameznih žilavostnih vrednosti. Kot merilo odstopanja posameznih vrednosti od neke izračunane srednje vrednosti ima velik pomen standardni odklon. Ta določa znotraj krivulje, ki kaže pogostnost nastopanja posameznih vrednosti, področje, ki obsega 68,3 % vseh merjenih vrednosti. Tako govorimo o 68,3 % tolerančnem razponu ali o 68,3 % statistični varnosti, da leži neka vrednost v točno določenem območju blizu srednje vrednosti. Za celoto vrednosti, ki jih je neskončno, se pri tem predpostavlja normalna Gaussova porazdelitev, vendar veljajo izvajanja tudi tedaj, če odstopanja od normalne porazdelitve niso premočna. Iz končnega števila meritev izračunani standardni odklon s služi kot najboljši približek pravemu standardnemu odklonu osnovne celote. Ko je standardni odklon s enkrat določen, seje treba najprej vprašati, kolikšno zaupanje lahko imamo v njegovo vrednost. Zaupanje lahko označimo z gornjo in spodnjo mejo standardnega odklona. Obe meji povesta, da je za določeno izbrano statistično varnost npr. 99 % pravi standardni odklon σ manjši od ugotovljene zgornje meje s_o in večji od spodnje meje s_u . Obe meji sta tem bolj narezen, čim večjo statistično varnost zahtevamo in čim manjše je število N merjenih vrednosti. Izbira statistične varnosti je odvisna od tega, koliko dopuščamo napačen zaključek. Pri statistični varnosti 95 % obstaja tveganje 5 %, da bo pravi standardni odklon nad izračunano zgornjo ali pod izračunano spodnjo mejo standardnega odklona. Meje zaupanja se določijo na naslednji način:

$$s_u = x_u \cdot s \quad s_o = x_o \cdot s$$

Faktorja x_u in x_o sta funkciji obsega vzorca N in statistične varnosti, ter se dobata iz ustreznih tabel¹.

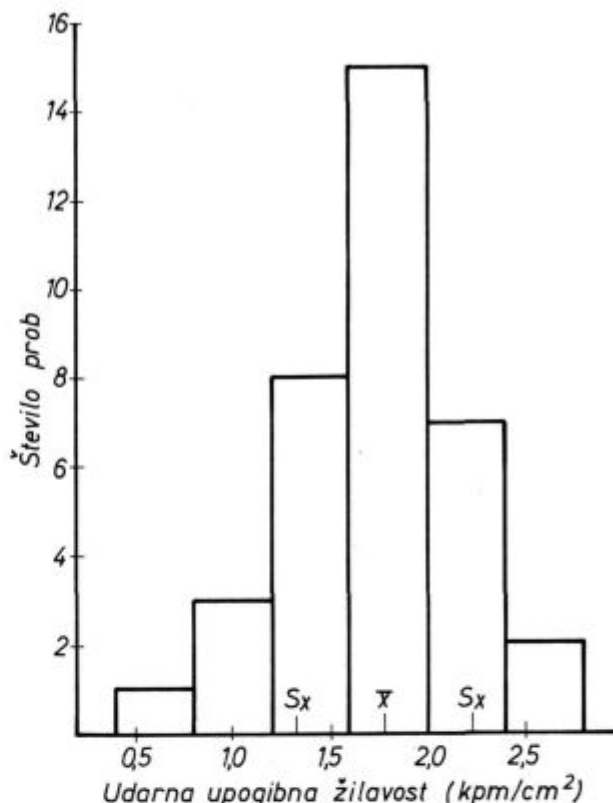
Posebej koristno vlogo igra izračunani standardni odklon pri določanju natančnosti srednje vrednosti izračunane na osnovi določenega števila N meritev. Za določeno statistično varnost se lahko določi območje zaupanja za resnično srednjo vrednost, ki je ne poznamo same na sebi, temveč samo po njeni oceni iz končnega števila paralelek. To območje je tem ožje, čim večje je število N paralelnih prob in čim manjši je standardni odklon s . Ustrezna formula se glasi:

$$x_{o,u} = \bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{N}}$$

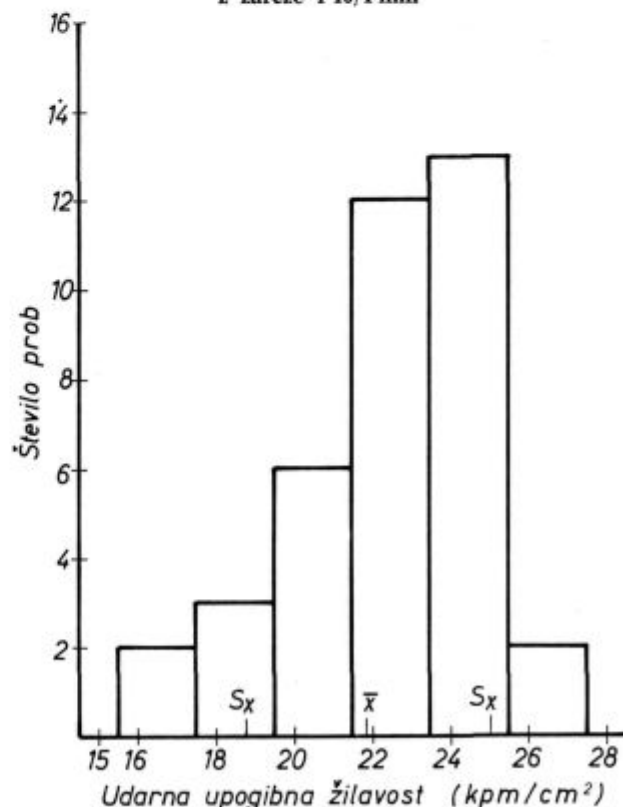
Pri tem je t faktor, odvisen od števila N paralelnih prob (vzorca) in od statistične varnosti. Ima tudi to vlogo, da poravna nenatančnost standardnega odklona s . Z izračunom meje zaupanja za standardni odklon se za določeno statistično varnost dobi še popolnejša podoba o natančnosti posamezne srednje vrednosti. Tako razširimo območje, v katerem z določeno verjetnostjo lahko pričakujemo pravo srednjo vrednost.

STATISTIČNO IZVREDNOTENJE UDARNIH UPOGIBNIH PREIZKUSOV NA JEKLIH MERILO (Č. 3840) IN OSIČRO 2 (Č. 6443)

Za primerjavo z rezultati preizkusov na žilavostnih probah brez zarez se statistično podajajo zanesljivosti in natančnosti vrednosti, ki se dobijo z žilavostnim preizkusom prob z milo zarezo. Sliki 1 in 2 kažeta trosenje posameznih vrednosti pri 40 (oziroma 36) paralelnih probah. Razvidna je porazdelitev pogostnosti nastopanja posameznih žilavostnih vrednosti. Žilavost je merjena na probah $10 \times 10 \times 55$ mm z zarezo globine 1 mm in polmera zaokrožitve 10 mm. Preizkušalo se je pri sobni temperaturi. Probe iz jekla merilo (Č. 3840) so se kalile s 780°C v olju in nato popustile na 180°C . Od šestintrideset žilavostnih vrednosti, dobljenih s preiskusi na Charpy klaviru, so vse nastopale med $0,78$ in $2,56$ kpm/cm². Za podajanje porazdelitve pogostnosti posameznih vrednosti se je območje med $0,4$ in $2,8$ kpm/cm² razdelilo na razrede po $0,4$ kpm/cm² (slika 1). Dobi se stolpni diagram, ki bi pri neskončnem številu paralelek prevzel obliko zvonaste Gaussove krivulje. Srednja vrednost pri 36 paralelkah je $1,78$ kpm/cm², standardni odklon znaša $0,45$ kpm/cm². To pomeni, da leži 68,3 % vrednosti v območju od $1,33$ do $2,23$ kpm/cm². Podobno so obdelani rezultati merjenja žilavosti na jeklu osičro 2 (Č. 6443). Probe so bile kaljene z 940°C v olju in nato popuščene na 200°C . Srednja vrednost žilavosti, izračunane iz 40 žilavostnih vrednosti, je $21,8$ kpm/cm², standardni odklon je $\pm 3,04$ kpm/cm². Krivulja pogostnosti nastopanja posameznih žilavostnih vrednosti ne bi bila po-



Slika 1
Pogostost nastopanja žilavostnih vrednosti pri jeklu Č.3840 (Merilo), kaljenem 780°C /olje, popuščanem na 180°C . Probe z zarezo $r 10/1$ mm

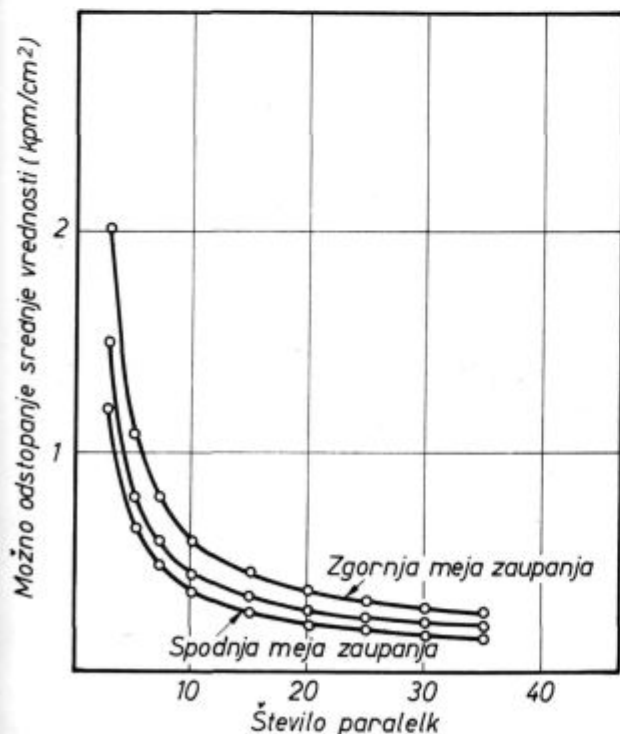


Slika 2
Pogostost nastopanja žilavostnih vrednosti pri jeklu Č.6443 (Osikro 2), kaljeno 940°C /olje, popuščeno na 200°C .

dobna Gaussovi krivulji, temveč prej desno nesimetrični krivulji Poissonove porazdelitve (sl. 2). To pomeni, da bi z izločitvijo raznih vzrokov prežgodnjih zlomov (razpok) dobili večino žilavostnih vrednosti v območju od približno 20 do približno 26 kpm/cm². Ta približnost je dana z razdelitvijo žilavosti na razrede po 2 kpm/cm². Če razdelimo absciso na razrede po 3 kpm/cm², kar približno ustreza standardnemu odklonu, dobimo precej bolj simetrično porazdelitev pogostnosti nastopanja žilavostnih vrednosti. Vendar pride v tem primeru na absciso premalo stolpcev in slika ni pregledna. Tudi pri jeklu merilo bi z zmanjšanjem razreda dobili desno nesimetrično krivuljo porazdelitve, kar kaže, da majhne napake v probah lahko spremenijo simetričnost krivulje porazdelitve.

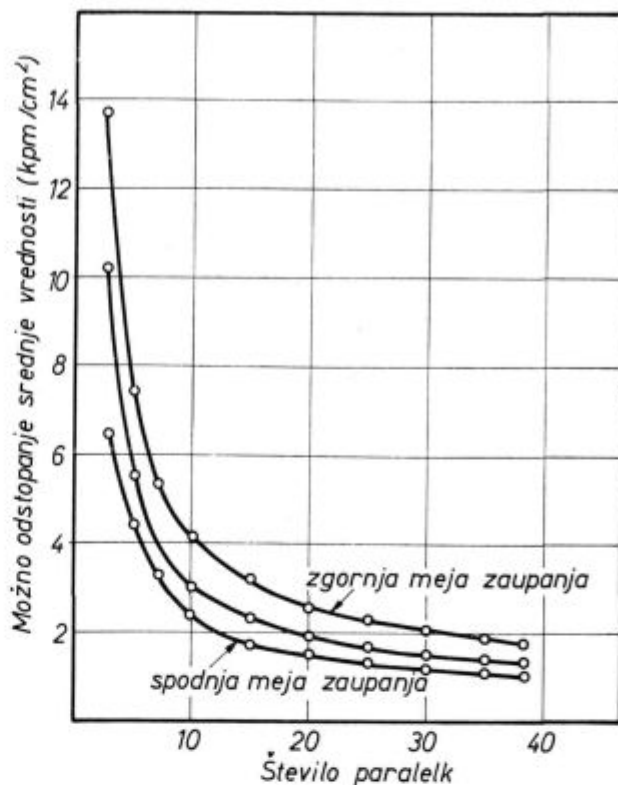
Kako pada natančnost z jemanjem manjšega števila paralelnih prob, se lahko prikaže s slikama 3 in 4. Za 40 oz. 36 paralelnih prob od vsakega jekla je že določeno možno odstopanje posameznih vrednosti od izračunane srednje vrednosti.

Nadalje so bile določene meje zaupanja odklonov izračunane srednje vrednosti od prave za statistično varnost 99 %. Ko je enkrat že izračunano možno trosenje posameznih vrednosti pri 40 paralelnih merjenjih, je območje verjetnosti, znotraj katerega nastopajo odkloni, razmeroma ozko. Možna odstopanja srednje vrednosti iz 40 posameznih vrednosti in pripadajoče meje zaupanja so, ne glede na faktor t , za $(1/\sqrt{N}) = (1/\sqrt{40})$ manjša kot možni odkloni in meje verjetnosti za



Slika 3

Možna odstopanja srednje vrednosti žilavosti jekla Č.3840 (Merilo) od resnične srednje vrednosti. Statistična varnost za odstopanja in njihove meje zaupanja je 99 %



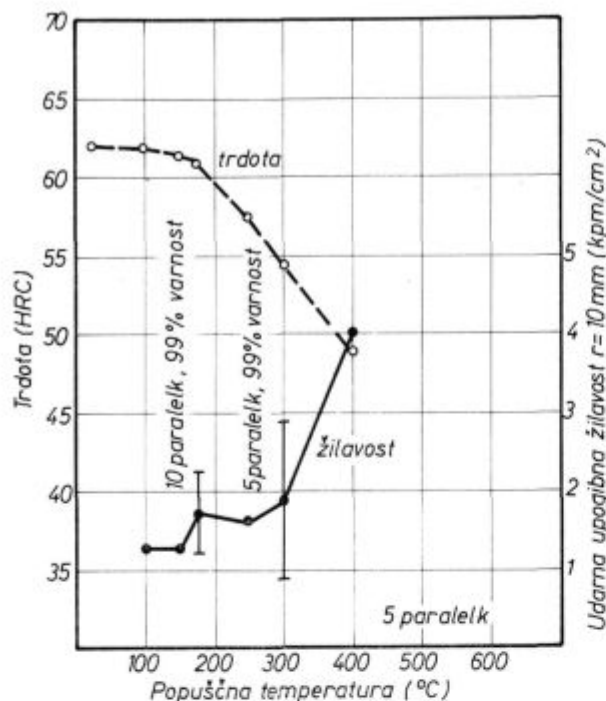
Slika 4

Možna odstopanja izračunane srednje vrednosti od prave srednje vrednosti za žilavost jekla Č.6443 (Osikro 2). Statistična varnost je 99 %, enako tudi za meje zaupanja možnega odstopanja

posamezne vrednosti. To pomeni, da je faktor zmanjšanja nenatančnosti približno obratno sorazmeren kvadratnemu korenu iz števila paralelnih prob. Ena posamezna meritev (obseg vzorca je 1) ima največjo nenatančnost. Interpolacija možnih napak in njihovih mej zaupanja med obsegom vzorca 1 in obsegom vzorca 40 je možna z variacijo faktorja $(1/\sqrt{N})$. Rezultat takšnih računov sta diagrama 3 in 4, ki kažeta za statistično varnost $T = 99\%$ možna odstopanja z vzorci dobljene srednje vrednosti od iskane srednje vrednosti celote. Enako kažeta meje zaupanja teh odstopanj za statistično varnost 99 % in v odvisnosti od obsega vzorca. Žilavost se je merila pri navadni temperaturi, probe so imele radialno oslabitev s polmerom 10 mm in globine 1 mm.

Rezultati na sl. 5 kažejo odvisnost žilavosti jekla merilo (Č. 3840) od popuščne temperature. Vsaka točka je srednja vrednost 5 do 10 meritev žilavosti na Charpy nihalu. Preizkusi, opravljeni na 36 paralelkah, popuščeni na temperaturo 180° C nam povedo, kakšna je natančnost teh vrednosti.

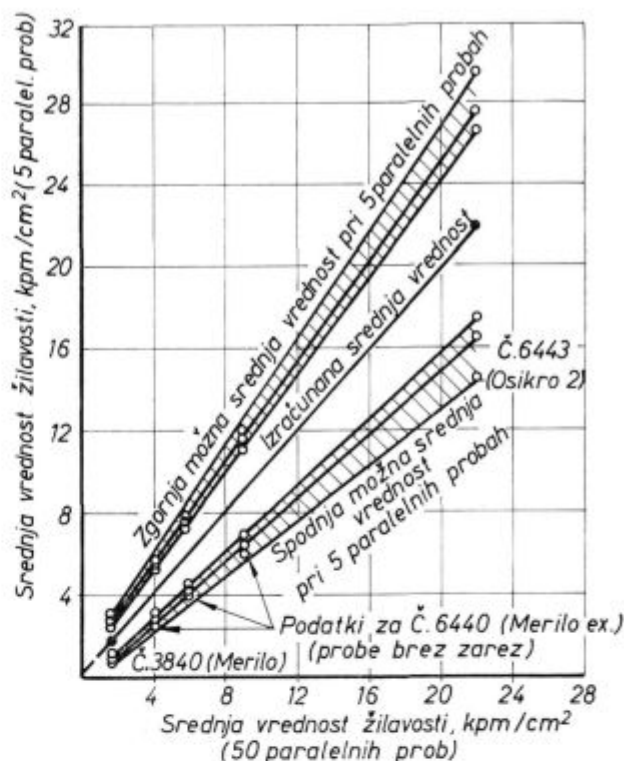
Možna odstopanja srednjih vrednosti manjših vzorcev od srednjih vrednosti celote obenem s pripadajočimi mejami zaupanja za 5 prob manjšega vzorca so podana kot pas trosenja okoli srednje vrednosti celote, ki jo predstavlja 36 do 50 paralelnih prob (sl. 6). Srednja vrednost, dobljena s 36



Slika 5

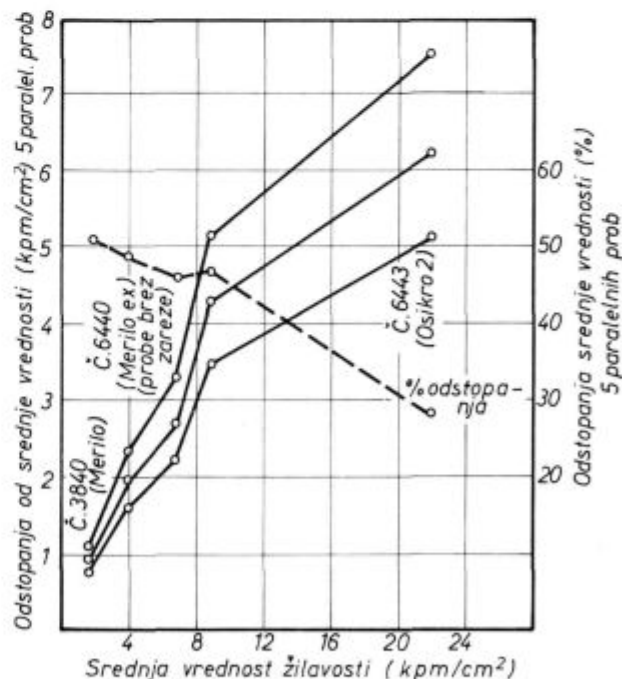
Odvisnost žilavosti jekla Č.3840 (Merilo) od popuščne temperature

do 50 meritvami je tu podana namesto prave srednje vrednosti, ki je ne poznamo natančno. Čim večja je ta srednja vrednost, tem večja moramo pričakovati tudi odstopanja srednjih vrednosti majhnih vzorcev od verjetne srednje vrednosti. V prvem približku ni napaka vzorca glede na pravo srednjo vrednost odvisna od velikosti prave srednje vrednosti, temveč od števila paralelnih prob. Medtem ko je napaka pri posamezni merjeni vrednosti za statistično varnost 99 % okoli 170 %, je pri petih paralelnih probah manjša približno za faktor $1/\sqrt{5}$. Glede na veliko statistično varnost je to majhna napaka ter znaša le še 50 %. Pri varnosti 95 % bi bila ta napaka samo 30 %. Možna odstopanja srednje vrednosti iz petih paralelnih prob so podana tudi na sliki 5 in vidi se, da 5 paralelek ne zadostuje za zadosti natančno podajanje udarne upogibne žilavosti v odvisnosti od toplotne obdelave. Število zahtevanih paralelnih prob pa je seveda odvisno od tega, kaj želimo razločevati in zato od velikosti pripadajoče nenatančnosti. Če želimo, da relativna napaka srednje vrednosti ni večja kot 10 %, tj., da pri srednji vrednosti 1,7 kpm/cm² napaka ne prekorači $\pm 0,17$ kpm/cm² (ali pri žilavosti 20 kpm/cm² napaka ni več kot ± 2 kpm/cm²), tedaj se zahteva 20–30 paralelnih prob. To število paralelnih prob velja tudi za določanje srednje vrednosti žilavosti drugih orodnih jekel, katerih žilavosti merjene na probah z radialno plitvo zarezo se gibljejo v mejah 0,5 do 25 kpm/cm². Natančnost poskusov s probami, ki imajo plitvo, milo zarezo, je za približno 30 % večja kot natančnost preizkusov s probami brez zarez.



Slika 6

Pričakovani pasovi trosenja srednjih vrednosti pri določanju žilavosti jekel Č.3840 (Merilo), Č.6440 (Merilo ex.) in Č.6443 (Osikro 2). Statistična varnost je pri tem 99 %. Podane so tudi meje zaupanja za te odklone (šrafirano). Statistična varnost za meje zaupanja je 99 % pri Č.6443 (Osikro 2) in Č.3840 (Merilo) ter 95 % pri Č.6440 (Merilo ex.).



Slika 7

Odstopanje izračunane vrednosti (iz 5 paralelnih prob) od predpostavljene srednje vrednosti. Zunanji krivulji kažeta območje verjetnosti 95 % za nastopanje odklonov od prave srednje vrednosti. Z rastočo žilavostjo se odstopanje od srednje vrednosti postopno zmanjšuje po 1,2 %/kpm/cm².

Pomembno je raziskati tudi razliko v vplivu ostre (npr. DVM) zareze in šibke radialne na natančnost žilavostnih vrednosti. Ugotovljeno je, da ublažitev zareze na probah jekel tipov merilo, merilo extra, OW 3, osikro 2, osikro 4 ne poveča žilavostnih vrednosti tako učinkovito kot ublažitev zareze na probah iz hitroreznih jekel. Zato se tudi ob uporabi prob z blago zarezo ne zahteva odkrivanje sprememb manjših od $\pm 15\%$, če merimo žilavost jekel tipov OW 3, merilo, merilo extra, osikro 2. V takem primeru rabimo za 95 % statistično varnost 10–17 paralel pri preizkušanju jekla osikro 2 in 12–30 pri preizkušanju krhkih jekel. S prehodom od prob brez zareze ali prob z normalno ostro DVM zarezo na probe s plitvo oslabitvijo preseka največ pridobi raziskovanje žilavosti zelo krhkih, to je hitroreznih jekel. Da bi občutili že razlike $\pm 0,1 \text{ kpm/cm}^2$ v žilavosti različno kaljenih prob iz jekla BRC 3, rabimo po navadnem računu 6 paralel. Po računu pa, ki smo ga prikazali v članku in upošteva tista nihanja srednje vrednosti, ki nastopajo z nenatančnostjo standardnega odklona, se za statistično varnost 95 % rabi 10 paralelnih prob.

ZAKLJUČEK

Z natančnim določanjem napak, ki se lahko pojavljajo pri kakršnih koli merjenjih, imamo možnost napovedati, koliko paralelnih prob rabimo, da za dogovorjeno statistično varnost razlikujemo med seboj srednje vrednosti, ki so si precej blizu druga drugi.

ZUSAMMENFASSUNG

Den modernen Methoden der Bewertung technologischer Untersuchungen kann Statistik zur grossen Hilfe sein. Da in der Technik trotz der Exaktheit nicht ganz gleichartige Artikel hergestellt werden können, sind künstlich aufgestellte Grenzen in welchen die Erzeugnisse als gleichgehalten werden, dringend. Ähnlich wichtig wie die Abmessungstoleranzen bei den Erzeugnissen, sind bei den Ergebnissen der technologischen Untersuchungen neben der Abmessungstoleranzen der Proben wichtig auch die Toleranzen drinnen der ausgerechneten Mittelwerte auftreten können, welche sich aber untereinander nicht wesentlich unterscheiden.

Es ist die Kerbschlagbiegezugfestigkeit zweier Werkzeugstähle mit der grösst möglichen Genauigkeit bestimmt

Ugotovljeno je, da se z zadovoljivo varnostjo ločijo med seboj srednje vrednosti žilavosti žilavih orodnih jekel za hladno delo in enako hitroreznih jekel, če imamo na razpolago 10 do 17 paralelnih prob. Poskusi s probami, ki imajo plitvo zarezo s polmerom zaokrožitve $r = 10 \text{ mm}$, so glede na poskuse s probami brez zareze za okoli 30 % natančnejši, kar je ugotovljeno s primerjavo preizkusov jekel C. 3840 (merilo) in C. 6440 (merilo extra). Pri drugih jeklih pa mila zareze natančnost še bolj poveča.

Kot kaže slika 6, je razlika med probami brez zareze in probami z zarezo skoraj enaka razliki med 95 in 99 % statistično varnostjo za meje zupanja. Razumljivo je, da sta pasova statistične varnosti razmeroma širša in bolj narazen pri zelo majhnih vrednostih, saj ne moremo pričakovati, da bodo zelo majhne vrednosti zelo natančne. Vedeti moramo, da je v pojmu »žilavost« zajeto precejšnje število tehnoloških lastnosti materiala hkrati z različnimi napakami.

Podoben postopek določanja števila potrebnih meritev, kot je prikazan v članku, se lahko uporabi povsod, kjer nam gre za čim popolnejšo izločitev napak, ki nastajajo z odstopanji izračunanih vrednosti od neznanih pravih vrednosti.

Literatura

Graf U., H. J. Henning: Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik, Springer Verlag 1958.

worden. Die Genauigkeit dieser Prüfungen wird mit der anderer Prüfungen der Werkzeugstähle miteinander verglichen, um die Vorteile der Probe mit einem neuen Kerbtyp im Vergleich zu den Proben ohne Kerb festzustellen.

Für spröde, im Öl härtbare Werkzeugstähle ist eine Verbesserung der Genauigkeit um 30 % festgestellt worden, bei anderen Stählen ist der günstige Einfluss des Kerbes grösser.

Es wird ein Verfahren für die genaue Bestimmung der Anzahl der parallelen Proben gezeigt, welches den Einfluss der Streuung der Standardabweichung auf die Änderung des rechnerisch ermittelten Mittelwertes genauer angibt.

SUMMARY

Modern methods of evaluation demand help of statistics in technological tests. As complete equality of single products cannot be obtained in spite of exactness in the production methods tolerances for the products must be fixed. Like tolerances in dimensions also tolerances of technological properties determined by tests must be fixed so that calculated mean values which are supposed not to be essentially different fit into the prescribed interval.

With the greatest practically possible exactness impact bending toughness for two tool steels for cold forming

were determined. Accuracy of tests is compared with exactness of the other tests of tool steels in order to determine the advantage of the test-pieces with the new type of notch compared with test-pieces without notch.

Accuracy was improved for 30 % for fragile tool steels quenchable in oil while this percentage was even higher for the other steels.

The procedure of determining the number of parallel probes is shown so that variation of standard deviation from the calculated mean value is exactly determined.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные методы оценки требуют помощь статистики также при технологических исследованиях. Так как техника несмотря на точность не в состоянии произвести совершенно одинаковые изделия поставлены искусственные пределы внутри которых считается что изделия одинаковы.

Также како поле допусков размер изделий при технологических исследований поставлены допуски в пределах которых должно находится вычисленное среднее число которое можно взять как величину материала ещё не разнородного.

С максимально возможной точностью определена ударно-изгибная вязкость двух инструментальных

сортов стали для холодной работы. Точность исследования необходимо сравнить с точностью остальных исследований с целью чтобы определить какие преимущества имеет исследование образцов с новым видом засечки в сравнении с образцами без засечек. При хрупкой инструментальной стали закалку которой проводят в масле установлено повышение точности до 30 %, а при других сортах положительное влияние засечки ещё более выразительно.

Приведен способ определения такого количества образцов которые с большой точностью показывают влияние колебания стандартного отклонения на изменения вычисленной средней величины.