

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Mlakar Franc — Zelezarna Store NODULARNA GRAFITNA JEKLENA LITINA	189
Senčič Srečko — Zelezarna Store KONTINUIRNO ODLIVANJE JEKLA V ŽELE- ZARNI STORE	199
Nikolić Miroslav — Jesenice TERMICNO DEKAPIRANJE V VISOKEM VAKUUMU	209
Rodič Jože — Zelezarna Ravne PRAKTICNE IZKUSNJE PRI RAZISKAVAH LEDEBURITNIH ORODNIH JEKEL Z UPORA- BO KVANTITATIVNE METALOGRAFIJE	217
Brudar Božidar — Zelezarna Jesenice MATEMATICNI MODELI OGREVANJA IN OHLAJANJA ZA NEKATERE PRIMERE IZ PRAKSE	239
Segel Jože — Zelezarna Ravne KONTROLA PASOV GARANTIRANE KALJI- VOSTI IN ANALIZA VPLIVA KEMIJSKE SE- STAVE NA KALJIVOST	251

LETO 9 ŠT. 4 1975

ŽEZB BQ 9 (4) 189-260 (1975)



VSEBINA

<p>UDK: 669.141.25 ASM/SLA: C I-r</p> <p>F. Mlakar Nodularna grafitna jeklena litina Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 s. 189—197</p> <p>Kakšna je nodularna grafitna jeklena litina (NGJL). Kemijska sestava in način izdelave s pomočjo specialne kalcijeve zlitine. Struktura nodularne grafitne jeklene litine. Termična obdelava nodularne jeklene litine v Zelezarni Store struktura in mehanske lastnosti po vlivanju, enostopenjskem in dvostopenjskem žarjenju. Preiskave žarjenje NGJL na mikroanalizatorju. Uporaba NGJL.</p> <p style="text-align: right;">I. Arh</p>	<p>UDK: 620.18:669.14.018.25 ASM/SLA: M21c; Tsh</p> <p>J. Rodič Praktične izkušnje pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel z uporabo kvantitativne metalografije Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 s. 217—238</p> <p>V tem nadaljevanju članka z naslovom Kvantitativna metalografija ledeburitnih jekel (Ze Zb 9 — 1975 — št. 2 — str. 87 do 104), v katerem je bil opisan splošen razvoj kvantitativne metalografije zadnjega obdobja do današnje stopnje, so zbrane publicirane izkušnje in ugotovitve lastnih meritev na področju kvantitativne metalografije pri raziskovanju ledeburitnih orodnih jekel. Izvršene raziskave so bile usmerjene predvsem v razvoj standardizirane metodike za izvajanje preiskav v obširnem raziskovalno-razvojnem projektu in v redni kontroli kakovosti. Podan je pregled uporabljenih metod, opisan je sistem dokumentacije meritev in obdelave podatkov ter rezultati statističnih analiz. Podrobneje je obdelano določevanje količinskih deležev in razporeditve karbidov. Posebno zanimive so raziskave porazdelitve velikosti karbidov. O prostorski porazdelitvi velikosti karbidov je podanih le nekaj osnovnih informacij.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>
<p>UDK: 669-147 ASM/SLA: D9q</p> <p>V. Senčič Kontinuirno odlivanje jekla v Zelezarni Store Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 s. 199—207</p> <p>Opis in karakteristike naprave za kontinuirno odlivanje jekla v gredece, obseg uvajanja posad in doseženi rezultati v proizvodnem procesu.</p> <p style="text-align: right;">J. Arh</p>	<p>UDK: 517.947.43:518.61; 669.046 ASM/SLA: U4S, F216</p> <p>B. Brudar Matematični modeli ogrevanja in ohlajanja za nekatere primere iz prakse Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 s. 239—251</p> <p>Opisani so primeri reševanja toplotne enačbe za nekatere primere, ki jih srečamo v praksi. Za vsak primer je izdelan računalniški program, diferencialno enačbo rešujemo numerično. Obdelani so problemi v eni dimenziji in dveh dimenzijah — ogrevanje in ohlajanje trakov, valjev, kolobarjev in gredic. Izračunani primeri služijo za izhodišče pri predvidenih izboljšavah in za preverjanje pravilnosti regulativov za ogrevanje.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>
<p>UDK: 669.14—153.45 ASM/SLA: J23a, 1-73</p> <p>M. Nikolić Termično dekapiranje v visokem vakuumu Vprašanje mehanizma in sodelujočih faktorjev v procesu Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 s. 209—216</p> <p>»Razkrojno dekapiranje dr. Herdieckerhoff-a je v industriji že v praktični uporabi. Vendar fenomen glede mehanizma in sodelujočih faktorjev v procesu še ni docela raziskan in pojasnjen. Tudi mišljenja o njem niso enotna. Sestavek prinaša kritičen prikaz članka »Dekapiranje žice iz Cr-Nn-jekel in legur v vakuumu« dr. Ergang-a in dr. ing. Huppertz-a (Draht-Welt No. 9/1965) kot ene maloštevilnih publikacij s tega raziskovalnega področja. Diskutirane so gotove neskladnosti med njihovimi sklepi in nazori dr. Herdieckerhoff-a, ter priključno podana osebna mišljenja kot sugestije za nadaljnje raziskovalno delo.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>	<p>UDK: 620.179.3:519.24:562 ASM/SLA: J5, X14K, A3, A5f, S12</p> <p>J. Segel Kontrola pasov garantirane kaljivosti in analize vpliva kemijske sestave na kaljivost Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 s. 251—260</p> <p>V članku je avtor opisal sistem, ki povezuje tehnično kontrolo, laboratorije, uporabo matematično statističnih metod in elektronski računalnik, v enoten informacijski sistem za kontinuirno ali periodično spremljanje kakovostnega nivoja kaljivosti jekel. Obravnavani sistem je del večjega sistema, ki obsega vso tehnično kontrolo in preiskave v metalurških in kemijskih laboratorijih ter banko podatkov na računalniku. Za jeklo C. 4732 (W. NR. 7225) so podane regresijske enačbe vpliva kemijske sestave na kaljivost jekla in koeficient korelacije med trdoto na različnih razdaljah in posameznimi kemijskimi elementi.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>

INHALT

UDK: 620.18:669.14.018.25

ASM/SLA: M21c; Tsh

J. Rodič

Praktische Erfahrungen bei den Untersuchungen der ledeburitischen Werkzeugstähle mit der Anwendung der Quantitativen Metallographie
Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 S 217—238

In dieser Fortsetzung des Artikels Quantitative Metallographie der ledeburitischen Stähle (Ze Zb 9 (1975) Nr. 2, S. 87—104) in welchem die allgemeine Entwicklung der quantitativen Metallographie in der letzten Zeit bis zu dem heutigen Zustand beschrieben ist, sind die veröffentlichten Erfahrungen und die Ergebnisse eigener Messungen auf dem Gebiet der quantitativen Metallographie der ledeburitischen Stähle zusammengefasst. Die ausgeführten Untersuchungen hatten das Ziel die Untersuchungsmethoden in einem umfangreichen Forschungsprojekt und in der täglichen Qualitätskontrolle zu standardisieren. Eine Übersicht der angewandten Methoden ist gegeben. Das System der Dokumentation der Messungen, die Datenbearbeitung und die Ergebnisse der statistischen Analysen sind beschrieben. Die Bestimmung der Mengenanteile und der Karbidverteilung ist ausführlich beschrieben. Über die Raumverteilung der Karbidgrösse sind nur einige Grundinformationen gegeben.

Auszug des Verfassers

UDK: 669.141.25

ASM/SLA: C I-r

F. Mlakar

Das sphärolitische Gusseisen

Zelezarski zbornik 9, (1975), 4 S 189—197

Wie sieht das sphärolitische Gusseisen aus. Chemische Zusammensetzung und Erzeugung dieses mit Hilfe einer speziellen Calciumlegierung. Das Gefüge des Kugelgraphite Gusseisens, Wärmebehandlung im Eisenhüttenwerk Store, das Gefüge und mechanische Eigenschaften nach dem Giessen, einstufigem und zweistufigem Glühen.

Untersuchungen des geglühten sphärolitischen Gusseisens am Elektronenmikroanalysator. Die Anwendung des sphärolitischen Gusseisens.

J. Arh

UDK: 517.947.43:518.61; 669.046

ASM/SLA: U4S, F216

B. Brudar

Einige mathematische Modelle der Erwärmung und Abkühlung für einige Beispiele aus der Praxis

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 S 239—251

Es sind einige Beispiele der Lösung der Wärmegleichung für einige Fälle aus der Praxis beschrieben. Für jeden einzelnen Fall ist Rechnerprogramm ausgearbeitet, die Differentialgleichung ist numerisch gelöst worden. Die Probleme sind in einer und zwei Dimensionen gelöst worden, dann die Erwärmung und Abkühlung der Bänder der Walzen und der Knüppel.

Die ausgerechneten Beispiele dienen als Ausgangspunkt für die vorgesehene Verbesserungen und für die Kontrolle der Richtigkeit der Erwärmungsvorschriften.

Auszug des Verfassers

UDK: 669-147

ASM/SLA: D9q

V. Senčič

Stranggiessen des Stahles im Hüttenwerk Store

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 S 199—207

Beschreibung und Charakteristiken der Knüppelstranggiessanlage, Umfang der Einarbeitung der Mannschaften und die erreichten Ergebnisse im Betrieb.

J. Arh

UDK: 620.179.3:519.24:562

ASM/SLA: J5, X14K, A3, A5F, S12

J. Segel

Kontrolle der Streubänder der garantierten Härtebarkeit und Analyse des Einflusses der chemischen Zusammensetzung auf die Härtebarkeit
Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 S 251—260

Dieser Artikel enthält die Beschreibung eines Systems, welches die technische Kontrolle, die Laboratorien, die Anwendung mathematisch-statistischer Methoden, und den Computer in einem einheitlichen Informationssystem, für die ständige oder periodische Verfolgung des Qualitätsniveaus der Härtebarkeit der Stähle, verbindet.

Dieses System stellt nur einen Teil eines grösseren Systems vor, welches die gesamte technische Kontrolle und die Forschung in den metallurgischen und chemischen Laboratorien und die Datenbank am Computer umfasst.

Für den Stahl C 4732 (W. NR. 7225) sind Regressionsgleichungen für den Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die Härtebarkeit des Stahles und der Korrelationskoeffizient zwischen der Härte auf verschiedenen Entfernungen und den einzelnen chemischen Elementen angegeben.

Auszug des Verfassers

UDK: 669.14—153.45

ASM/SLA: J23a, 1-73

M. Nikolić

Das thermische Entzundern im Hochvakuum
Die Frage des Mechanismus und der im Prozess beteiligten Faktoren
Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 S 209—216

Dr. Herdieckerhoff's »Spaltbeize« ist in der Industrie schon praktisch eingeführt.

Doch das Phänomen wurde bisher betreffend Mechanismus und im Prozess mitwirkende Faktoren noch nicht ganz durchgeforscht und geklärt. Auch die Meinungen darüber sind nicht einig.

Dieser Aufsatz bringt kritische Darstellung der Abhandlung »Entzundern von Drähten aus Cr-Ni-Stählen und — Legierungen im Vakuum« von dr. Ergang und dr. ing. Huppertz (Draht-Welt No. 9/1965), einer von wenigen auf diesem Forschungsgebiet, dar.

Es wurden gewisse Unstimmigkeiten zwischen dessen Schlussfolgerungen und Ansichten von Dr. Herdieckerhoff diskutiert, und anschliessend persönliche Meinungen als Suggestionen für die weitere Forschungsarbeit angegeben.

Auszug des Verfassers

CONTENTS

UDK: 669.141.25

ASM/SLA: C 1-r

F. Mlakar

Spheroidal graphite cast steel

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 P. 189—197

What is spheroidal graphite cast steel (SGCS)

Chemical composition and way of manufacturing by special calcium alloy. Structure of spheroidal graphite cast steel. Heat treatment of spheroidal graphite cast steel in Store ironworks, structure and mechanical properties after casting, single-step and double-step annealing.

Investigations of annealed SGCS by microanalyzer.

Use of SGCS.

J. Arh

UDK: 620.18:669.14.018.25

ASM/SLA: M21c; Tsh

J. Rodič

Practical experiences in investigation of ledeburite tool steel by quantitative metallography

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 P. 217—238

In this instalment of the paper Quantitative Metallography of Ledeburite Steel (Ze Zb 9 — 1975 No. 2, pp. 87—104) where general development of quantitative metallography in the recent time was described, the published experiences and findings of own measurements in the field of quantitative metallography used in the investigations of ledeburite tool steel are gathered. The investigations were directed mainly towards the development of standardized methods for performing investigations in an extensive research — development program and in the regular quality control. Review of the used methods is given, the system of recording, data treatment, and results of statistical analyses are described. Determination of quantity and distribution of carbides is analyzed in details. Especially interested are the investigations of the size distribution of carbides. On the space size distribution of carbides only basic informations are given.

Author's Abstract

UDK: 669-147

ASM/SLA: D9q

V. Senčič

Continuous casting of steel in Store Ironworks

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 P. 199—207

Description and characteristics of continuous casting of steel into billets, introduction of shifts in the new work, achieved results in the production process.

J. Arh

UDK: 517.947.43:518.61; 669.046

ASM/SLA: U4S, F216

B. Brudar

Mathematical models of heating and cooling for some practical cases

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 P. 239—251

Examples of solving the thermal equation for some cases found in practice are described. A computer program is prepared for each case so that the differential equation can be solved numerically. One and two dimensional problems are treated — heating and cooling of strips, cylinders, coils, and billets.

The calculated examples can be used as a starting point for expected improvements and for checking the correctness of instructions for heating.

Author's Abstract

UDK: 669.14—153.45

ASM/SLA: J23a, 1-73

M. Nikolić

**Thermal pickling in high vacuum
Mechanism and influential parameters of the process**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 P. 209—216

«Spalling pickling» called by Herdieckerhoff is already practically used in industry. But mechanism and influential parameters of the process are not completely investigated and explained yet. Also opinions about it are not uniform.

This paper presents a critical review of the paper by Ergang and Huppertz in Draht-Welt No. 9/1965 which is one of rare papers from this research field.

Certain incompatibilities between the conclusions of the authors and the opinion of Herdieckerhoff are discussed including the personal opinion as the suggestion for further research work.

Authors's Abstract

DK: 620.179.3:519.24:562

ASM/SLA: J5, X14K, A3, A5f, S12

J. Segel

Control of Bands of Guaranteed Hardenability, and Analysis of Influence of Chemical Composition on the Hardenability

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 P. 251—260

The system connecting the technical control, laboratories, use of mathematical statistical methods, and the computer as a uniform system for continuous or periodic quality control of steel hardenability is described in the paper. The treated system is a part of greater system which includes complete technical control and testing in metallurgical and chemical laboratories, and the data bank in the computer. Regression equations of influence of chemical composition on the steel hardenability, and correlations between the hardness on various distances and the single chemical elements are given for C. 4732 (W. NR. 7225) steel.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 620.18:669.14.018.25

ASM/SLA: M21c; Tsh

J. Rodič

Практические опытные данные исследования ледобуритной инструментальной стали при применении количественной металлографии.

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 с 217—238

В первой части работы на эту тему — Количественная металлография ледобуритных сталей — Ze Zb 9-1975, но 2, стр. 87—104) были собраны публикации и рассмотрены полученные данные собственных измерений в области количественной металлографии ледобуритных инструментальных сталей до настоящей фазы развития. Исполненные исследования представляют собой часть обширного проекта регулярного контроля качества устремленного главным образом в направлении развития стандартизованного метода исполнения исследований. Приведен обзор примененных методов, дано описание системы документации мерения и обработки данных, а также результаты статистического анализа. Подробно обработано определение количественной доли и распределения карбидов. Особый интерес представляет собой распределение карбидов по их величине. Также подано несколько основных информации о объемном распределении карбидов.

Авторский экстракт

UDK: 669.141.25

ASM/SLA: C I-r

F. Miakar

Стальное литье с шаровидным графитом.

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 с 189—197

В статье приведены: химический состав и способ изготовления этого сорта литья (NGJL) при применении специального сплава элемента кальция. Рассмотрена структура стального литья с шаровидным графитом. Следует описание термической обработки этого литья в металлургическом заводе Шторе, структура и механические свойства после литья и после одно- и двухфазного отжига. Рассмотрено исследование NGJL-литья на микроанализаторе.

J. Arh

UDK: 517.947.43:518.61; 669.046

ASM/SLA: U4s, F216

B. Brudar

Математические модели нагрева и охлаждения для некоторых примеров из практики.

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 с 239—251

Для некоторых примеров с которыми встречаемся в практики дано решение теплового уравнения. Для каждого примера приготовлена расчетная программа, причем расчет дифференциального уравнения выполнен численно. Проблемы обработаны в одной и в двух размерах — нагревание и охлаждение полос, валков, рудонов и заготовок.

Вычисленные примеры служат как исходная точка для предвиденных улучшений и для проверки правильности инструкций для нагрева.

Авторский экстракт

UDK: 669-147

ASM/SLA: D9q

V. Senčič

Непрерывное литье стали в Металлургическом заводе Шторе

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 с 199—207

В обзоре рассмотрено описание и даны характеристики устройства для непрерывного литья стали в форме заготовок, объем введения бригад литейщиков в работу и, наконец, полученные результаты в процессе производства.

J. Arh

DK: 620.179.3:519.24:562

ASM/SLA: J5, X14K, A3, A5f, S12

J. Segel

Контроль полос с гарантированной закаливемостью и анализ влияния химического состава на закаливаемость.

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 с 251—260

Автор описывает систему которая восстанавливает связь между технической контролью, лабораторией, применением математическо-статистических методов и электронного счётчика в единственную информационную систему для непрерывное или периодическое прослеживание качественного уровня закаливаемости сталей.

Рассмотренная система представляет собой только часть более обширной разработанной системы, которая охватывает: совокупный технический контроль, исследования металлургических и химических лабораторий и банк информации от счётчика.

Для стали марки S.4732/W. Nr. 7225 поданы регрессионные уравнения влияния химического состава на закаливаемость стали и коэффициент корреляции между твердостью на различных расстояниях в отношении с отдельными химическими элементами.

Авторский экстракт

UDK: 669.14—153.45

ASM/SLA: J23a, 1-73

M. Nikolić

Термическое декапирование в высоком вакууме.

Вопрос механизма и факторов которые участвуют в процессе.

Zelezarski zbornik 9 (1975) 4 с 209—216

«Разложенное декапирование», изобретение Др. Herdieckerhoff-a уже применяется практически в промышленности. Но, несмотря на это, феномен что касается механизма и факторов, которые участвуют в процессе еще не вполне исследованы и разъяснены; также мнения о нем весьма различны.

В статье критически рассмотрена работа «Декапирование проволочки из Cr-Ni-сталей и сплавов в вакууме» авторов: Др. Ergang-a и Др. инж. Huppertz-a (Draht-Welt No. 9/1965), как одна из редких публикаций из этой области исследования. Изложены также определенные несовместимости между ихними решениями и мнением Др. Herdieckerhoff-a. В заключении подано личное мнение автора статьи на рекомендация для последующего исследования.

Авторский экстракт

Nodularna grafitna jeklena litina

UDK: 669.141.25

ASM/SLA: CI-r

Franc Mlakar

Nodularna grafitna jeklena litina lahko uspešno zamenjuje jekleno ali sivo litino s kroglastim grafitom, predvsem zaradi visoke odpornosti proti obrabi in dobre dušilnosti. V članku je opisan kratek potek izdelave te litine in vpliv termične obdelave na strukturo in mehanske lastnosti.

Obravnavane so tudi preiskave na dilatometru in elektronskem mikroanalizatorju, ki so jih izvršili na metalurškem inštitutu v Ljubljani.

UVOD

Nodularno grafitno jeklo je jeklo evtektoidne ali nadevtektoidne sestave, ki ima ogljik izločen v obliki nodul. Jeklo z visokim Si in okoli 1,5 % C se v glavnem izdeluje s kovanjem in žarjenjem, medtem ko se grafitno jeklo z več kot 0,8 % C in nižjim silicijem (0,4 % ali več) pridobiva v litem stanju z dodatkom ustrezne kalcijeve zlitine v tekoče jeklo.

SESTAVA NODULARNE GRAFITNE JEKLENE LITINE (NGJL)

Za izdelavo nodularne jeklene litine mora biti ogljikova vsebnost več kot 0,8 % in najmanj 0,4 % Si. Pomembno je to, da pri tako nizki vsebnosti silicija lahko dobimo nodularni grafit v litem stanju. Normalno pa se NGJL pridobiva s sestavo, kjer je ogljik 1,1–1,6 % in silicij okoli 1 %. Glede na uporabo se lahko nodularna jeklena litina proizvaja tudi z vsebnostjo silicija do 2 %. NGJL se da variti, če ima 1,3 % C ali manj.

Poleg že omenjene sestave se temu jeklu lahko dodajajo legirni elementi: krom, mangan, vanadij, volfram, molibden, aluminij, baker in nikelj. Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da krom, mangan,

vanadij in volfram ovirajo tvorbo nodularnega grafita. Ta tendenca je najmočnejša pri kromu. Dodajanje molibdena do 0,4 % nima skoraj nobene vpliva na grafitizacijo jekla, večji dodatki pa kažejo tendenco zaviranja grafitizacije. Aluminij, baker in nikelj so vsi normalni grafitizacijski elementi.

Taljenje nodularne grafitne jeklolitine

Grafitno jeklo se normalno tali v elektroobločnih ali indukcijskih pečeh. Pri taljenju je važno doseganje visoke stopnje dezoksidacije in odžveplanja v kopeli. Zato se dezoksidacijska sredstva dajejo v peč. Dezoksidacijsko sredstvo je aluminij, ki je v tem primeru grafitizacijski element. Količina preostalega žvepla v talini mora biti nižja od 0,02 % in kisika manj od 0,005 %. To je potrebno zaradi večjega učinka preostalega kalcija, uvedenega v talino pri dodajanju specialne kalcijeve zlitine. Če je količina kisika in žvepla v tekoči talini visoka, se večina uvedenega kalcija takoj veže z njima v okside in sulfide, ki splavajo na površino kopeli. Tako dodan kalcij ni bil ves uveden v talino, ampak se je v obliki spojin vključil v žlindro in je tako eliminiran njegov vpliv.

Specialna kalcijeva zlitina

Zlitina zlahka absorbira vlago, zato ne sme biti izpostavljena zraku. Uporablja se v kosih od 1–10 mm. Če so kosi večji, zlitina splava na površje, če pa so manjši, pa zgori in je preostali kalcij v talini nizek.

Potrebna dodana količina zlitine se giblje od 1–1,5 %, za specialno proizvodnjo pa lahko tudi 2–3 %. Specialna kalcijeva zlitina, ki naj bi bila pregreta, se položi na dno ponovce, v katero se izpusti tekoče jeklo, ali pa se doda dvakrat ali trikrat v tekoč curek pri izpustu v ponovco. Sled-

Franc Mlakar je diplomirani inženir metalurgije in asistent v livarni valjev Zelezarne Store.

Tabela 1: Vrste specialnih kalcijevih zlitin

	Ca	Si	Fe	Mn	Al	C	P	S
Japonska zlitina	20—25	35—50	10—20	5—15	1,5	1,0	0,08	0,05
Nemška zlitina	16—20	55—59		14—18				

nji način dodajanja je boljši in daje boljše rezultate, če je legura embalirana v aluminijasto folijo. Pri reakciji se razvije rdečkasto oranžen plamen (značilen plamen kalcija). Reakcija je mirna in brez nevarnosti. Na ta način obdelano jeklo se mora uliti v čim krajšem možnem času, sicer se talina oksidira, pri čemer se preostali kalcij izloči kot oksid. Zaželeno je ulivanje najpozneje 30 minut po dodajanju legure, oziroma po izpustu. Če je čas čakanja daljši, mora biti dodatek kalcijeve zlitine temu primerno večji.

Temperatura, pri kateri se dodaja legura, je temperatura izpusta. Ta je odvisna od sestave ter količine taline in je od 1500—1600° C. Temperatura ulivanja pa je od 1430—1500° C.

Če je talina dezoksidirana in če je žvepla manj kot 0,02 %, je količina preostalega kalcija v talini proporcionalna količini dodane legure. Pri dodatku legure od 0,5—2,0 % je preostali kalcij od 0,007—0,04 % pri različnih ogljikovih jeklih. Običajno je dodatek 1,0—1,5 % zlitine zadosten za izdelavo nodularne grafitne jeklotaline.

Struktura nodularne grafitne jeklotaline

V osnovi sestoji lita struktura NGJL, proizvedena po tem postopku, iz nodularnega grafitna in perlita, brez prostega cementita ali z zelo malo prostega cementita. S povečanjem dodatka zlitine narašča delež izločenega nodularnega grafitna in gostota razporejenosti, grafitne nodule pa so manjše. Pri večjem dodatku zlitine se okrog grafitna lahko pojavi ferit, če jeklo vsebuje preko 1,5 % C. Če je vsebnost silicija pri takem jeklu okrog 2 %, se po termični obdelavi dobi feritno jeklo z nodularnim grafitom.

TERMIČNA OBDELAVA NODULARNE JEKLENE LITINE, IZDELANE V ŽELEZARNI STORE

Struktura in mehanske lastnosti NGJL po ulivanju

Tabela 2 — Sestava NGJL

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1,51	1,67	0,94	0,048	0,015	0,43	0,22	0,39

Po ulivanju litine s to sestavo smo dobili grobozrnati perlit z nodularnim grafitom in nekaj prostega cementita (sl. 1).

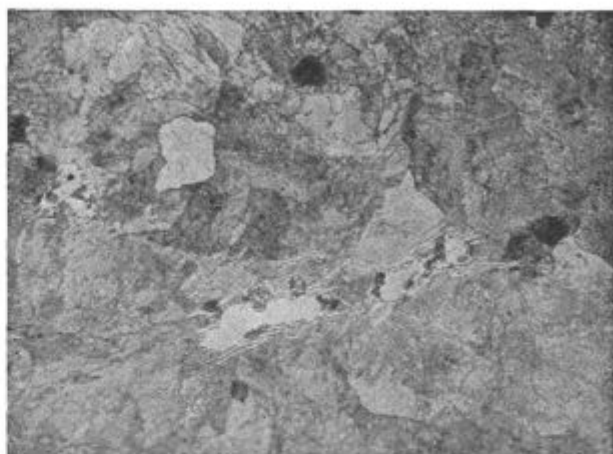
Slika 1
Struktura NGJL po ulivanju (nital, 250 ×)Fig. 1
Structure of SGCS after casting (nital, 250 ×)

Tabela 3 — Mehanske lastnosti v litem stanju:

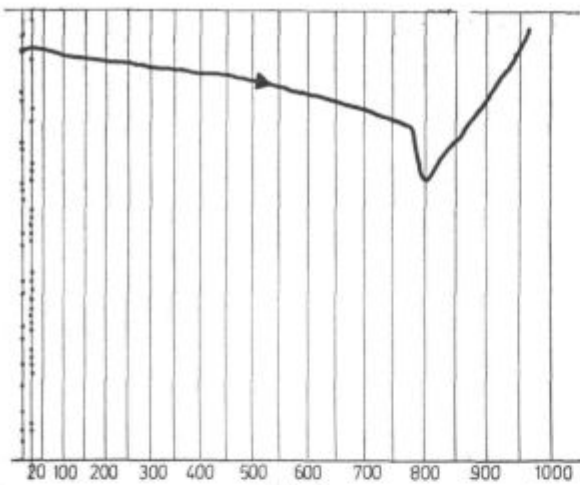
Natezna trdnost:	69,2 kp/mm ² 69,6 kp/mm ²
Raztezek:	1,6 % 1,6 %
Upogibna trdnost:	100,5 kp/mm ²
Upogibek:	3,0 mm
Žilavost:	0,9 kpm/mm ²
Trdota HB:	345 kp/mm ²

Določitev pogojev termične obdelave

J. Žvokelj nam je izmeril premenske točke litine, ugotovil strukturne spremembe, ki nastanejo pri različnih načinih žarjenja in izdelal TTT diagram pri kontinuirnem ohlajanju.

Premenske točke NGJL so bile določene pri ogrevanju s hitrostjo ogrevanja 300° C/h s Chevenardovim dilatometrom po diferencialni metodi (sl. 2).

Avstenizacija se začne pri 785° C (točka Ac₁) in se izvrši v zelo ozkem intervalu, kar potrjuje, da ima litina perlitno osnovo. Zanimivo je, da pri ogrevanju pred začetkom premene ne pride do grafitizacije perlitne strukture, ki se redno opaža pri ogrevanju nodularne litine s perlitno osnovo pri temperaturah nad 600° C do začetka premene. Močno naraščanje volumna v avstenitnem področju nastane zaradi raztapljanja grafitna v avstenitu.



Slika 2

Dilatometrijska krivulja pri ogrevanju NGJL

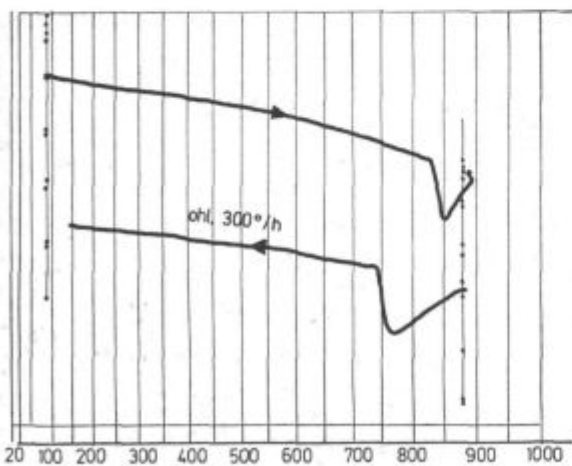
Fig. 2

Dilatometric curve for heating SGCS

Strukturne spremembe je Žvokelj zasledoval pri različnih temperaturah avstenitizacije in pri različnih hitrostih ohlajanja. Slika 3 kaže ogrevanje do 875°C, zadrževanje 30 minut na tej temperaturi in ohlajanje s hitrostjo 300°C/h, slika 4 pa žarjenje pri 930°C ter ohlajanje s hitrostjo 300°C/h in 60°C/h.

V vseh teh primerih nastane pri ohlajanju perlitna premena pri praktično isti temperaturi 760°C. Vsa zadrževanja pri ohlajanju pod to temperaturo ne vplivajo na spremembo strukture.

Kontinuirni TTT diagram (sl. 5) nam prikazuje, da je nodularna grafitna jeklotitina kaljiva. Pri velikih hitrostih ohlajanja dobimo martenzitno strukturo. Zaradi nizke temperature začetka martenzitne premene (okrog 120°C) je možno, da bo

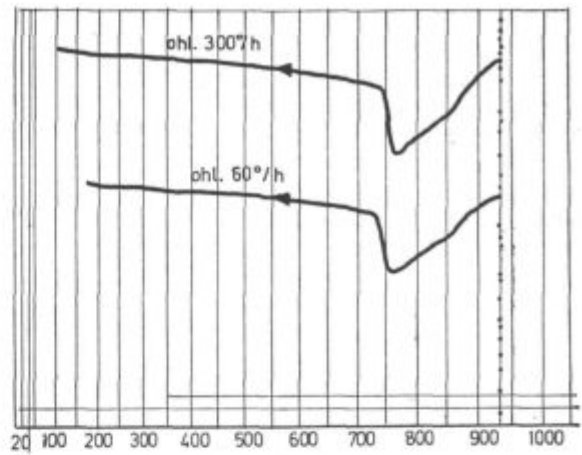


Slika 3

Dilatometrijska krivulja ogrevanja do 875°C in ohlajanja s hitrostjo ohlajanja 300°C/h

Fig. 3

Dilatometric curve for heating to 875°C and cooling at the rate 300°C/h



Slika 4

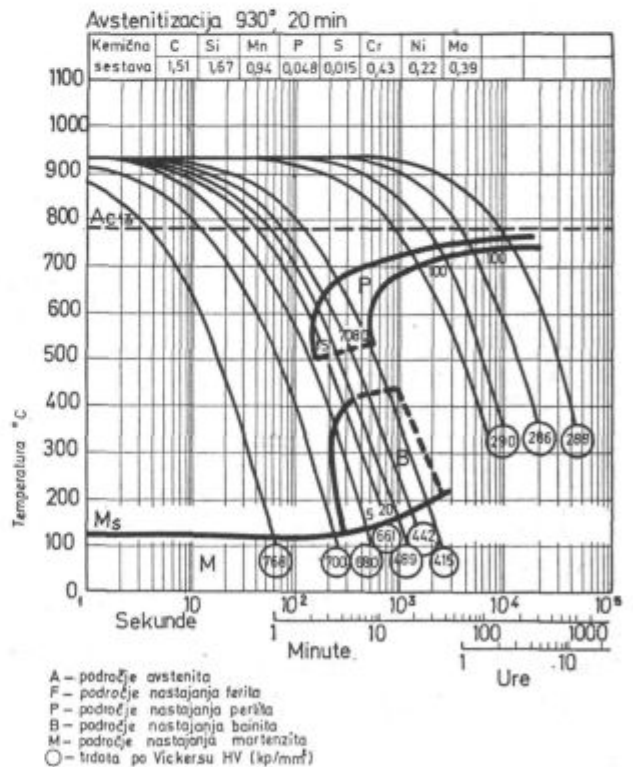
Dilatometrijska krivulja ohlajanja z 930°C s hitrostjo ohlajanja 300°C/h in 60°C/h

Fig. 4

Dilatometric curve of cooling from 930°C at the rates 300°C/h and 60°C/h

po hitrem ohlajanju v strukturi tudi nekaj zaostalega avstenita. Pri nekoliko manjših hitrostih ohlajanja nastane bainit. Bainitna struktura ni zanesljivo določljiva, zato je na diagramu narisana

Litina Štore-NGJL



Slika 5

TTT diagram pri kontinuirnem ohlajanju NGJL

Fig. 5

TTT diagram in continuous cooling of SGCS

črtkano. Pri počasnih ohlajanjih dobimo samo perlitno premeno.

Pri aplikaciji TTT diagrama za kontinuirna ohlajanja na praktične razmere pri termični obdelavi je treba upoštevati predvsem dimenzije predmetov. Z naraščajočo debelino ulitka, ki ga termično obdelamo v enakem sredstvu ohlajanja, se bo intenzivnost ohlajanja manjšala, prav tako pa je treba računati na razlike v hitrostih ohlajanja med sredino in površino debelejših ulitkov.

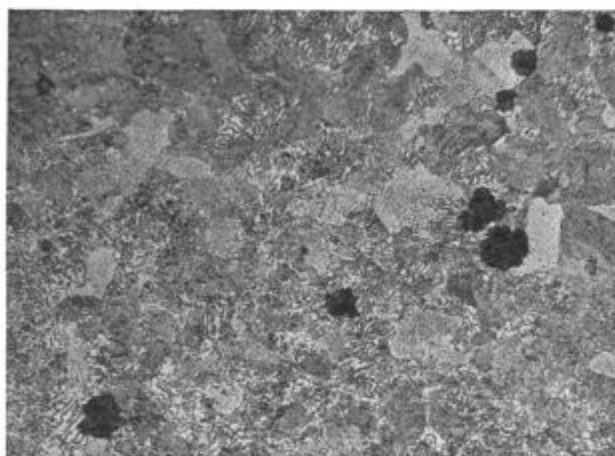
Enostopenjsko žarjenje NGJL

Žarili smo ulitke z debelino stene 25 mm. Ulitke smo žarili pri različnih temperaturah avstenitizacije 875, 900 in 930°C, in to pet ur. Nato smo jih ohlajali v zaprti peči.

Tabela 4 — Mehanske lastnosti po enostopenjskem žarjenju:

temperatura avstenitizacije	875° C	900° C	930° C
natezna trdnost (kp/mm ²)	88,3 94,6	85,0 81,6	83,5 85,6
raztezek (%)	1,8 1,6	2,0 2,0	1,5 1,9
upogibna trdnost (kp/mm ²)	101,2	97,5	114,5
upogibek (mm)	10	9	12
žilavost (kpm/mm ²)	1,4	2,0	2,5
trdota HB (kp/mm ²)	292	298	313

Po enostopenjskem žarjenju dobimo zelo visoke upogibke in visoko žilavost, ki narašča s temperaturo žarjenja. Trdota je nižja od trdote v ulitem stanju in narašča s temperaturo žarjenja.



Slika 6

Struktura NGJL po enostopenjskem žarjenju pri 875° C (nital, 250 ×)

Fig. 6

Structure of SGCS after single step annealing at 875° C (nital, 250 ×)

Upogibna trdnost je pri 875 in 900°C približno enaka trdnosti v ulitem stanju, po žarjenju na 930°C pa naraste. Natezna trdnost in raztezek sta višja, nista pa odvisna od temperature žarjenja.

Po žarjenju dobimo drobnozrnati perlit z nodularnim grafitom. Opazno je naraščanje zrna z višjo temperaturo avstenitizacije.

Dvostopenjsko žarjenje NGJL

Žarili smo po treh temperaturnih postopkih:

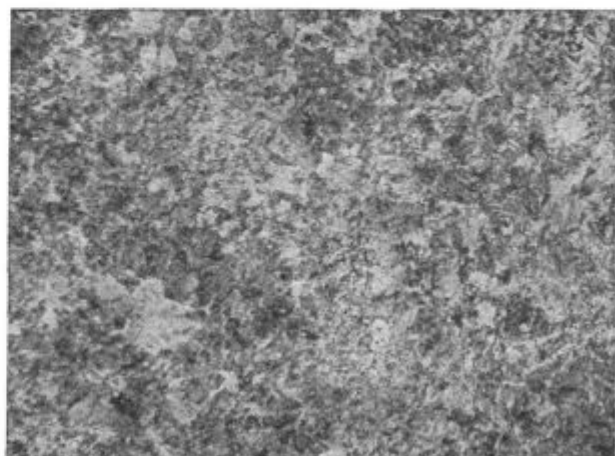
I. Ulitke smo žarili dve uri pri 900°C, nato ohlajali na zraku do 450°C, jih ogreli na 550°C in žarili pri tej temperaturi pet ur, nato pa ohlajali v zaprti peči.

II. Ulitke smo žarili dve uri pri 900°C, ohlajali na zraku do 450°C, jih ogreli na 600°C in žarili pri tej temperaturi pet ur, nato pa ohlajali v zaprti peči.

III. Ulitke smo žarili dve uri pri 900°C, jih ohlajali na zraku do 500°C in jih nato kontrolirano ohlajali s hitrostjo 20°C/h do 300°C, potem pa v zaprti peči.

Tabela 5 — Mehanske lastnosti po dvostopenjskem žarjenju:

temperaturni režim	I	II	III
natezna trdnost (kp/mm ²)	105,2 100,0	65,7 78,2	94,2 —
raztezek (%)	1,6 1,7	1,5 1,7	1,0 —
upogibna trdnost (kp/mm ²)	121,3	105,0	133,7
upogibek (mm)	4,00	3,0	9,0
žilavost (kpm/mm ²)	1,9	2,1	2,3
trdota HB (kp/mm ²)	393	363	404



Slika 7

Struktura NGJL po dvostopenjskem žarjenju pri 900° C in 550° C (nital, 250 ×)

Fig. 7

Structure of SGCS after double-step annealing at 900° C

PREISKAVA ŽARJENE NODULARNE GRAFITNE JEKLENE LITINE NA MIKROANALIZATORJU

Že pri metalografski preiskavi smo opazili dendritna in meddendritna področja. V notranjosti dendritov je osnova finolamelarni perlit, v meddendritnih prostorih pa najdemo tudi fine karbidne kroglice. V notranjosti tega področja najdemo karbidna zrna, ki so često obdana s karbidnimi lamelami, ki kažejo, da je to področje ledeburitnega značaja in da so velika karbidna zrna nastala pred kristalizacijo ledeburita. Drobne karbidne kroglice so verjetno sekundarnega porekla, to je, nastale so pri ohlajanju iz avstenita, ki je bil prenasičen z ogljikom.

Že pri pazljivem opazovanju v metalografskem mikroskopu se opazi, da večja interdendritska karbidna zrna niso enotna. To je potrdila površinska analiza na elektronskem mikroanalizatorju (sl. 10).

Osnova karbida vsebuje predvsem železo, je pa tudi bogata s kromom in vanadijem, vsebuje približno enako mangana kot jeklena osnova in zelo malo silicija. Dendritni zrastki v karbidnih zrnih vsebujejo fosfor, molibden, silicij in vanadij, ne pa kroma, mangana in železa. Tudi ledeburitne lamele okoli velikih karbidnih zrn so bogatejše s kromom kot njihova okolica.

Linjska analiza je potrdila ugotovitve površinske analize, omogočila pa je tudi, da se ocenijo koncentracije. Pot, po kateri so bili posneti profili koncentracije za Si, Mo, Mn, Cr, P, V in Ni, je vidna po diagonali na prvem elektronskem posnetku na sliki 11. Linija se prične malo pred karbidom v meddendritnem prostoru, gre potem skozi dendritni del in se konča za drugim karbidom v meddendritni coni, ki ima dendritni izrastek v sredini.

Krom izceja v karbidnih zrnih in lamelah okoli njih. V dendritnih vključkih v karbidnih zrnih izcejanja ni.

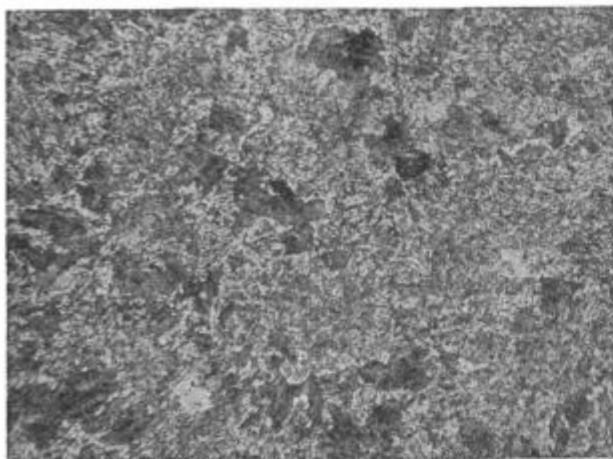
Nikelj ne kaže nobene zaznavne razlike v koncentraciji med sredino in robom dendritov. V karbidih, bogatih s kromom, ni niklja.

Koncentracija molibdena je na robu dendritov ob velikih karbidnih zrnih za 130 % večja kot v meddendritnem prostoru. Močno naraste koncentracija molibdena v karbidnih zrnih, še močneje pa v dendritnih vključkih znotraj le-teh.

Na robu dendritov, na meji z velikimi karbidnimi zrn, je silicija za 30 % več kot v dendritih. V karbidnih zrnih silicija ni, v dendritih v notranjosti teh zrn pa ga je precej več kot v osnovi.

Mangana je nekoliko več ob robu dendritov, kot v notranjosti dendritov. V karbidnih zrnih ga je za 100 % več. V dendritih v notranjosti teh zrn ga je pol manj kot v notranjosti dendritov.

Koncentracija fosforja je na robu dendritov za 120 % višja kot v notranjosti dendritov. Karbid-



Slika 8

Struktura NGJL po dvostopenjskem žarenju pri 900° C in kontinuirnem ohlajanju od 500 do 300° C (nital, 250 ×)

Fig. 8

Structure of SGCS after double-step annealing at 900° C and continuous cooling from 500 to 300° C (nital, 250 ×) and 550° C (nital, 250 ×)

Po dvostopenjskem žarjenju sta trdota in upogibna trdnost višja kot pri enostopenjskem in raste z nižjo temperaturo druge stopnje. Ravno tako rasteta upogibek, ki je nižji, in žilavost, ki je približno enaka kot pri enostopenjskem žarjenju. Natezna trdnost po drugem režimu je nižja kot pri ostalih dveh.

Po prvih dveh načinih dobimo drobnozrnatni perlit z nodularnim grafitom. Po žarjenju po tretjem postopku dobimo perlitnobainitno strukturo.

Žarjenje valjev iz nodularne grafitne jeklotitine

Na podoben način žarimo valje. Seveda so časi žarjenja daljši in so odvisni od premera valja. Po termični obdelavi dobimo finolamelarni perlit, med katerim so fine karbidne kroglice.

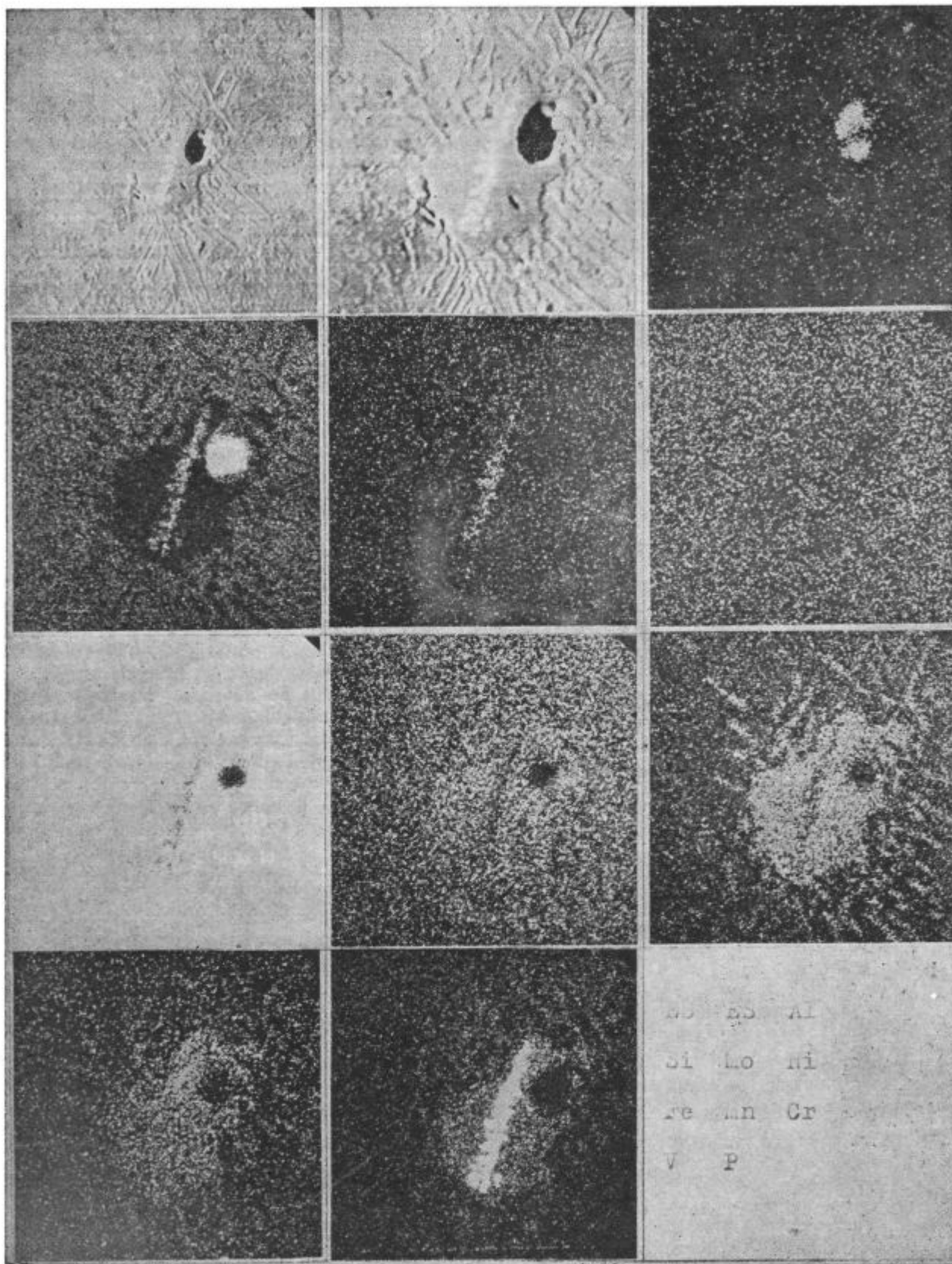


Slika 9

Struktura valja po termični obdelavi (nital, 630 ×)

Fig. 9

Structure of roll after heat treatment (nital, 630 ×)



Slika 10

Elektronske in specifične X slike karbidnega zrna z dendritom v sredini

Fig. 10

Electron and specific X-ray pictures of carbide grain with a dendrite in the centre

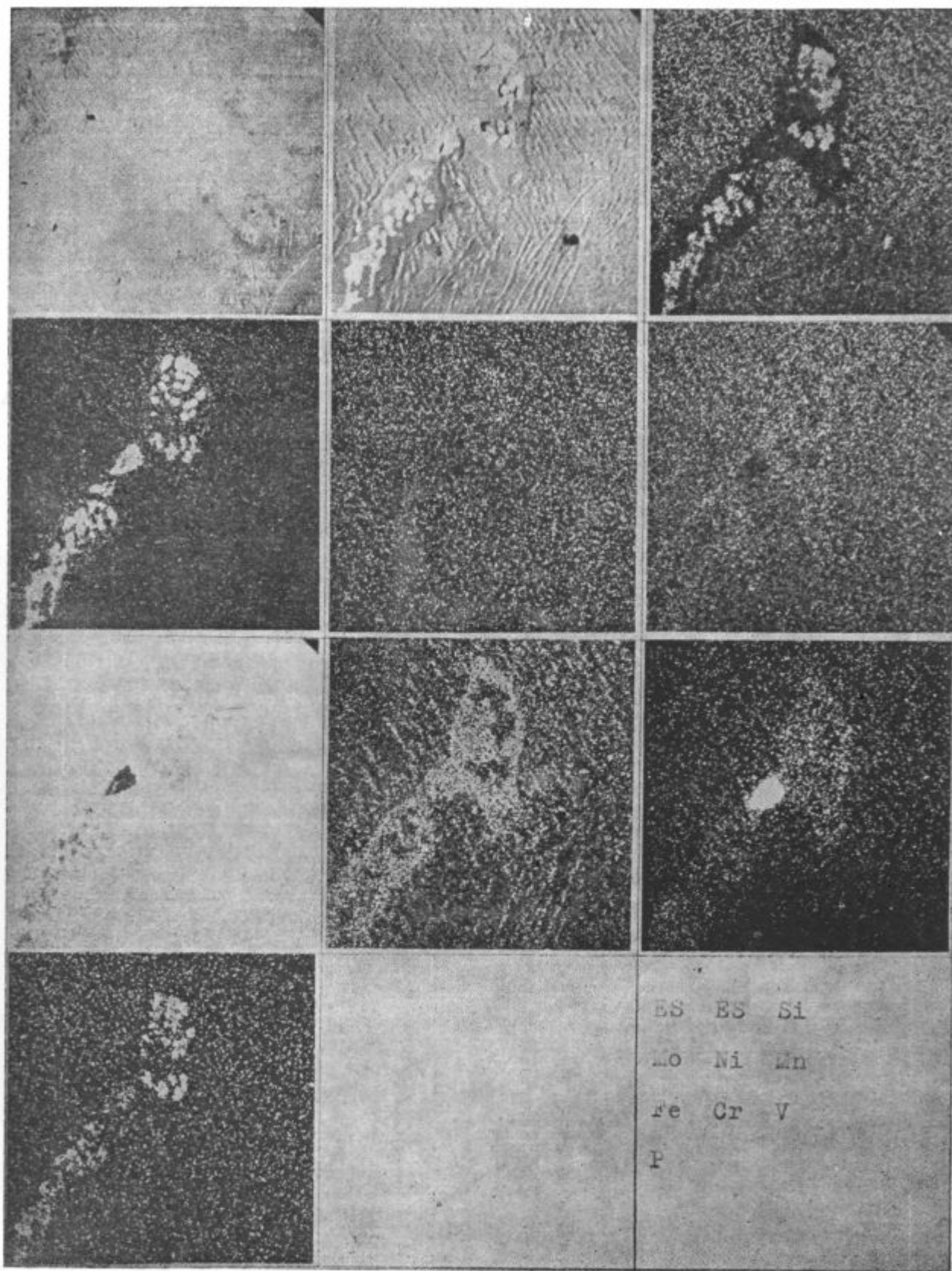


Fig. 11

Path of line analysis and specific X-ray pictures

Slika 11

Pot linijske analize in specifične X slike

na zrna imajo enako vsebnost fosforja kot notranjost dendritov. V dendritnih izrastkih, v njih je izcejanje fosforja izredno močno, saj je njegova koncentracija za 50-krat večja od osnove.

Vanadij v trdi raztopini ne izceja. Nekoliko več ga je v karbidnih zrnih. Mnogo več pa ga je v zrnih vanadijevega karbonitrida, ki vsebuje le sled drugih legirnih elementov, in so navadno tudi zraščena z velikimi karbidnimi zrni.

LASTNOSTI IN UPORABA NODULARNE GRAFITNE JEKLOLITINE

Rezultati mehanskih preiskav kažejo, da je NGJL enaka jeklolitini in boljša od sive litine s kroglastim grafitom. Poleg tega ima nodularna jeklena litina zelo dobro dušilnost. Odlična lastnost NGJL pa je odpornost proti obrabi. Obraba je mnogo manjša kot pri legirani jeklolitini in sivi litini s kroglastim grafitom.

Nodularna jeklolitina se uporablja za zobnike, ročične gredi, avtomobilske dele itd. Zelo uspešno se NGJL uporablja za valje, posebno za blooming in predogrodja.

ZAKLJUČKI

1. Grafitna nodularna jeklena litina se pridobiva z dodatkom ustrezne kalcijeve zlitine v tekoče jeklo eutektoidne ali nadeutektoidne sestave.

2. Brez težav dobimo perlitno litino pri naslednji sestavi:

C	1,2—1,5 %
Si	1,2—1,5 %
Mn	0,7—1,5 %
P	min
S	pod 0,02 %
Cr	0,2—0,6 %
Ni	max 0,2 %
Mo	0,2—0,4 %

3. S termično obdelavo izboljšamo mehanske lastnosti litine.

4. NGJL ima dobro obrabno trdnost in dušilnost.

5. Nodularna grafitna jeklena litina je nagnjena k izcejanju.

Literatura

1. J. Zvokelj: Poročilo o preiskavi NGJL, Poročilo Metalurškega Inštituta v Ljubljani, 1975.
2. F. Vodopivec: Poročilo o preiskavi vzorca litine za valje. Poročilo Metalurškega Inštituta v Ljubljani, 1974.

ZUSAMMENFASSUNG

Sphärolitisches Gusseisen ist Stahl eutektoider oder überutektoider Zusammensetzung mit dem als Kugelgraphit ausgeschiedenem Kohlenstoff. Sphärolitisches Gusseisen wird mit dem Zusatz einer geeigneten Calcium Legierung in den flüssigen Stahl gewonnen. Der Kohlenstoffgehalt des Stahles zur Erzeugung des Kugelgraphite-Gusseisens muss mehr als 0,8 % und Siliziumgehalt mindestens 0,4 % sein. Wichtig ist es, dass bei so niedrigem Siliziumgehalt Kugelgraphit schon im Gusszustand auftritt.

Perlitguss tritt auf bei der Zusammensetzung 1,0 bis 1,5 % C, und 0,4 bis 1,5 % Si. Bei höheren Gehalten an Silizium kommt Ferrit zum Vorschein bzw. man erhält ihn nach dem Glühen.

Nach der Wärmebehandlung können ein martensitisches, bainitisches und perlitisches Gefüge, oder alle drei

zusammen auftreten. Wenn grössere Gusstücke gegläht werden, wo die Abkühlungsgeschwindigkeit des Durchmessers wegen begrenzt ist, können ein feineres perlitische Gefüge und bessere mechanische Eigenschaften als im Gusszustand erhalten werden.

Gusseisen ist zum seigern geneigt.

Eine ausgezeichnete Eigenschaft des sphärolitisches Gusseisens ist die Abriebfestigkeit. Die Abnutzung ist viel kleiner als bei dem legierten Stahlguss und Grauguss mit Kugelgraphit. Neben diesen Eigenschaften besitzt das sphärolitische Gusseisen noch eine sehr gute Dämpfungseigenschaft. Es wird für Zahnräder, Kurbelwellen, Automobileile u. s. w. verwendet. Es wird sehr erfolgreich für Walzen, besonders für Blooming und Vorgerüste angewendet.

SUMMARY

Spheroidal graphite cast steel is steel with eutectoidal or hypereutectoidal composition where carbon is precipitated in form of nodules. Spheroidal graphite cast steel can be manufactured in molten state by adding a corresponding calcium alloy into molten steel. Carbon content must be over 0.8 % and silicon higher than 0.4 %. It is important that spheroidal graphite in cast state is obtained at such low silicon.

Pearlite cast steel is obtained in the composition range 1.0 to 1.5 % C and 0.4 to 1.5 % Si. With higher silicon content, ferrite appears at least after annealing.

With heat treatment martensite, bainite or pearlite structure can be achieved or all the three of them simul-

taneously. If greater castings are annealed where the cooling rate is limited by the size of casting finer pearlite structure is obtained with improved mechanical properties than as cast.

Cast steel is prone to segregations.

The excellent property of the spheroidal graphite cast steel is its resistance to wear. Wear is much lower than with alloyed cast steel and spheroidal graphite grey cast iron. Besides, the graphite cast steel has also very good damping capacity. This cast steel is used for gears, crankshafts, car parts, etc. Very successfully is also used for rolls, especially for blooming and for roughing rolls.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стальное литье с шаровидным графитом представляет собой сталь эвтектического или заэвтектического состава в которой углерод выделен в шаровидной форме. Сталь с шаровидным графитом можно получить при добавке соответственного сплава элемента кальция непосредственно в расплавленный расплав. При этом содержание углерода в расплаве не должно быть менее 0,80 % а кремния не менее 0,40 %. Существенно, что структура шаровидного графита получается при очень низком содержании кремния. Перлитная структура получается при содержании 1,0—1,5 % C и 0,4—1,5 % Si. При более высоком содержании кремния получается ферритная или для ее получения выполняется отжиг. При выполнении термической обработки можно получить мартензитную, бейнитную или перлитную структуру, а также все

эти структуры вместе. В случае отжига более крупных отливок, несмотря на ограниченную быстроту охлаждения образуется мелкозернистая перлитная структура с более благоприятными механическими свойствами в сравнении с отлитым литьем.

Это литье овладевает с склонностью к зейгерванню. Превосходное свойство стального литья с шаровидным графитом это его износостойкость. Изнашивание гораздо слабее чем при сером чугуна с шаровидным графитом. Кроме этого стальное литье с шаровидным графитом имеет очень высокую заглушительность. Примерное назначение литья следующее: зубчатые колеса, кривошипные валы, детали для автомобилей, а в особенности для производства валков для блюминг и обжимных клетей.



SLOVENSKE ŽELEZARNE
tovarna vijakov

plamen kropa

s. p. o.

JUGOSLAVIJA
POŠTA: 64245 KROPA
TELEFON: 70-137, 70-168
BRZOJAV: PLAMEN KROPA
ZIRO RAČUN: 51540-601-11784 SDK RADOVLJICA
TELEX: YU PLAMEN 34524
ŽELEZNIŠKA POSTAJA PODNART



TEHNIČNI BIRO JESENICE 64270 JESENICE, c. M. Tita 22/1
SLOVENIJA — JUGOSLAVIJA

Projektiranje in konstruiranje metalurških naprav

GRADBENO
INDUSTRIJSKO
PODJETJE

LJUBLJANA



TOZD
GRADBENA
ENOTA
JESENICE
N. SOL. O.

GRADIS 30 LET

64270 JESENICE, PRESERNOVA 5 — TEL. 81 840

Kontinuirano ulivanje jekla v železarni Štore

UDK: 669—147
ASM/SLA: D9 q

Srečko Senčič

V zadnjem desetletju se je pričelo uveljavljati v svetu ulivanja jekla preko avtomatiziranih naprav za kontinuirno ulivanje jekla v obliki gredic, predprofilov, slabov in bram. Močno razširitev procesa kontinuirnega ulivanja jekla kaže statistični podatek, da se v svetu uliva že 12 % celotne svetovne proizvodnje surovega jekla, kar znese letno cca 70 milijonov ton. Gospodarska situacija v svetu pa še bolj pogojuje nadaljni razvoj procesa kontinuirnega ulivanja jekla, ker le-ta izkazuje velike ekonomske prednosti proti klasičnemu načinu ulivanja jekla, in sicer:

- manjša investicijska vlaganja,
- manjše delovne površine,
- večji izkoristki,
- manj delovnih operacij,
- manjši predelovalni stroški,
- manj delovne sile,
- možnosti popolne avtomatizacije procesa.

Poleg naštetih ekonomskih prednosti pa danes ugotavljamo že tudi vrsto tehnoloških prednosti. Železarna Štore je sledila razvoju procesa kontinuirnega ulivanja jekla in ga uvedla v svoj proizvodni program ob koncu leta 1973.

V članku je podan opis naprave, kratek opis uvajanja izmen ali del. skupin, tehnološki pogoji ulivanja, rezultati proizvodnje v letu 1974 in v začetku leta 1975 ter kontrola kvalitete ulitih konti gredic.

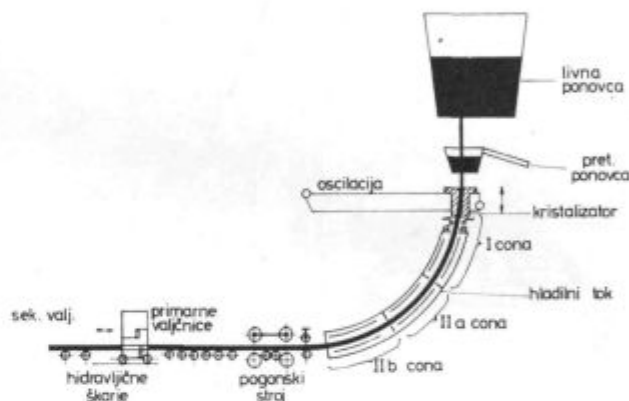
UVOD

Štirižilna naprava za kontinuirno ulivanje jekla, na kateri se pridobijo gredice manjšega formata, je locirana v kompleksu Štore II v sklopu nove jeklarne in valjarne. Sama naprava je postavljena tako, da se livni sistem naprave nahaja v območju žerjava, ki služi za transport ponovc s tekočim jeklom od prve peči (v perspektivi tudi od druge) direktno na napravo, hladilne klopi pa so inštalirane v hali valjarne, kjer se gredice skladiščijo. S tem smo optimalno izkoristili lokacijo obeh objektov in dosegli izredno kratke transportne poti. Na napravi se uliva celotna proizvodnja jekla 40-tonske elektroobločne peči.

Srečko Senčič je diplomirani inženir metalurgije in vodja TOZD proizvodnje 114. panoge v železarni Štore

KARAKTERISTIKE IN OPIS NAPRAVE ZA KONTINUIRNO ULIVANJE JEKLA

Instalirana naprava za kontinuirno ulivanje jekla firme Concast je proizvod francoske firme CREUSOT-LOIRE. Shema te naprave prikazuje slika 1, slika 2 pa napravo med obratovanjem.



Slika 1
Shema konti naprave

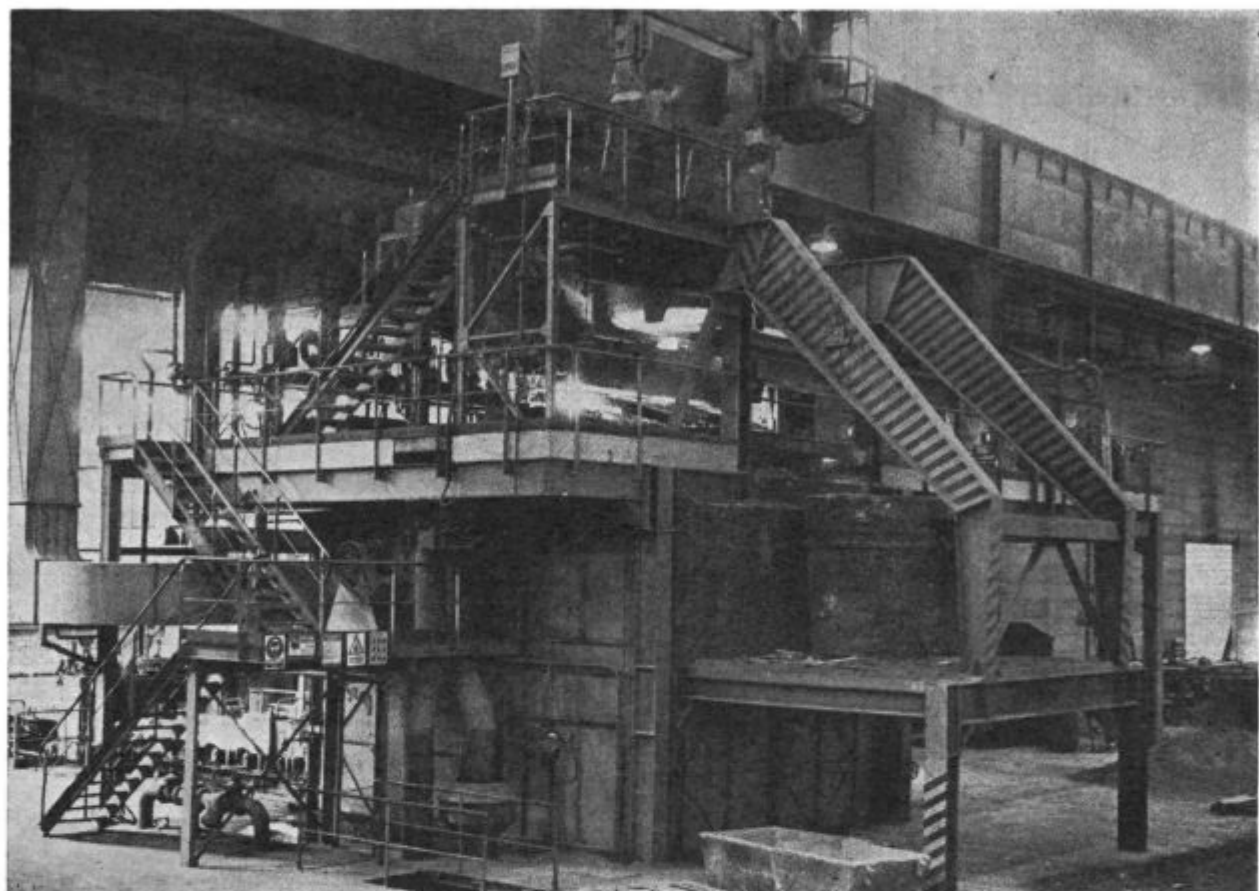
Fig. 1

Scheme of the «conti» machine

Naprava tip S-5 je krožnoločne izvedbe in ima naslednje karakteristike:

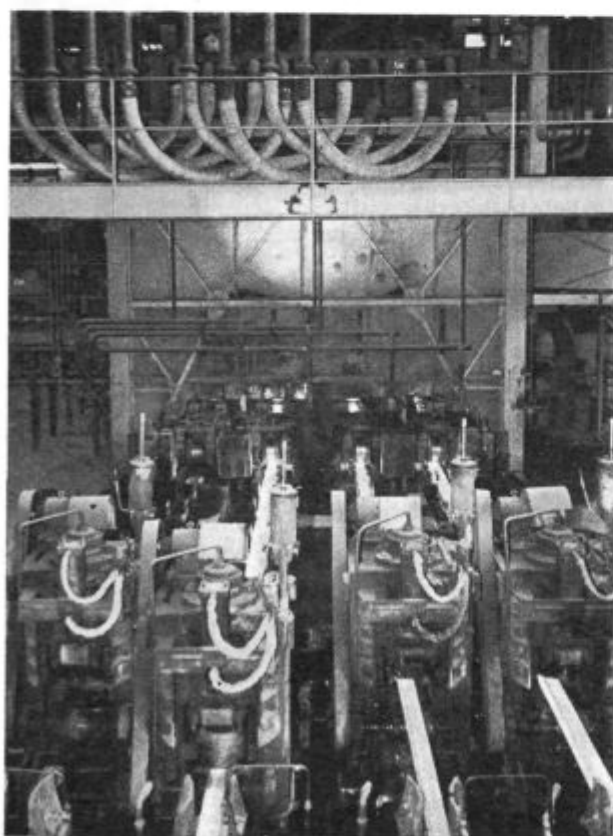
- radij naprave je 5 m,
- najvišja točka naprave je nosilec glavne ponovce na koti + 8,50 m,
- livni podest je na višini 5,40 m,
- transportni del naprave je na koti + 0,60 m,
- temelji naprave segajo v globino — 2,30 m, z izjemo dveh jaškov na koti — 5,50 m, ki služita za zbiranje odrezkov konti gredic.

Iz podanih podatkov je razvidno, da je glavni del naprave iznad nivoja in je zaradi tega zelo dostopna in enostavna za vzdrževanje. Na napravi je možno ulivati gredice v formatih 80 × 80 mm, 100 × 100 mm, 120 × 120 mm in 140 × 140 mm. Dolžine rezanja gredic so z ozirom na potrebe naše valjarne omejene na min. 2 m in max. 3 m. Možno je rezati krajše in daljše dolžine gredic, pri tem pa bi bilo potrebno izvesti delno rekonstrukcijo hladilne klopi. Letna kapaciteta naprave je 190.000 ton konti gredic ob uvedbi sekvenčnega načina vlivanja.



Slika 2 in 2a
Konti naprava med obratovanjem

Fig. 2 and 2a
»Conti« machine during operation



Glavni deli naprave

- 1 nosilna konstrukcija naprave,
2. voziček za prevoz pretočne ponovce,
3. pretočna ponovca,
4. kristalizator z mehanizmom za oscilacijo,
5. hladilna komora,
6. vodilo gredice,
7. pogonski stroj s hidravličnim agregatom,
8. primarni del transportnih valjčnic,
9. hidravlične škarje,
10. sekundarni del transportnih valjčnic,
11. kasete z začetniki,
12. potisni napravi,
13. hladilna klop s transporterji,
14. komandni pult in strojnica.

Nosilna konstrukcija naprave

Je sestavljena iz težkih jeklenih nosilcev, postavljenih v betonske temelje. Na nosilcih stoji livni podest, ki je delno betoniran, ob samih kristalizatorjih pa zaščiten z ognjestalno opeko. Na nosilne stebre je vezan tudi konzolni nosilec, na katerega se odstavi ponovca s tekočim jeklom.

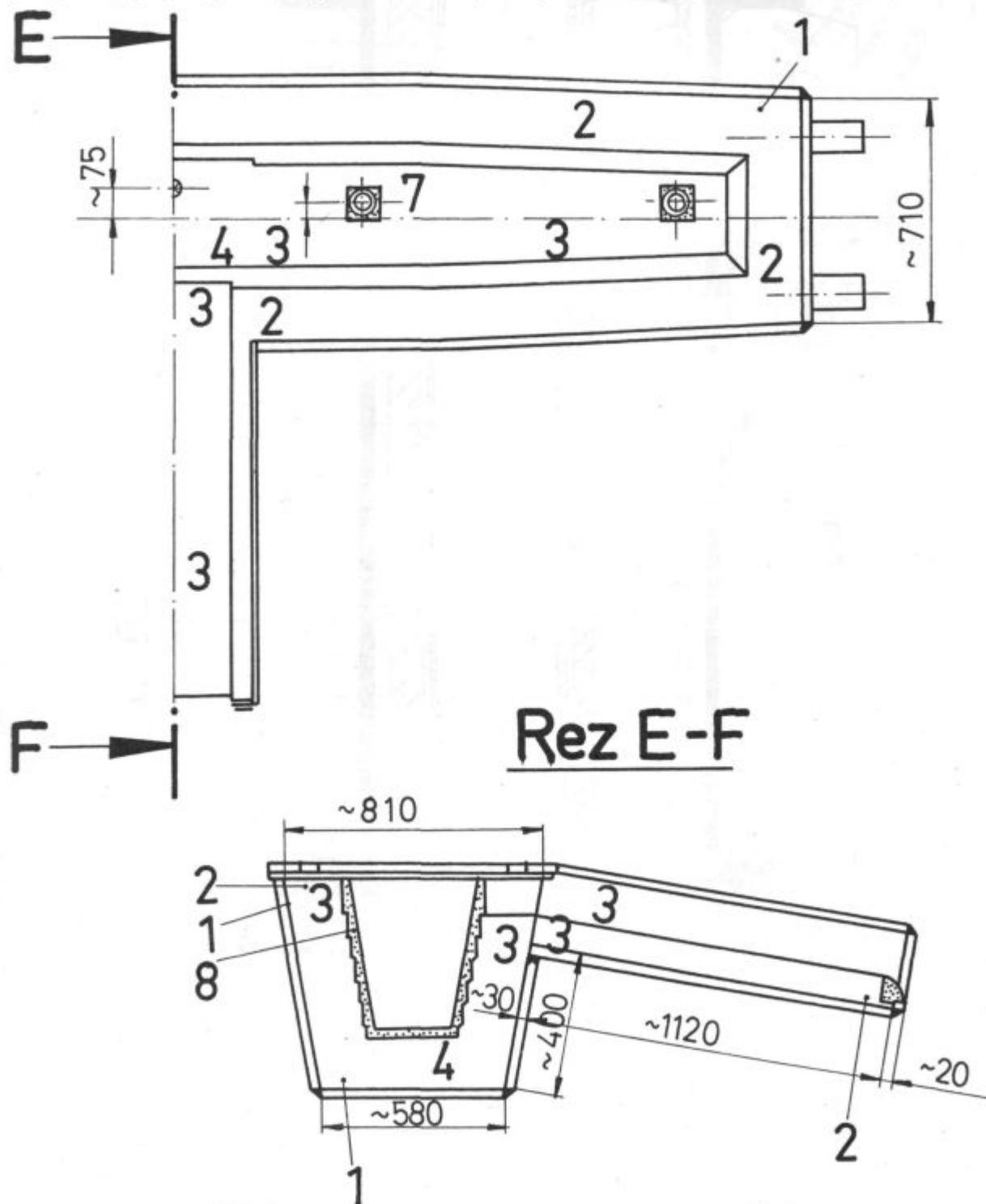
Voziček za prevoz ponovce

Pred pričetkom odlivanja se pretočna ponovca postavi pozidana in posušena na voziček in se zapelje na mesto za predgrevanje. Ponovca se predgreva s tremi gorilniki z mešanim plinom butan-propan-zrak na temperaturo cca 1000° C. Voziček služi za prevoz ponovce iz položaja za predgrevanje v položaj pripravljenosti za pričetek odlivanja

nad posamezne kristalizatorje. Nadalje omogoča enostavno zamenjavo uporabljene pretočne ponovce po končanem ulivanju z novo ponovco.

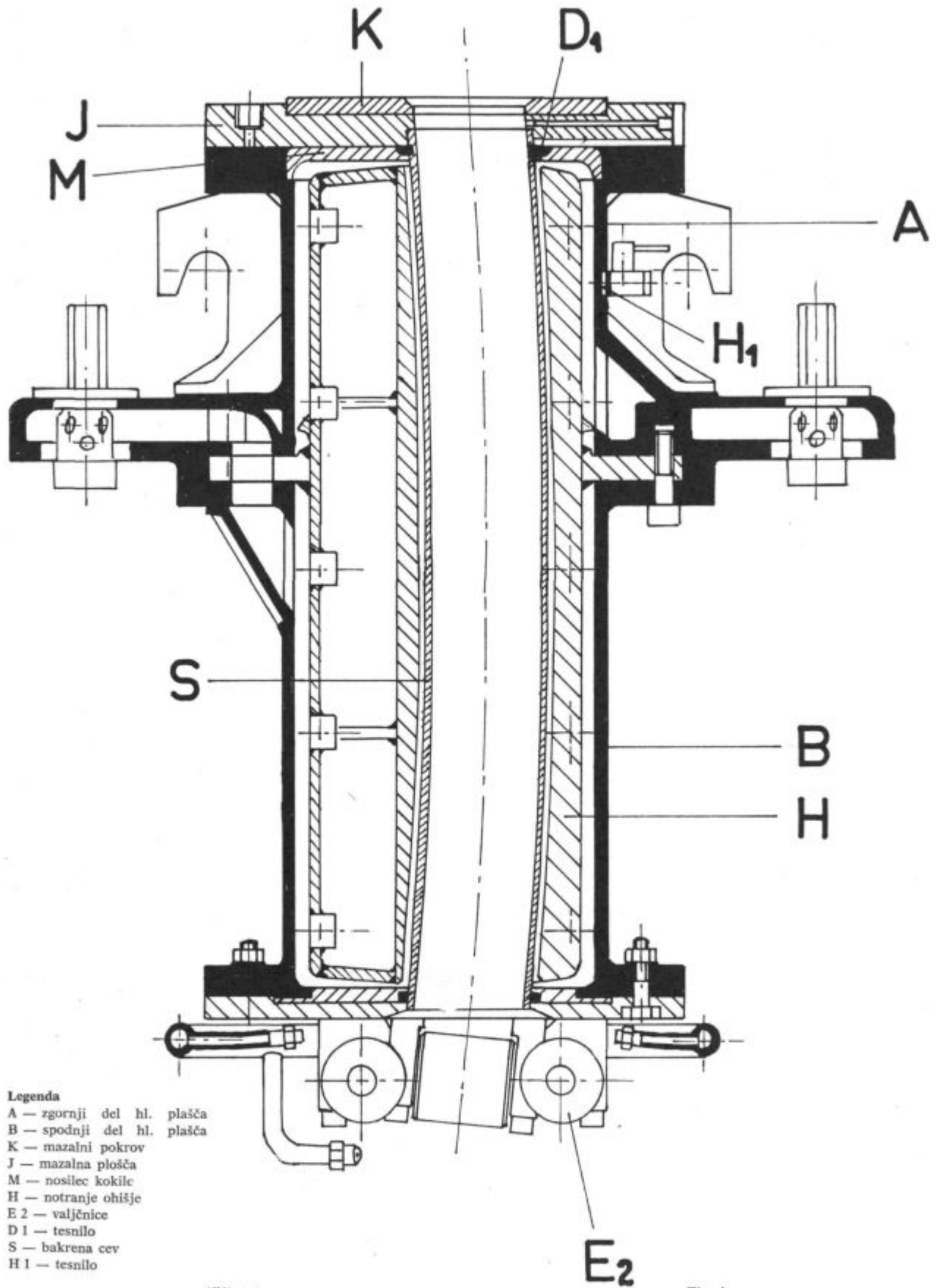
Pretočna ponovca

Obzidava pretočne ponovce je razvidna iz slike 3. V ponovco vgrajujemo cirkonske izlivke s premerom $\varnothing 14$ mm za odlivanje gredic $100 \times$



Slika 3
Pretočna ponovca

Fig. 3
Flow through ladle



- Legenda**
 A — zgornji del hl. plašča
 B — spodnji del hl. plašča
 K — mazalni pokrov
 J — mazalna plošča
 M — nosilec kokile
 H — notranje ohišje
 E 2 — valjčnice
 D 1 — tesnilo
 S — bakrena cev
 H 1 — tesnilo

Slika 4
 Kristalizator kv. 100 mm

Fig. 4
 Mould 100 × 100 mm

100 mm, za format 140×140 mm pa uporabljamo $\varnothing 16,5$ mm. Do sedaj smo uporabljali izlivke v kvaliteti Zr-silikat in se ne kaže potreba po uporabi kvalitete Zr-oksida. Vzdržnost obzidave je povprečno 10 šarž, kar predstavlja porabo cca 18 kg ognjestalnega materiala na tono ulitega jekla.

Kristalizator z mehanizmom za oscilacijo

Oblika in glavni deli kristalizatorja so lepo razvidni na sliki 4. V kristalizator vgrajujemo bakreno kokilo, zakrivljeno v radiusu 5 m. Kokila je znotraj kromirana, delno konična in je dolga 800 mm.

Koniciteta kokile za posamezne formate znaša:

Format	Koničnost od 25–400 mm	Koničnost %/m	Toleranca
140×140 mm	2,5	1,3	$\pm 0,1$
120×120 mm	2,0	0,9	$\pm 0,1$
100×100 mm	2,0	0,75	$\pm 0,1$
80×80 mm	1,5	0,45	$\pm 0,1$

Povprečna vzdržnost kokil je 120 litij, največ pa smo dosegli 324 litij. Po izločitvi se kokile ne dajo več uporabiti, z izjemo kokil, ki jih namensko izločimo ob prehodu na odlivanje kvalitetnih jekel.

Kristalizator oscilira sinusno, pri tem pa je amplituda nihaja od 0–21 mm. Regulacija se vrši z ekscentrom. Ločimo dve vrsti oscilacije glede na frekvenco nihanja in sicer:

- počasna 106 nih/min (za 120 in 140 kv.)
- hitra 158 nih/min (za 100 in 80 kv.)

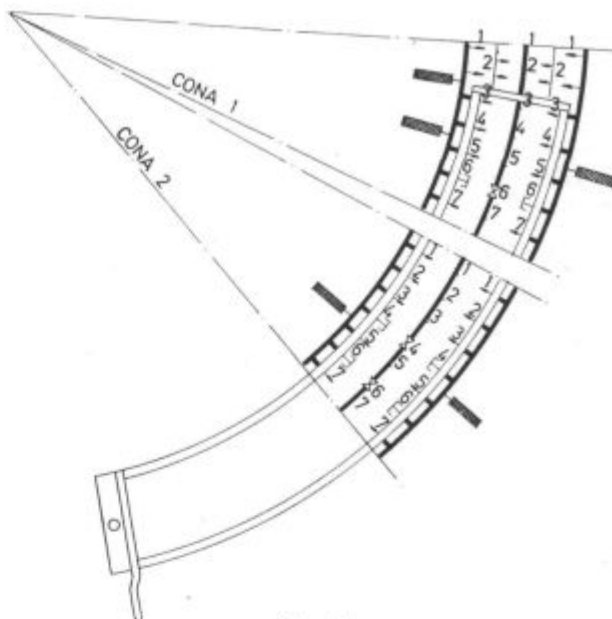
Odgovarjajočo amplitudo nihaja izračunamo glede na potrebno hitrost odlivanja.

Hladilna komora

Je med ulivanjem zaprta in nedostopna. V radiju 5 m so postavljena 4 enodelna vodila, na enem koncu vezana kot podaljšek kristalizatorja, na drugem koncu pa postavljena na ležišče ob pogonskem stroju. Na vsakem vodilu so na vseh štirih straneh nameščene cevi s šobami za direktno hlajenje gredice z vodo. Razdelitev hladilnih con in število šob je razvidno na sliki 5.

Pogonski stroj

Ima dve funkciji, in sicer izvlači in ravna gredice. V stroju sta vgrajena dva pogonska valja (zgornja) in dva prosto se vrteča valja (spodnja). Ker so se nam ob pričetku obratovanja gredice krivile, smo med dva prosto vrteča se valja vgradili še dva valja. Pritisk na valjih pogonskega stroja je med 12 in 20 atm, odvisno od kvalitete jekla, ki se uliva.



Slika 5
Sekundarno hlajenje

Fig. 5
Secondary cooling

Hidravlične škarje

So pomične, z nastavljivo hitrostjo pomika. Pot škarij je dolga 1 m. Max. možni delovni pritisk cilindra z noži je 400 atm. Trenutno dosegamo v odvisnosti od temperature in kvalitete gredice povprečni delovni pritisk 180 atm. Vgrajeni noži vzdržijo povprečno 700 ur obratovanja.

OBSEG UVAJANJA DELAVCEV IN OSVAJANJA TEHNOLOGIJE ULIVANJA JEKLA NA »KONTI« NAPRAVI

S »konti« napravo smo pričeli obratovati dne 29. oktobra 1973. Mesec dni smo ulivali na napravi po eno ali dve šarži z eno izmeno. Istočasno pa smo priučevali delavce za formiranje druge izmene. S 1. decembrom smo prešli na dvoizmenski način dela in takoj pričeli s priučevanjem delavcev za tretjo izmeno. Po treh mesecih poizkusnega obratovanja smo prešli na troizmenski način dela. Na štiriizmenski način dela pa smo zaradi pomanjkanja delavcev prešli šele 20. maja 1974.

Že po treh mesecih smo lahko zasledili zelo ugodne ekonomske učinke, ki so bili rezultat hitrega usposabljanja delovne sile in osvajanja tehnologije ulivanja različnih kvalitet jekel. Tabela 1 podaja pregled vrst jekel, ki smo jih osvojili v tromesečnem obdobju obratovanja. Nadalje tabela podaja karakteristične pogoje vlivanja, ki jih dosegamo.

Po doseženih rezultatih smo usmerili osvajanje in raziskovalno delo v letu 1974 predvsem na:

Tabela 1 — Tehnološki parametri iz osvajanja odlivanja jekel na konti napravi

Vrsta jekla		Temperatura v peči	Temperatura v ponovci	Temperatura v pretočni ponovci	Hitrost ulivanja	Izplen
JUS	DIN	°C	°C	°C	m/min	%
Č. 0200	St 37 — 11	1650 — 1660	1630 — 1640	1570 — 1580	2,8 — 3,3	98
Č. 1121	Ck 10	1650 — 1660	1630 — 1640	1570 — 1580	2,8 — 3,3	98
Č. 1531	Ck 45	1630 — 1640	1610 — 1620	1550 — 1560	2,7 — 3,0	98
Č. 1731	Ck 60	1610 — 1620	1590 — 1600	1530 — 1540	2,5 — 3,0	98
Č. 2133	55 Si 7	1590 — 1600	1590 — 1600	1530 — 1540	2,2 — 2,8	97
Č. 3134	50 Mn 7	1630 — 1640	1610 — 1620	1540 — 1550	2,5 — 3,0	97
Č. 4732	42 Cr Mo 4	1630 — 1640	1610 — 1620	1540 — 1550	2,5 — 3,0	97

— postopno optimizacijo izkoriščenosti »konti« naprave, izpopolnjevanja tehnologije in dokumentacije tehnoloških predpisov,

— izpopolnitev instalirane opreme in potrebne dodatne opreme,

— izpopolnitev celotne tehnologije od izdelave šarže v elektropeči do končnega izdelka za najpomembnejše skupine nizkolegiranih konstrukcijskih jekel,

— sistematično primerjavo stroškov med »konti« gredico in gredico, izvaljano na blumingu,

— osvajanje ulivanja novih kvalitet nizkolegiranih konstrukcijskih jekel.

Rezultati izvajanja sprejete usmeritve v osvajanje in raziskovalno delo se kažejo v proizvodnih rezultatih za leto 1974, še bolj izrazito pa v prvih štirih mesecih leta 1975 in jih podaja tabela 2.

Iz tabele je razvidno, da imamo v letu 1974 po mesecih največji izpad proizvodnje konti gredic pod postavko »ostale napake«, temu pa sledita skoraj z enakim količinskim deležem »predori in spuščanje zamaška«.

Pod »ostale napake« razvrščamo vse šarže, ki se niso dale uliti do konca na konti napravi zaradi tehnoloških napak (slabo dezoksidirana šarža, prenizka temperatura, previsoka vsebnost aluminija) in elektromehanskih okvar konti naprave.

Pri tem je delež tehnoloških napak 75 %. Bistven napredek je opazen v zadnjih mesecih leta 1974 in v prvih mesecih letošnjega leta, ko smo se odločili, da v primeru, če se naprava pokvari, prenehamo z ulivanjem jekla v kokile, temveč vračamo jeklo v peč.

Še boljše rezultate pa pričakujemo, ko bomo nadomestili zamašni drog s hidravličnim zasunom in z vgraditvijo mehanizma za avtomatsko regulacijo hitrosti ulivanja na konti napravi.

Kvaliteta materiala

Ob pričetku obratovanja smo uvedli kontrolo kvalitete konti gredic in jo razdelili na dve področji:

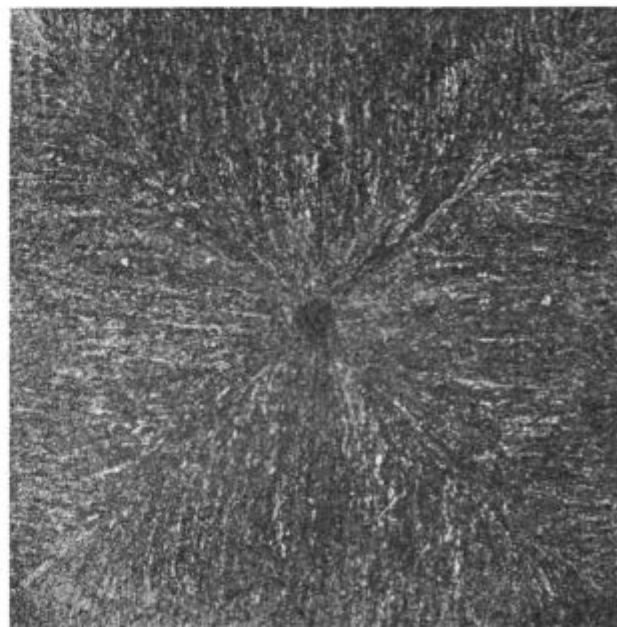
1. vizuelna kontrola,
2. analiza in raziskava odvzetih vzorcev posameznih šarž in žil.

Ker bomo o metodah kontrole kvalitete konti gredic podali v enem od naslednjih prispevkov širšo informacijo, ne navajam površinskih napak in metod kontrole. Poudariti pa je potrebno, da je medfazna kontrola konti gredic med jeklarno in valjarno osnovni pogoj za kvaliteten polizdelek in doseganje visokih izkoristkov pri valjanju.

Pri vrsti raziskav na odvzetih vzorcih smo zasledovali predvsem pojave:

- poroznosti tik pod površino in v centru,
- notranjih razpok,
- nekovinskih vključkov,
- segregacije.

Poroznost tik pod površino smo zasledili takoj v začetku pri izdelavi mehkih kvalitet. Z izpopolnitvijo dezoksidacijskega postopka in z limitiranjem spodnje meje vsebnosti silicija v jeklu na 0,20 % omenjene napake ne zasledimo več.



Slika 6
Jeklo Č. 0200 — centralna poroznost
Fig. 6
Steel C. 0200 — central porosity

Tabela 2 — Proizvodnja konti gredic 1974

	Skupaj	Jan.	Febr.	Marec	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Avg.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
Proizvodnja (t)	45.293	2.422	3.620	3.753	3.661	4.177	4.402	3.842	4.261	4.360	4.251	4.388	5.224
Štev. šarž	1.210	64	94	98	94	106	108	96	105	110	104	104	125
Odlito v kokile (t)	3.072	633	332	164	281	242	295	335	193	358	193	—	45
Odlito v kokile (%)	6,8	26,0	9,2	4,4	7,6	5,8	6,6	8,7	4,5	8,1	4,5	—	0,9
Spušč. zamaška (t)	465	75	102	—	24	26	—	104	32	36	66	—	—
Spušč. zamaška (%)	1,1	3,2	2,8	—	0,6	0,8	100	48	60	44	46	—	—
Predori (t)	493	110	—	49	35	—	—	2,8	0,7	0,8	1,5	—	—
Predori (%)	1,1	4,5	—	1,3	0,9	—	2,2	1,2	1,5	1,0	1,0	—	—
Ostale napake (t)	2.124	448	230	115	222	216	195	183	101	278	91	—	45
Ostale napake (%)	4,6	18,3	6,4	3,1	6,1	5,0	4,4	4,7	2,3	6,3	2,0	—	0,9

Proizvodnja konti gredic 1975

Proizvodnja (t)	20.069	4.666	5.132	5.136	5.135
Štev. šarž	487	115	123	126	123
Povratek (t)	502	141	74	178	109
Povratek (%)	2,5	3,0	1,4	3,4	2,1
Spuš. zamaška (t)	126	65	20	38	3
Spuš. zamaška (%)	0,7	1,5	0,4	0,8	—
Predori (t)	91	23	14	41	13
Predori (%)	0,4	0,4	0,3	0,7	0,3
Ostale napake (t)	285	53	40	99	93
Ostale napake (%)	1,4	1,1	0,7	1,9	1,8

Centralna poroznost se pogosto pojavlja kot posledica ulivanja hladnega jekla z visoko livno hitrostjo. S pravilno nastavitvijo tehnoloških pogojev in regulacijo hladilne vode se centralna poroznost omeji na minimum, kot je primer na sliki 6. Izvršene raziskave so nam pokazale, da pojav centralne poroznosti v omenjenem primeru (do 50 mm) ni nevaren, saj se material pri minimalni stopnji redukcije 6:1 pri valjanju zavari.

Notranje razpoke. V začetku smo opazili dva tipa razpok:

- diagonalne razpoke,
- razpoke ob robovih.

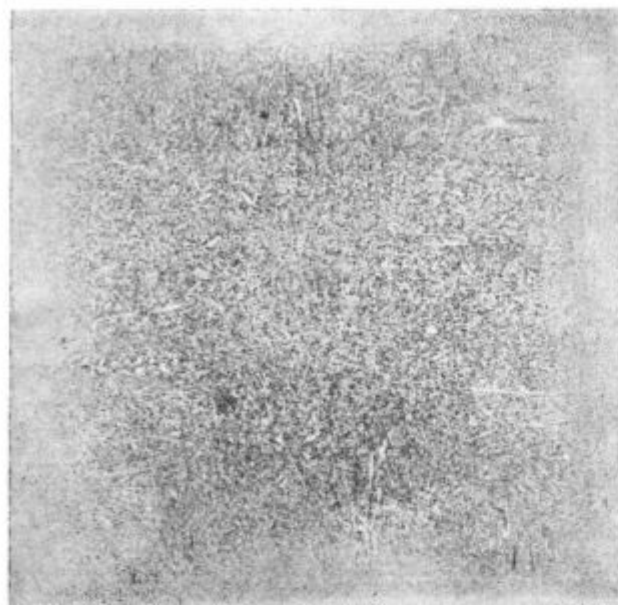
Vzrok za pojav obeh tipov napak je bil v enakomernem sekundarnem hlajenju, prevelikih hitrostih ulivanja, previsokih temperaturah, kakor tudi pomanjkljivi predpripravi določenih delov naprave.

Danes se te napake pojavljajo občasno in so posledica izključno slabe predpriprave določenega dela naprave.

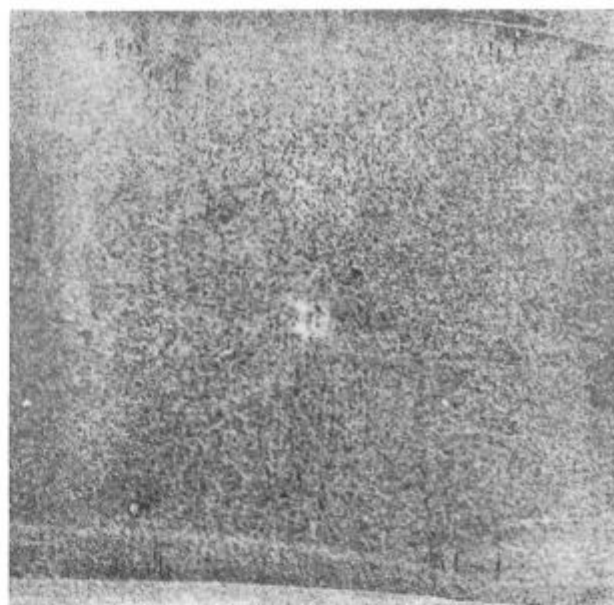
Nemetalni vključki. Izvršene so bile mikroskopske preiskave tako v železarni Štore kot na metalurškem inštitutu. Rezultati preiskav na optičnem mikroskopu in na elektronskem mikroanalizatorju so pokazali, da se pri tehnologiji izdelave šarž, ki temelji na dezoksidaciji s silicijem ustvarja večja količina oksidov in silikatov neugodne oblike, kot je dopustno za kvaliteta jekla. Zato smo izvedli nekatere korekture v uporabi dezoksi-

Tabela 3 — Nemetalni vključki v jeklu po J. K. skali

St. šarže	Vrsta jekla	Sulfidi	Aluminati	Silikati	Oksidi	Vsota
0351	Č. 2130	0,28	0,24	0,36	2,20	3,08
0353	Č. 2130	0,20	0,40	0,12	1,32	2,04
0354	Č. 2130	0,16	—	0,16	2,28	2,60
1259	Č. 1431	0,86	0,06	0,73	1,33	2,98
1263	Č. 1531	1,26	0,16	—	1,23	2,65
1318	Č. 1331	1,50	0,20	—	1,03	2,73
1386	Č. 1221	0,70	0,03	0,66	1,10	2,49



Slika 7
Baumanov odtis
Fig. 7
Sulphur print



Slika 8
Makrostruktura gredice — C. 2330
Fig. 8
Macrostructure of the billet — C. 2330

dantov, za kvalitetna jekla pa smo uvedli prepričljivo z argonom.

Tabela 3 podaja oceno vključkov po primerjalnih etaloni J. K. skale za različne kvalitete, izdelane v različnih obdobjih obratovanja.

Segregacija. Baumanov odtis kaže, da je stopnja segregacije žvepla nepomembna in da je žveplo porazdeljeno enakomerno na presek (slika 7).

Nadaljne preiskave vzorcev iste žile ob začetku in koncu ulivanja so pokazale zavidljivo homogenost kemične sestave jekla. Edino nihanje smo zasledili v vsebnosti fosforja med vzorcem, vzetim na začetku in koncu ulivanja.

Mehanske lastnosti

Izvršena je bila vrsta preiskav, kjer smo primerjali mehanske lastnosti polizdelkov, izvaljenih iz konti gredic in iz ingotov. Vsi rezultati so pokazali, da v mehanskih lastnostih ni bistvenih razlik, do izraza pa so prišle določene prednosti konti

gredic kot finejše in bolj homogeno zrno in minimalne izceje. Povzetek osnovnih pokazateljev preiskav podaja tabela 4.

Zaključek

Konti naprava je upravičila svoj namen postavitve, pri tem je bil dosežen dober kvaliteten nivo proizvedenih gredic, prav tako pa so bile izpolnjene vse predvidene zahteve glede produktivnosti, vklopitve naprave v jeklarski proces, načina vzdrževanja, kakor tudi zamenjava določenih delov naprave, ki smo jih sami postavili.

Z novo tehnologijo ulivanja jekla so bili doseženi pričakovani ekonomski učinki, dosegli smo veliko razbremenitev delovne sile v jeklarni, ostale pa so odprte velike možnosti nadaljne optimizacije proizvodnje z manjšimi investicijami, ki zagotavljajo še večjo eksploatacijo jeklenih proizvodov.

Izvor materiala	Kvaliteta	C %	Mn %	Profil mm	Meja lezenja kp/cm ²	Raztezek %	Trdnost kp/cm ²
Konti gredica	Č. 1220	0,14	0,46	10	34,4	46,8	28,9
Ingot	Č. 1220	0,14	0,50	10	32,8	46,4	26,0
Konti gredica	Č. 2330	0,61	1,10	25 × 12	136,8	147,8	7,2
Ingot	Č. 2330	0,61	1,03	25 × 12	130,1	139,4	9,1

ZUSAMMENFASSUNG

Im Hüttenwerk Store ging am 29. Oktober 1973 im neuen Elektrostahlwerk die Knüppelstranggiessanlage in Betrieb. Nach einer sehr kurzen Inbetriebnahmezeit ist auf dieser Anlage eine grössere Anzahl der Kohlenstoff- und Niedriglegierten Stähle in Betrieb eingenommen worden. Die Produktionsergebnisse im Jahre 1974 und im Anfang dieses Jahres, sowie auch die Untersuchungen der Stahlqualität zeigen, dass die Einschliessung der neuen Anlage in den Stahlerzeugungsprozess im vollen Ausmass erfolgt ist.

Die Stranggiessanlage ist für das Giessen der Knüppel von 80 bis 140 mm im Querschnitt gebaut. Die Kapazität der Anlage ist zur Zeit noch nicht voll ausgenutzt, da sie nur von einem 40 t Lichtbogenofen versorgt wird. Nach der Aufstellung des zweiten Lichtbogenofens und nach Erreichung der geplanten Produktion wird die Anlage optimal ausgenutzt.

SUMMARY

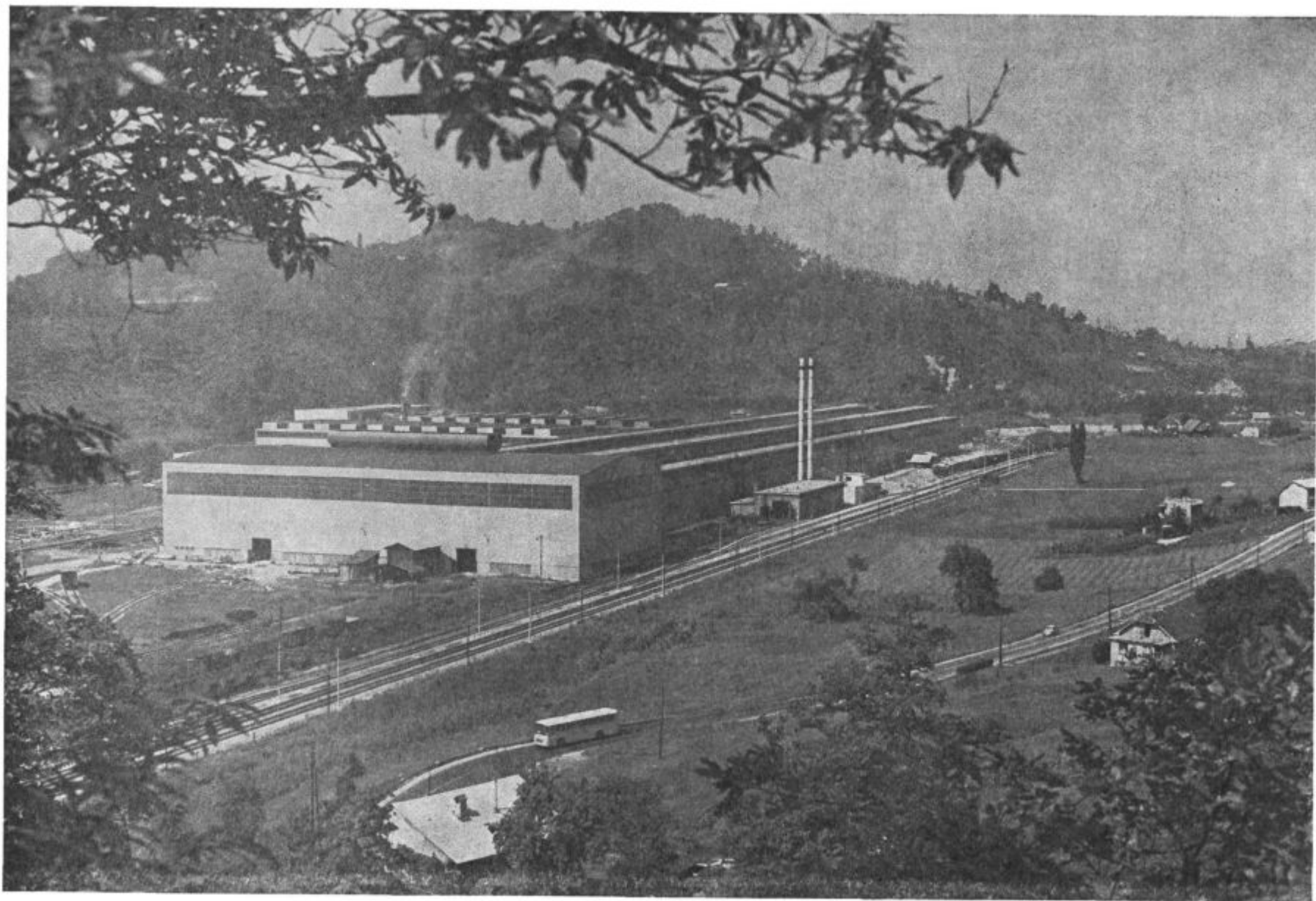
In Store ironworks the new continuous casting machine was given in operation on October 29th, 1973 in connection to the new steel-work. After extremely short testing operation casting of greater number of carbon and low alloyed steel was set in normal production. Production results in 1974 and in the beginning of this year show that introduction of the new machine into the steel-making process was completely successful.

The continuous casting machine where square billets from 80 to 140 mm can be cast is not fully exploited at the moment as steel is produced in 40 t electric arc furnace. Installing the second electric arc furnace will enable optimal exploitation of the casting machine and the planned production will be achieved.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

29. октября 1973 г в Металлургическом заводе Шторе, в составе нового сталеплавильного цеха пущена в эксплуатацию установка для непрерывной разливки стали. Уже после очень короткого времени пробной работы на устройстве усвоили изготовление сравнительно большого количества разных качеств углеродистой и низколегированных сортов стали. Полученные положительные результаты производства 1974 г а также в течении этого года,

кроме того исследования качества материала показали, что включение новой установки в процесс производства стали вполне удачно. Но пока эта установка для непрерывной разливки квадратов 8—140 мм не вполне использована, так как мощность электродуговой печи всего 40 т. установка для непрерывного литья будет использована вполне, как только будет выполнен монтаж второй электродуговой печи.



Pogled na nove obrate Štore II, v ospredju elektrojeklarna in valjarna

Termično dekapiranje v visokem vakumu

UDK: 669.14—153.45
ASM/SLA: 123a, 1-73

Vprašanje mehanizma in sodelujočih faktorjev v procesu

Miroslav Nikolić

Kritičen prikaz sporočil in objavljenih raziskovalnih del na tem področju. Osebna mišljenja in sugestije za nadaljnje raziskovalno delo.

UVOD

Ob priliki razvoja in preizkusov svojih globinskih peči za obojestranski vakuum po l. 1956 je dr. W. Herdieckerhoff slučajno odkril dotodaj neznan fenomen: termično razkrojno dekapiranje v visokem vakuumu brez dodatka kakršnihkoli reduktivov, ki ga je imenoval »Spaltbeize«.

Pojav je naslednji: če npr. vroče valjano žico z oksidno prevleko — škajo na površini žarimo v vakuumu ustrezne stopnje pri ustreznih temperaturi in v času, ki je odvisen od materiala, nastaja nekakšen razkroj oksidne prevleke; kisik na neki način uhaja iz nje, nastaja pretvorba trde kristalinične strukture oksidov v amorfno stanje reduciranih ostankov, ki kot metalna mikroporozna mehka plast ali kožica na površini žice predstavljajo odlično podlago za vlečno mazivo (»Schmiermittelträger«) pri poznejšem vlečenju.

V nekaterih primerih se ti ostanki deloma ohlapno držijo površine žice ter lahko odpadajo.

Tukaj torej ne dosegamo popolne odstranitve oksidne prevleke — škaje kot pri mehničnem ali kemijskem dekapiranju (luženju), temveč v glavnem redukcijo le-te.

Ostanki pri žici ne motijo, temveč — kot omejeno — celo koristijo. Pri vlečenju po nekaj vlekah zginejo s površine. Neprijetni so le pri hladnem valjanju tako dekapiranih trakov, ker se vtisnejo v površino in kvarijo njen videz. Če pa videz površine ni posebno važen (npr. Cr-Ni-trakovi za žarilne elemente), je termično dekapiranje tudi za trakove umestno.

Na osnovi raziskav in večletnih izkušenj je dr. W. Herdieckerhoff¹ s sodelavci prišel do naslednjih spoznanj in ugotovitev:

a) Efekt redukcije je tem težje doseči (daljši čas, višja stopnja vakuuma, višja temperatura, čim večja je afiniteta kovine, ki tvori oksid, do kisika.

Miroslav Nikolić je diplomirani inženir elektrostrojništva ter dolgoletni šef predelovalnih obratov Železarne Jesenice, sedaj v pokoju.

Pri polplemenitih kovinah, kot sta nikelj in baker, nastopa efekt redukcije zelo hitro in pri nizkih temperaturah.

Hidroksid železa (rja) se reducira na 650—700° C, oksidni film železa, nastal pri pomanjkljivem belem žarjenju, pa že na 600° C.

b) Vsebnost ogljika v osnovnem materialu — kovini (C %) pozitivno vpliva na efekt razkroja. Čim višja je vsebnost ogljika, tem nižja je temperatura reakcije ter znaša cca 700° C za jeklo s cca 0,90 % C in cca 1100° C za nizkoogljikno jeklo s cca 0,05 % C.

c) Oksidna prevleka vroče valjane žice iz avstenitnih Cr-Ni-jekel in legur se popolnoma razkroja pri temperaturi 1050° C. Čas je 1 h do 3 h. Navadno je stopnja vakuuma 100 Mikronov, v nekaterih primerih jo je treba dvigniti na 10 Mikronov in le v posebnih primerih povišati celo na 1 Mikron (0,001 Torr), v odvisnosti od vpliva dodatnih elementov za C-stabilizacijo in dr.

Dekapiranje Cr-Ni vlečene žice in prešanih delov poteka po istem postopku.

d) Iz zgornjega je razvidno, da je stopnja vakuuma zelo važen dejavnik pri efektu termičnega dekapiranja — kot sicer tudi pri belem žarjenju v vakuumu. Čim težja je naloga in čim večje so zahteve glede videza površine, tem višja mora biti stopnja vakuuma.

e) Obvezne razlage za fenomen razkrojnega dekapiranja (Spaltbeize) za enkrat še ni mogoče dati. Kvečjemu lahko predpostavimo, da je fenomen, vsakokrat v odvisnosti od temperature in stopnje vakuuma, rezultat dejstva več komponent.

Dr. Herdieckerhoff je tako stališče zagovarjal do svoje smrti, t. j. konec l. 1967, kljub temu da so mu bili znani zaključki raziskovalnega dela, ki bo predmet obravnave.

Mehanizem razkrojnega dekapiranja v vakuumu še ni popolnoma zajet in razčiščen, vendar se postopek v praksi vedno bolj uveljavlja, posebno za obdelavo visokovredne Cr-Ni-žice, kjer so vsi dosedanji postopki luženja dragi in problematični, posebno sedaj iz ekoloških razlogov.

Pri termičnem dekapiranju pa je še ta ugodna okoliščina, da se temperature dekapiranja ujemajo s temperaturami »gašenja« oz. normaliziranja.

Z ozirom na produkcijske programe smatram, da je ta postopek zanimiv tudi za naše železarnice, posebno pa za njihove predelovalne obrate.

Ker pa aplikacija izkustev in empirijskih do- gnanj drugih na analogne lastne primere ne za- varuje vedno pred razočaranji in neuspehi, menim, da je vedno koristno čim bolj poznati bistvo in mehanizem apliciranega postopka ali naprave.

Na osnovi materiala, sprejetega l. 1970 od tvrdke Dr. W. Herdieckerhoff, ter okoliščine, da potlej vse do l. 1974 v dosegljivi strokovni litera- turi (Stahl u. Eisen, Blech, Draht, Draht-Welt) ni bilo mogoče nič novega s tega področja izslediti, je v tem sestavku podan kritičen prikaz članka Dr. R. Ergang-a in Dr. ing. P. H. Huppertz-a: »Ent- zundern von Drähten aus Cr-Ni-Stählen und — Le- gierungen im Vakuum« (Dekapiranje žice iz Cr-Ni- jekel in legur v vakuumu)². Članek je bil najprej objavljen v časopisu »Draht-Welt«, No. 9/1965 in prikazuje raziskovalno delo avtorjev glede osnov- nih dejavnikov fenomena.

V seznamu literature avtorja navajata svoje in tuje publikacije, ki so jima služile pri zamisli in izvedbi predmetnih raziskav.

PREGLED VSEBINE ČLANKA

UVOD: Pod pritiskom zakonskih predpisov o vzdrževanju čistote tekočih in podzemnih voda se je v zadnjih letih za brez kislinško dekapiranje, predvsem žice iz Cr, Ni-jekel in legur, uveljavil po- stopek Dr. W. Herdieckerhoffa na principu žarjen- ja v vakuumu, t. i. termično dekapiranje.

Na podlagi tujih publikacij kot tudi lastnih prejšnjih raziskav sta avtorja prišla do zaključka, da pri ustreznih delovnih pogojih: temperatura 1000—1100°C, vakuum v kotlu 0,01 do 0,10 Torr (10—100 Mikronov), vzrok fenomena »termičnega dekapiranja« ne more biti niti disociacija niti sub- limacija (izhlapevanje) oksidov.

Kot zelo možna razlaga se je vsiljevala predpo- stavka, da ima bistveno vlogo pri tem redukcija škaje s pomočjo ogljika, vsebovanega v osnovnem materialu. Vendar je očitno njegova količina bila nezadostna za popolno redukcijo škaje.

Ker si še ni bilo mogoče ustvariti jasne pred- stave o samem mehanizmu tega termičnega deka- piranja v vakuumu in zajeti vseh vplivnih dejavni- kov, sta avtorja želela z novimi raziskavami, pri- kazanimi v tem članku, dognati zakonitosti tega fenomena, osvetliti predvsem vlogo ogljika, vsebo- vanega v osnovnem materialu, in ugotoviti, če količinsko zadošča za redukcijo oksidne prevleke.

Pregled poskusov

Vsi poskusi so bili izvršeni v napravi, ki je bila narejena in uporabljena že za prejšnje poskuse.

Kot vakuumski prostor je služila kremenova cev, kjer je bil dosežen in vzdrževan vakuum ustre-

zen tlaku od 0,01 do 0,10 Torr (10—100 Mikronov), dokler je bila temperatura lahko uravnavana na željeno višino v območju 900°C do 1150°C.

Za poskusne vzorce je bil uporabljen naslednji material:

a) visokolegirana valjana Cr-Ni-žica 6 mm Ø, kvalitet in analiz po priloženi tabeli 1;

b) kovini Cr in Fe ter oksidi Fe₂O₃, Cr₂O₃ in NiO, kemijsko čisti v obliki prahu;

c) valjana žica 6,5 mm Ø, kvalitete 105 Cr4 za kroglične ležaje, močno oksidirana (škajasta).

Tabela 1 — Kem. sestava vzorcev valjane žice 6 mm Ø

Material	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Fe %
X15CrNi18/8	0,05	0,84	0,96	19,40	9,45	ostanek
NiCr3020	0,06	2,34	1,45	21,20	34,80	≈
NiCr6015	0,05	1,20	1,20	16,45	62,75	≈
NiCr8020	0,03	1,57	0,09	19,00	79,15	0,23

1. serija poskusov

Vzorce valjane žice, kvalitet po tabeli 1. pre- mera 6 mm Ø, katerih absolutne teže so deloma razvidne iz tabele 3., so najprej tehtali in potem žarili v vakuumu, vedno v enakih pogojih: čas 3 h; temperatura 1050°C; vakuum, oz. ustrezní tlak — 0,01 do 0,1 Torr (10—100 Mikron).

Žarjenju v vakuumu je sledilo ponovno tehta- nje, da bi določili izgube teže, prikazane v drugi koloni tabele 2.

Z namenom, da bi dobili potrdilo za predpo- stavko, da je najpomembnejši pri redukciji oksid- ne prevleke ogljik, vsebovan v osnovnem mate- rialu, ki ga — vsaj iz površinskega področja pre- reza — izčrpamo že pri prvem redukcijskem žar- jenju v vakuumu, so iste vzorce zaporedoma ok- sidacijsko žarili 10 h in 20 h pri temperaturah 950°C, 1050°C in 1150°C ter končno še 50 h pri tempe- raturah 1050°C in 1150°C.

Vsakemu oksidacijskemu žarjenju je sledilo redukcijsko žarjenje v vakuumu pri prej navede- nih pogojih ter potem ugotavljanje absolutne teže vzorca. Ker teže vzorcev po oksidacijskih žarjenjih niso ugotavljali, se sprememba teže po vsakokrat- nem redukcijskem žarjenju v vakuumu nanaša na prvotno težo ustreznih vzorcev.

Rezultati te serije poskusov so razvidni iz ta- bele 2. Izrazite izgube, oziroma spremembe prvot- ne teže vzorcev nastopajo res samo po prvem žarjenju v vakuumu. Poznejše spremembe po ciklu- sih oksidacijskih in redukcijskih žarjenj so ob- čutno manjše ter variirajo v plus in minus!

Avtorja smatrata, da rezultati potrjujejo pred- postavko. Potrdilo vidita še v dejstvu, da se svetla površina vzorcev doseže samo po prvem redukcijs- kem žarjenju v vakuumu. Pozneje, že po prvem

Tabela 2 — Rezultati poskusne serije 1.

Material	sprememba teže po 1. vakuum-žarjenju	oksidacijsko žarjenje 10 h pri:	sprememba teže po 2. vakuum-žarjenju	oksidacijsko žarjenje 20 h pri:	sprememba teže po 3. vakuum-žarjenju	oksidacijsko žarjenje 50 h pri:	sprememba teže po 4. vakuum-žarjenju
	g.	°C	g.	°C	g.	°C	g.
X15CrNi188	— 0,0031	950	+ 0,0002	950	+ 0,0004	—	—
NiCr3020	— 0,0100	950	+ 0,0003	950	+ 0,0007	—	—
	— 0,0058	1050	— 0,0012	1050	— 0,0007	1050	— 0,0005
NiCr 6015	— 0,0064	950	+ 0,0002	950	+ 0,0005	—	—
	— 0,0047	1050	— 0,0011	1050	+ 0,0003	1050	— 0,0007
	— 0,0055	1150	— 0,0008	1150	— 0,0014	1150	— 0,0014
NiCr8020	— 0,0011	950	+ 0,0002	950	+ 0,0005	—	—
	— 0,0004	1050	— 0,0002	1050	+ 0,0003	1050	± 0,0000
	— 0,0010	1150	— 0,0004	1150	— 0,0005	1150	— 0,0005

Vzorci: Valjana žica 6 mm Ø.

oksidacijskem žarjenju, niti s podaljšanjem niti s ponovitvijo priključnega žarjenja v vakuumu niso imeli vzorci več svetle površine.

Avtorja omenjata, da jima z ozirom na težave pri tej vsebnosti ogljika v avstenitni strukturi ni bilo mogoče metalografsko spremljati poteka poskusov.

2. serija poskusov

Da bi avtorja dokazala, da se ogljik s površinskega dela prereza žice pretežno porabi za redukcijo oksidov, ne pa da zgori pri oksidacijskem postopku, je bila izpeljana druga serija poskusov.

Prvotno oksidno prevleko vzorcev valjane žice so najprej pojačali z oksidacijskim žarjenjem

Tabela 3 — Rezultati sedanjih in prejšnjih poskusov

Material	Poskusi	Teža pred žarjenjem vzorca	sprememba teže po žarj.	
			absolutno:	%:
X15CrNi188	a.	13,5288 g.	— 0,0031 g.	— 0,0228
	b.	20,0969 g.	— 0,0128 g.	— 0,0638
NiCr3020	a.	15,0026 g.	— 0,0100 g.	— 0,0666
	b.	21,4623 g.	— 0,0135 g.	— 0,0629
NiCr6015	a.	15,2542 g.	— 0,0064 g.	— 0,0419
	b.	25,9807 g.	— 0,0089 g.	— 0,0343
NiCr8020	a.	15,2138 g.	— 0,0011 g.	— 0,0072
	b.	17,3357 g.	— 0,0014 g.	— 0,0081

a: Sedaj obravnavani poskusi

b: Prejšnji poskusi

vzorci: valjana žica

(10 h pri temperaturi 950° C, 1050° C in 1150° C). Temu je sledilo standardno žarjenje v vakuumu (3 h; 1050° C; 0,01 do 0,10 Torr).

Posamezni vzorci te poskusne serije so bili po žarjenju podvrženi ponovnemu oksidacijskemu postopku (10 h pri 1050° C), ki mu je sledilo ponovno žarjenje v vakuumu.

Namen avtorjev je bil tudi s temi raziskavami priti do dokaza, da ogljik s površinskega območja vzorcev v bistvu samo v vakuumu reagira z oksidno prevleko ter da po porabi površinskega ogljika ni nobene reakcije več.

Rezultati te serije poskusov so podani v tabeli 4. Skladno s pričakovanjem so se teže vzorcev pri oksidacijskem žarjenju nekaj povečale, pri naslednjem žarjenju pa zmanjšale. Vendar je izguba teže splošno nekaj manjša kot pri prvi seriji poskusov.

(NB! Ni jasno iz prikaza, ali se zmanjšanje teže po žarjenju v vakuumu nanaša na prvotno težo vzorcev ali pa na povečano težo po oksidacijskem žarjenju!)

Vsekakor avtorja tukaj dopuščata možnost, da ob priliki oksidacijskega žarjenja nastopa delno površinsko razogljčenje; menita pa, da vendar pretežni del vsebovanega ogljika ostaja v osnovnem materialu ter potem pri žarjenju v vakuumu stopa v reakcijo z oksidno prevleko.

Značilno je, da oksidacijsko žarjeni vzorci valjane žice tudi po prvem žarjenju niso postali svetli!

3. serija poskusov

Popolnoma enak postopek kot pri drugi seriji poskusov, le da vzorci niso bili vzeti od valjane žice, temveč od svetlo vlečene, premera 4 mm Ø do 2 mm Ø.

Tabela 4 — Rezultati poskusne serije 2.

Material	oksidacijsko žarjenje 10 h pri	sprememba teže po oksidac. žarjenju	sprememba teže po 1. vakuum- žarjenju	oksidacijsko žarjenje 10 h pri	sprememba teže po oksidacij. žarjenju	sprememba teže po 2. vakuum- žarjenju
	°C	g.	g.	°C	g.	g.
X15CrNi188	950	+ 0,0172	— 0,0050	—	—	—
NiCr3020	950	+ 0,0057	— 0,0019	—	—	—
	1050	+ 0,0083	— 0,0017	1050	+ 0,0036	— 0,0002
NiCr6015	950	+ 0,0037	— 0,0011	—	—	—
	1050	+ 0,0055	— 0,0034	1050	+ 0,0037	— 0,0002
	1150	+ 0,0075	— 0,0045	—	—	—
NiCr 8020	950	+ 0,0014	— 0,0009	—	—	—
	1050	+ 0,0029	— 0,0013	—	—	—
	1150	+ 0,0080	— 0,0010	—	—	—

Vzorci: Valjana žica.

Namen teh poskusov je bil ugotoviti, ali se z žarjenjem v vakuumu da dekapirati, oziroma znova svetlo narediti žico, ki je oksidirana z žarjenjem na zraku.

Zraven je bila tendenca tudi s temi poskusi dobiti dokaz, da po reakcijah prvega žarjenja zaradi pomanjkanja ogljika ni nobene redukcije več. Rezultati so razvidni iz tabele 5

Analogno rezultatom druge serije poskusov oksidacije je imela za posledico gotovo povečanje teže vzorcev, a vakuum-žarjenje gotovo zmanjšanje.

Toda niti pri eni od štirih Cr-Ni-kvalitet ni bila dosežena regeneracija površine, da bi zopet postala svetla! Nekateri vzorci kvalit NiCr 30/20 in NiCr 60/15 so bili podvrženi ponovnemu ciklusu

oksidacijskega žarjenja in žarjenja v vakuumu, toda pri tem niso bile ugotovljene pomembnejše spremembe teže. Avtorja iz tega sklepa, da po porabi površinskega ogljika ni bilo nobenih nadaljnjih reakcij več.

4. serija poskusov

predstavlja logično dopolnilo ostalih poskusov: če primarno ogljik iz osnovnega materiala služi za redukcijo površinske škaže, oziroma oksidne prevleke, potem mora vsebnost ogljika upadati s številom in časom žarjenj v vakuumu. V tem cilju so na vzorcih žice vseh štirih kvalitet opravljali analize vsebnosti C % po žarjenjih v vakuumu zaporedno v času 1 h, 3 h in 8 h, vsakokrat pri

Tabela 5 — Rezultati poskusne serije 3

Material	oksidacijsko žarjenje 10 h pri:	sprememba teže po oksidacij. žarjenju	sprememba teže po 1. vakuum- žarjenju	oksidacijsko žarjenje 10 h pri:	sprememba teže po oksidac. žarjenju	sprememba teže po 2. vakuum- žarjenju
	°C	g.	g.	°C	g.	g.
X15CrNi188	950	+ 0,0118	— 0,0024	—	—	—
NiCr3020	950	+ 0,0014	— 0,0030	—	—	—
	1050	+ 0,0043	— 0,0032	1050	± 0,0000	— 0,0002
NiCr6015	950	+ 0,0059	— 0,0018	—	—	—
	1050	+ 0,0090	— 0,0028	1050	+ 0,0007	— 0,0004
	1150	+ 0,0104	— 0,0038	—	—	—
NiCr 8020	950	+ 0,0008	— 0,0014	—	—	—
	1050	+ 0,0018	— 0,0016	—	—	—
	1150	+ 0,0070	— 0,0024	—	—	—

Vzorci: svetlo vlečena žica

Tabela 6 — Vpliv vakuum-žarjenja na C %.

Material	začetna vsebnost v vzorcu ogljik %	% C po vakuum-žarjenju:		
		1 h 1050 °C	3 h 1050 °C	8 h 1050 °C
X15CrNi188	0,04	0,035	0,03	0,03
NiCr3020	0,06	0,06	0,03	0,02
NiCr6015	0,03	0,03	0,02	0,015
NiCr8020	0,02	0,02	0,02	0,02

temp. 1050° C in pri tlaku 0,01 do 0,10 Torr. Rezultati so razvidni iz tabele 6.

NB! Pri vzorcih kvalitete X15CrNi 18/8, NiCr 60/15 in NiCr 80/20 začetne vrednosti C % se ne ujemajo z navedenimi vrednostmi v tabeli 1!

Razen pri kvaliteti NiCr 30/20, kjer je izkazano razogljichenje najmočnejše, toda potek precej ne-logičen, kažeta kvaliteti X15 CrNi 18/8 in NiCr 60/15 zmerno, toda opazno razogljichenje, dokler ga pri kvaliteti NiCr 80/20 sploh ni.

5. serija poskusov

Ker obstoji možnost, da v tesnem kontaktu ene ali več kovin z več ali z enim oksidom nastanejo suboksidi, ki so, kot je znano, lažje hlapljivi kot nasičeni oksidi istih kovin, lahko pri danih pogojih žarjenja v vakuumu (1050° C; 0,01 do 0,10 Torr) suboksidi nastanejo in izhlapijo.

Za preverjenje eventuelne vloge tega faktorja pri fenomenu redukcije oksidne prevleke je bil namenjen prvi del te serije poskusov.

V kombinacijah, razvidnih iz tabele 7, so kemijsko čiste kovine in nasičene okside v prahu homogeno zmešali, komprimirali v tablete in končno žarili v vakuumu (3 h; 1050° C; 0,01 do 0,10 Torr).

NB! Razmerje posameznih komponent v zmesi ni navedeno!

Tabela 7 — Rezultati vakuum-žarjenja kovin Cr, Fe, Ni in njenih oksidov v zmesi brez in z dodatkom C.

Zmes	skupna teža pred vakuum-žarjenjem g.	izguba teže g.
Cr ₂ O ₃ +Cr	13,7941	0,0017
Fe ₂ O ₃ +Fe	30,8227	0,0002
Cr ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Cr+Fe	30,6511	0,0067
Cr ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Cr+Fe	31,9384	0,0056
Cr ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +NiO+Cr+Fe	30,4071	0,0111
Cr ₂ O ₃ +Cr+C	31,7132	0,0096
Cr ₂ O ₃ +Cr+C	30,9314	0,0110
Fe ₂ O ₃ +Fe+C	30,2730	0,1024
Cr ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +Cr+Fe+C	31,5268	0,0353
Cr ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +NiO+Cr+Fe+C	32,5136	0,0511

Vodilno misel, da če ni nastanka in izhlapevanja suboksidov, ne bo niti zgube teže po žarjenju, potrjujeta samo prva dva rezultata, kot je razvidno iz tabele 7. Pri ostalih je zguba teže zaznavna.

Razlago za ta pojav vidita avtorja le v možnosti, da tablete vzorcev niso bile kompaktno komprimirane, ter da so pri vakuumiranju prašni delci vzorcev bili odsesani.

Sklepata torej, da pri danih pogojih žarjenja v vakuumu še ni nastanka in izhlapevanja suboksidov.

Drugi del poskusov, pri katerih tudi ni omejeno razmerje komponent v zmesi, se nanaša na kombinacije kovin, oksidov in še ogljika v obliki grafita, kot je navedeno v spodnjem delu tabele 7.

Kot je bilo pričakovati po žarjenju pri enakih pogojih kot prej, so zgube teže občutno večje, posebno pri kombinaciji Fe₂O₃ + Fe + C.

6. serija poskusov

Z ozirom na rezultate prejšnjih raziskav F. Bleilöb-a in H. Born-a, ki so pri poskusnem žarjenju valjane žice za kroglične ležaje v vakuumu vedno ugotovila površinsko razogljichenje, toda nikdar nista dosegla posebno lepe svetle površine, sta avtorja izvršila nekaj poskusov z žico za kroglične ležaje, kvalitete 105 Cr4. Uporabila sta valjano žico 6,5 mm Ø, močno škajasto, oziroma oksidirano.

Rezultati so prikazani v tabeli 8.

Navedene so srednje vsebnosti ogljika v začetnem stanju in po izvršenih žarjenjih; tudi zgube, oz. spremembe teže vzorcev po žarjenju, ne pa njih absolutne teže v začetnem stanju.

Vakuum je tudi pri teh poskusih ustrezal tlaku 0,01 do 0,10 Torr.

Kot je iz tabele 8 razvidno, kljub relativno visoki začetni vsebnosti ogljika (1,02 % C), znaša zguba tako pri žarjenju 7,5 h pri 1050° C kot pri žarjenju 5,5 h pri 760° C komaj 0,02 % C. Šele pri žarjenju 24 h pri 1050° C se zguba ogljika poveča

Tabela 8 — Rezultati vakuum-žarjenja jekla 105Cr4

Začetna vsebnost C %	Vakuum-žarjenje 7,5 h 1050° C		Vakuum-žarjenje 24 h 1050° C		Vakuum-žarjenje 5,5 h 760° C	
	izguba teže g.	C %	izguba teže g.	C %	izguba teže g.	C %
1,02	-0,0156	0,99	—	—	—	—
1,02	-0,0170	1,00	—	—	—	—
1,02	—	—	-0,0162	0,96	—	—
1,02	—	—	-0,0218	0,97	—	—
1,02	—	—	—	—	+0,0014	1,00
1,02	—	—	—	—	+0,0021	1,00

Vzorci: valjana žica 6,5 mm Ø.

do 0,06 % C. Značilno je, da avtorja po žarjenju 5,5 h pri 760° C nista ugotovila nobene zgube teže (temveč malo povečanje), še bolj pa je značilno dejstvo, da nikjer nista mogla metalografsko po žarjenju ugotoviti površinskega razogljčenja!

Nerazumljiva pomanjkljivost je, da avtorja nič ne omenjata stanja površine po izvršenih žarjenjih!

Zaključna interpretacija rezultatov poskusov

Avtorja smatrata, da ima glavno, če ne izključno vlogo pri fenomenu redukcije oksidne prevleke z žarjenjem v vakuumu pri navedenih pogojih (čas, temperatura, tlak) čvrsti ali v osnovnem metalu čvrsto raztopljeni ogljik po formuli:



Poudarjata, da tako njihovi lastni prejšnji teoretski izračuni, kot tudi izračuni E. A. Gulbranson-a in G. Naeser-ja, nanašajoči se na ustrezni parcialni tlak ogljikovega monoksida (CO) za to reakcijo, potrjujejo, da je možno v vakuumu 0,01 do 1,0 Torr reducirati čvrste okside s pomočjo čvrstega ali čvrsto raztopljenega ogljika. Nastaja-

joči CO plin pa vakuumske črpalke sproti evakuirajo. Na osnovi svojih in tujih poskusov odklanjata pri danih pogojih možnost sublimacije (izhlapevanja) ali disociacije tozadevnih oksidov (glej priloženi diagram B. Lustmann-a!).

Menita, da rezultati prikazanih poskusov izključujejo tudi predpostavko, da bi kakšno vlogo pri tem termičnem dekapiranju v vakuumu imelo eventualno izhlapevanje nastajajočih suboksidov.

Vpričo poudarjene prioritete važnosti ogljika, vsebovanega v osnovnem materialu, za fenomen termičnega dekapiranja v vakuumu preseneča ugotovitev avtorjev, da količinsko ne zadošča za popolno redukcijo oksidne prevleke, temveč da se njegovo dejstvo omejuje bolj na neposredno se prilagajajočo plast le-te.

S tem naj bi zunanja nereducirana plast zgubljala zvezo z metalno podlago, lahko bi odpadala; na metalni površini pa bi ostajala mehka in porozna reducirana kožica kot koristna nositeljica maziva pri poznejšem vlečenju žice.

Potrdilo za to razlago vidita v pojavu, ki se ga po praktičnem žarjenju valjane jeklene žice v vakuumu da večkrat opaziti, in sicer, da na žici ohlapno visijo še ostanki škaje, ki že pri lahkem tolčenju odpadajo.

Mišljenje dr. Herdieckerhoff-a:

V svojih sporočilih in razpravah zavzema dr. W. Herdieckerhoff do glavne teze obravnavanega članka dr. Ergang-a in dr. ing. Huppertz-a odklonilno stališče.

Priznava, da ogljik, vsebovan v osnovnem jeklu, sodeluje in pospešuje efekt razkrojnega dekapiranja, kar tudi njegova izkustva in dognanja potrjujejo, odklanja pa tezo, da bi ogljik bil primaren, če ne edini faktor pri tem fenomenu. Temu nasproti postavlja naslednji ugotovitvi:

a) Efekt nastopa popolnoma in brezhibno pri leguri Ni/Cr 80/20 in pri bakru, kjer vsebovanega ogljika pravzaprav skoraj ni.

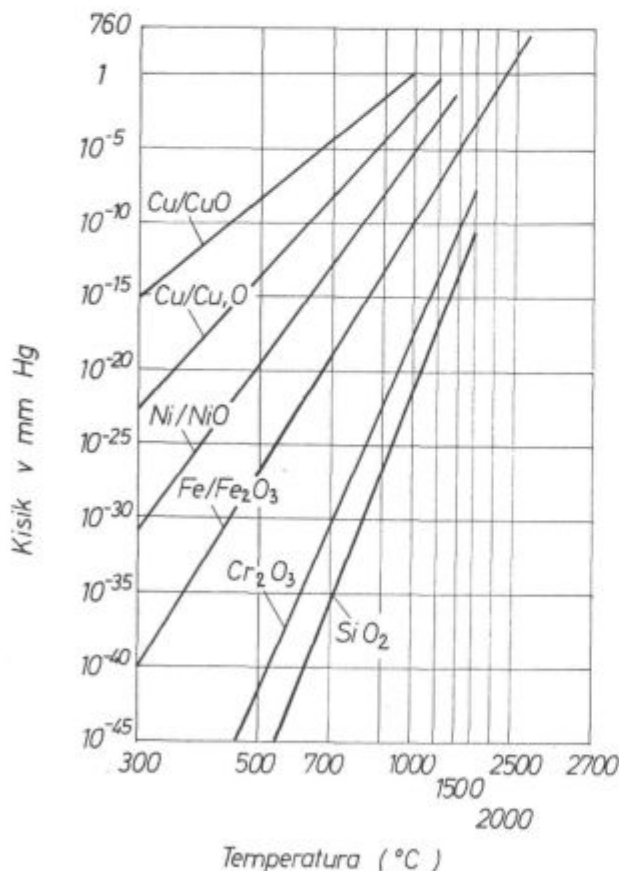
b) Precizne kontrolne analize Cr-Ni-jekla z 0,0451 % C, opravljene v nekem inštitutu, so pokazale popolnoma enako vsebnost ogljika v jeklu pred žarjenjem v vakuumu in po njem (spaltbeize).

Splošno v nobenem primeru ni bilo mogoče ugotoviti dekarbonizacije.

Tukaj bi pripomnil, da sta avtorja članka svoje zaznavne dekarbonizacije dosegla z abnormarno dolgimi in ponavljajočimi se žarjenji, medtem ko v praksi redukcijsko žarjenje traja kvečjemu 1 h do 3 h. Verjetno je to predlog za protislovje.

Obstoji še ena neskladnost med rezultati obravnavanih raziskav in ugotovitvami dr. W. Herdieckerhoffa:

po njegovi izjavi in podatkih je vakuum-postopek uspešno in učinkovito sredstvo za regeneracijo pomotoma oksidirane ali rjaste površine hladno predelanih izdelkov.



Disociacijski tlaki oksidov na črvstih kovinah.

Fig. 1

Dissociation pressures of oxides on solid metals (by B. Lustmann, Steel Proc. 32, 1946)

Dr. Ergang in dr. Huppertz pa po namerni oksidaciji svetlo vlečene Cr-Ni-žice (3. poskusna serija) nista dosegla z žarjenjem v vakuumu prvotno svetle površine. Verjetno so razlog za to abnormavno dolgi časi oksidacije, zaradi tega tudi močnejša oksidna prevleka, ter prenizka stopnja vakuuma.

Umetnost in potreba nadaljnjih raziskav

Iz vsega izloženega je razvidno, da je na tem področju še vedno dosti nalog in nerešenih problemov za raziskovalno delo.

Za podlago bi kot smernice in izhodiščne točke omenil nekatere rezultate obravnavanega raziskovalnega dela ter nekaj nespornih ugotovitev in znanih dejstev:

1. Po tabeli 6 (4. serija poskusov) je pri žici, kvalitete Ni-Cr 80/20, začetna vsebnost ogljika 0,02 % C po vseh žarjenjih v vakuumu ostala popolnoma nespremenjena, torej nobene zaznavne izgube ogljika ni bilo.

2. Značilna je ugotovitev, da se procentualno razogljichenje visokooljicne žice za kroglične ležaje kv. 105Cr4 giblje v enakih mejah kot pri preizkušanih Cr-Ni-jeklih (glej tabelo 6 in tabelo 8!).

Ker je bil premer poskusne žice Cr-Ni-kvalitet 6 mm Ø, jekla kv. 105Cr4 pa 6,5 mm Ø, znaša pri slednjem volumenu, oz. masa na enoto površine samo cca 8 % več kot pri žici Cr-Ni-kvalitet. Torej je težinsko »poraba« ogljika na enoto površine približno enaka pri vseh, kljub navedenemu dejstvu, da je površina žice kv. 105Cr4 bila močno škajasta, oziroma oksidirana.

Po metalografskem pregledu te žice po žarjenjih v vakuumu površinskega razogljichenja sploh ni bilo mogoče ugotoviti.

Upoštevač še dejstvo, da se je vsebnost ogljika v glavnem zmanjšala samo od 1,02 % C na 1,00 % C, kar je pri homogeni razdelitvi ogljika po prerezu zanemarljivo, se lahko reče, da rezultati potrjujejo tezo dr. Herdieckerhoffa, da razogljichenja — posebno površinskega — pri žarjenju vakuumu praktično ni.

3. Kot je znano, so pri žarjenju v vakuumu različne stopnje vakuuma, npr. 100, 10 ali 1 Mikron, različne kvalitetne kategorije, katerih vsaka ustreza nalogam, ki jim sosednja nižja ni kos.³

Za doseg enotnih rezultatov istega poskusa ali vakuum-postopka je nujno potrebno omejiti nihanje predpisanega delovnega vakuuma v čim ožji razpon.

4. Pri visokolegiranih Cr-Ni-jeklih in legurah tenka oksidna prevleka sestoji skoraj povsem iz kromovega oksida Cr₂O₃. Toda pri ostali, posebno pa ogljikovi, vroče valjani žici škaja navadno sestoji iz treh ločljivih plasti: wüstitne (FeO) spodaj, magnetitne (Fe₃O₄) v sredi in hematitne (Fe₂O₃) faze zgoraj. Njihovo razmerje v škaji je odvisno od več faktorjev, vendar se po podatkih v literaturi orientacijsko lahko vzame, da znaša:

FeO-faza : 95—80 %
Fe₃O₄-faza : 4—18 %
Fe₂O₃-faza : 1—2 %

Torej Fe₂O₃-faza (nasičeni oksid) je zanemarljiv del dejanske oksidne prevleke!

Iz navedenega sledi, da škaja ogljikove in nizkolegirane žice že apriori v glavnem sestoji iz suboksidov.

Če upoštevamo možnost izhlapevanja suboksidov pri danih pogojih žarjenja v vakuumu, potem imamo pojasnilo omenjenega pojava ohlapno se držečih ostankov škae (verjetno reducirane) na površini jeklene žice po žarjenju: spodnja vezna plast FeO je izhlapela!

NB! Železov oksid Fe₂O₃ pri temperaturi od cca 1100° C navzgor razpada in prehaja v Fe₃O₄ po formuli: $6\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$.

Torej za osvobajanje kisika na tem temperaturnem področju ni nujna disociacija Fe₂O₃!

ZAKLJUČEK

Čeprav je termično dekapiranje v vakuumu zanimivo predvsem za visokovredne Cr-Ni-kvalitete, smatram, da bi ravno za spoznavanje vloge ogljika bilo smotrno opravljati raziskave na dveh ekstremnih skupinah materiala: kovinah, legurah in jeklih, ki so skoraj brez ogljika, ter na čistih visokooljicnih jeklih s čim manj ostalih primesi (npr. orodno jeklo Č 1940 alias O.C.100). Pri le-teh bi bilo treba temeljito preiskati škaajo, oziroma oksidno prevleko, kar je tem lažje, čim večja je njena debelina.

Pred žarjenjem v vakuumu bi bilo treba ugotoviti nje strukturo po plasteh, srednjo kemijsko sestavo in vsebnost ogljika; po vakuum-postopku pa videz, stanje in kemijsko sestavo. Ta je posebno zanimiva pri ohlapno se držečih ostankih, ki so pretežno ločeni od površine žice.

Po tezi dr. Erganga in dr. ing. Huppertza predstavljajo le-ti nereducirano zunanjo plast škae (vsled domnevnega pomanjkanja ogljika); po tezi dr. Herdieckerhoffa pa so reducirani in mehki, enako kot prilagajoča se kožica na površini.

NB! Razloček je zelo važen glede na brezhibno vlečenje tako dekapirane žice!

Pri valjani žici z razmeroma debelo oksidno prevleko, ki se da lahko in lepo ločiti od metalne površine žice (npr. s pomočjo aparata za mehnično dekapiranje), je možno raziskati odvisnost procesa od medsebojnega vpliva osnovni material — škaja. Možno je namreč enkrat žariti material skupno s škajo na površini, drugič pa ločeno količino škae posebej v vakuumu in ugotoviti spremembe. Poleg ostalih preiskav se lahko vključi še kontrola teže pred žarjenjem in po njem.

NB! Pri tem je treba ukrepati tako, da ne bo prišlo do falsifikata rezultatov. To je možno npr.

z odsesanjem lahkoletičih prašnih delcev vzorčne količine na začetku evakuacije žarilnega prostora. Stvar se da preprečiti, če se vzorčna količina predhodno evakuira pri cca 200°C v istem žarilnem prostoru, potem šele stehta in končno opravi poskusno redukcijsko žarjenje v vakuumu.

Za uspešno eksperimentalno določanje ustreznih pogojev za žarjenje v vakuumu, posebno za Cr-Ni-kvalitete vseh vrst in nians, je potrebno, da poskusna žarilna naprava omogoči delovne temperature vsaj do 1100°C; črpalni agregat pa da

zagotavlja želeni vakuum v žarilnem prostoru v razponu od 100 Mikronov (10⁻¹ Torr) do 1 Mikron (10⁻³ Torr).

Literatura

1. Dr. Werner Herdieckerhoff: Abhandlungen, Mitteilungen, osebne informacije.
2. Dr. R. Ergang, dr. ing. P. H. Huppertz: »Entzundern von Drähten aus Cr-Ni-Stählen und — Legierungen im Vakuum« Draht-Welt No. 9/1965.
3. Dipl. ing. M. Nikolić: »Visoki vakuum kot zaključna faza v razvoju svetlega ali belega žarjenja«. Zelezarski zbornik, Leto 7, št. 3, 1973.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Verfahren, welches nach dem Jahre 1956 Dr. Werner Herdieckerhoff bei der Entwicklung und Prüfung seiner Doppelvakuum-Topfglühöfen entdeckte und »Spaltbeize« nannte, ist schon in der Industrie praktisch eingeführt, vorwiegend zum Entzundern der warmgewalzten Cr-Ni + Drähte.

Doch das Phänomen wurde bisher betreffend Mechanismus und im Prozess mitwirkende Faktoren noch nicht ganz durchgeforscht und geklärt.

Auch die Meinungen darüber sind nicht einig.

Auf Grund seitens der Firma Dr. W. Herdieckerhoff im J. 1970 zur Verfügung gestellten Materials, und des Umstandes, dass nachher, bis zum J. 1974, in dem greifbaren Fach-Schrifttum (Stahl u. Eisen, Blech, Draht, Draht-Welt) keine neuen Beiträge bzw. Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet aufzufinden waren, ist in diesem Aufsatz kritische Darstellung der Abhandlung »Entzundern von Drähten aus Cr-Ni-Stählen und — Legierungen im Vakuum« von Dr. R. Ergang und Dr. ing. P. H. Huppertz gegeben.

Die Abhandlung wurde zuerst in der Fach-Zeitschrift »Draht-Welt«, No. 9/1965 veröffentlicht, und gibt Bericht über die Forschungsarbeit betreffend massgebende Faktoren beim Phänomen des thermischen Entzunderns im Vakuum.

Im Schrifttum geben die Authoren die Unterlagen, bzw. die Publikationen auf, welche sie beim Entwurf und der Ausführung dieser Arbeit benützt haben.

Leider hat auch diese umfangreiche Forschungsarbeit die endgültige Lösung des Problems nicht gegeben.

Mit Schlussfolgerungen ist auch dr. Herdieckerhoff nicht ganz einig, wie es aus seinen Abhandlungen und Mitteilungen zu ersehen ist.

In diesem Aufsatz sind die Unstimmigkeiten aufgewiesen und diskutiert, und anschliessend persönliche Meinungen, auch als Suggestionen und Anweisungen für die weitere Forschungsarbeit, angegeben.

SUMMARY

The method discovered by Dr. W. Herdieckerhoff during the development and testing own annealing pits for the both-side vacuum and called »spalling pickling« is already in industrial use especially for pickling hot rolled Cr-Ni wire.

But the mechanism and influential parameters in the process are not completely investigated and explained yet. Also opinions on it are not uniform.

Based on the printed material received from the company Dr. W. Herdieckerhoff in 1970 and due to the fact that till 1974 no new papers on investigations in this field were published in the professional references (Stahl u. Eisen, Blech, Draht, Draht-Welt) this paper gives a critical review of the paper »Entzundern von Drähten aus Cr-Ni

Stählen und — Legierungen im Vakuum« by Ergang and Huppertz. The paper was initially published in Draht-Welt, No. 9/1965 and presents the research on basic parameters in the phenomenon of thermal pickling in vacuum. In references the authors cite papers which gave them idea and help in performance of those investigations. Unfortunately, also extensive research did not completely solve the problem.

Also Herdieckerhoff does not agree completely with the conclusions of that paper as apparent from his informations and proceedings.

In this paper incompatibilities are shown and discussed, personal opinions are cited, and suggestions and instructions for further research work are given.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Способ которого разработал 1956 г. Др. Herdieckerhoff по случаю развития и исследований в своих нагревательных колодах на взаимный вакуум и назвал »Spaltbeize« (Разложенное декапирование) уже находится в применении в промышленности, главным образом для декапирования горячекатанной Cr-Ni проволоки. Несмотря на это, феномен, что касается механизма и прочих факторов которые участвуют в процессе еще на вполне исследован и разъяснен. Также мнения о нем весьма различны.

На основании материала которого автор этой статьи получил 1970 г. от фирмы Др. W. Herdieckerhoff, а также действия, что все до включая 1974 г. не было возможности в доступной специальной литературе (Stahl u. Eisen, Blech, Draht, Draht-Welt) заследить никаких новых работ, отн. результатов новых исследований в этой области, то в этой работе автор статьи подал критический

осмотр работы Др-а Ergang-а и Др-а P. H. Huppertz-а: »Entzundern von Drähten aus Cr-Ni-Stählen und Legierungen im Vakuum« (Декапирование проволоки из Cr-Ni сталей и сплавов в вакууме). Статья была сначала опубликована в журнале »Draht-Welt«, No. 9/1965, дает описание исследований основных факторов феномена термического декапирования в вакууме. В осмотре литературы авторы приводят документацию, которая им послужила для выполнения предметных исследований. К сожалению эта обширная работа не дала конечного решения проблемы. С результатами исследований не согласен также Др. Herdieckerhoff, что очевидно в его научных работах и опубликованных сообщений.

В этой статье изнесены несовместности а в заключении подало личное мнение автора статьи, а также и рекомендации и инструкции для последующих исследований.

Praktične izkušnje pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel z uporabo kvantitativne metalografije

UDK: 620.18 : 669.14.018.25

ASM/SLA: M 21c; TSh

Jože Rodič

V prvem delu članka o kvantitativni metalografiji ledeburitnih orodnih jekel je bil opisan splošen razvoj kvantitativne metalografije zadnjega obdobja do današnje stopnje. Podrobneje so bile prikazane splošne možnosti, in pomen metodike kvantitativnih metalografskih preiskav pri metalurškem raziskovalno razvojnem delu. Medtem ko je bil prvi del omejen na povzetek obširne literature, so v tem nadaljevanju zbrane praktične izkušnje pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel z uporabo kvantitativne metalografije. Za ožja področja, kot so določevanje količinskih deležev in razporeditve karbidov ter kvantitativno ugotavljanje porazdelitve velikosti karbidov, so podrobneje podane primerjave publiciranih ugotovitev z rezultati lastnih preiskav. Te so bile izvršene v laboratorijih Max Planck Instituta v Düsseldorfu z vzorci jekel Železarne Ravne iz raziskovalnega projekta za ledeburitna orodna jekla, kakor je bilo že v prvem delu navedeno. Ob tem je podan pregled uporabljenih metod s kritičnimi ocenami uporabnosti posameznih variant za nadaljnje raziskave. Specifičnim možnostim in potrebam je bil prilagojen sistem dokumentiranja meritev in statističnih analiz pri vrednotenju rezultatov.

Ob rezultatih meritev količine karbidov je treba posebej opozoriti, da so ugotovljene količine razmeroma zelo majhne, ker so bili karbidi v vzorcih izredno fini z večjim deležem pod sposobnostjo detektiranja ob preiskovalnih pogojih. Razen tega tudi tehniki jedkanja ni bila posvečena posebna pozornost.

Vse izvršene preiskave so bile namenjene predvsem oblikovanju standardizirane metodike, ki bo v nadaljnjem raziskovalnem programu omogočala kvantitativne medsebojne primerjave. Obenem naj bi bila vsaj delno uporabna za neposredno uvedbo v kontrolo kakovosti redne proizvodnje ledeburitnih orodnih jekel. Gre torej predvsem za medsebojne primerjave rezultatov, ne pa za ugotavljanje reprezentativnih karakteristik posameznih vrst jekel, ker bo to šele cilj nadaljnjih raziskav.

Na koncu je podanih nekaj osnovnih informacij o ugotavljanju prostorske porazdelitve velikosti karbidov.

Jože Rodič je diplomirani inženir metalurgije in vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v Železarni Ravne.

UVOD

V programu raziskovalno razvojnega projekta ledeburitnih orodnih jekel, ki ga izvaja Železarna Ravne, so planirane tudi obsežne sistematične raziskave vplivov mikrostrukture na lastnosti orodnih jekel omenjene skupine. Pri tem predstavljajo preiskave s kvantitativno metalografijo zelo pomemben delež.

Ker predstavlja kvantitativna metalografija za nas novo, razvijajoče se področje raziskav, je razumljivo, da smo najprej zbrali vse razpoložljive informacije o splošnem razvoju in današnjih možnostih te nove veje metalografije^{1,2}. V prvi fazi projekta smo želeli na osnovi praktičnih izkušenj in upoštevajoč dane možnosti osvojiti metodiko preiskav v taki obliki, da bi bile v nadaljnjem programu izvedljive obsežnejše primerjalne meritve z enakimi pogoji in ocenjevalnimi kriteriji.

Pokojni prof. A. Rose in dr. H. P. Hougardy sta nam v okviru sodelovanja Železarne Ravne z Max Planck Institutom v Düsseldorfu omogočila v juliju 1974 številne meritve in nam pri osvajanju metodike pomagala z dragocenimi nasveti.

Na razpolago smo imeli popolno avtomatizirano napravo, povezano z računalnikom, s katero smo izvajali meritve na vzorcih naših jekel. Namenoma smo opravili tudi meritve brez računalniških programov in avtomatizacije, da bi ustrezno osvojili metodiko preiskav, kakršna nam bo pristopna že v začetku pri postopnem uvajanju kvantitativne metalografije. Pri tem smo metodiko oblikovali tako, da se meritve izvajajo v okviru možnosti standardne osnovne konfiguracije kvantitativnega TV mikroskopa, za obdelavo podatkov pa smo izkoristili programe, ki so za metode matematične statistike na razpolago v računskem centru Železarne Ravne.

Rezultate lastnih meritev smo primerjali z doslej publiciranimi rezultati o raziskavah ledeburitnih orodnih jekel. Na ta način smo skušali rezultate in uporabljeno metodiko preiskav kritično oceniti ter izbrati optimalne pogoje za nadaljnje preiskave v raziskovalnem projektu.

Uporabo kvantitativne metalografije pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel smo usmerili predvsem k:

— določanju količinskih deležev in razporeditve karbidov ter h

— klasifikaciji karbidov po velikosti karbidnih zrn.

Za meritve na kvantitativnem TV mikroskopu smo uporabili metalografske obruse, kakršne pripravljamo pri normalnih metalografskih preiskavah za potrebe kontrole kakovosti in raziskav. S tem smo želeli kvantitativne in klasične metalografske preiskave med seboj neposredno čim bolj povezati. Skrbeli smo za maksimalni kontrast med karbidi in osnovo, nismo pa uporabili posebne metode in tehnike jedkanja. V zvezi s tem posebej opozarjamo na ugotovitve, ki jih podajamo v zaključkih in komentiranju rezultatov.

Izrednega pomena je nastavitev stopnje detekcije pred meritvijo, zato smo to prepustili izkušenemu metalografu na MPI za delo s Quantimetom in smatramo, da pri tem ni bilo večjih napak, oziroma neenakomernosti nastavitve. Prav nastavitev je najbolj subjektivna in moramo zato za primerjalne meritve zagotoviti kolikor mogoče enak kriterij, kar pa je brez ustreznih izkušenj težko.

O napakah meritev in splošno o metodiki na današnji stopnji razvoja je bilo dovolj povedanega v predhodnih poglavjih. Kolikor je bilo mogoče, smo vse poznano pri praktičnih meritvah skušali upoštevati.

Meritve na Quantimetu so torej kvantitativne, ne smemo pa jih jemati kot absolutne, ker so odvisne močno od kriterijev in rutine metalografa ter objektivnih pogojev pri meritvah. Pri enaki povečavi ter pri enakem kriteriju nastavljanja ostrine in stopnje detektiranja pa so meritve zelo natančne in imajo pri medsebojnih primerjavah veliko vrednost.

Vežanje Quantimeta na računalniški sistem zahteva dokaj obsežno in zahtevno dokumentacijo

računalniških programov in tudi specialni sistem povezave med mikroskopom, TV kamero, ekranom in računalnikom. Potreben je ustrezen razvoj sistema za določeno področje z jasno definiranimi cilji, če hočemo optimalen učinek.

V času izvajanja preiskav je bil dobavljen Max Planck Institutu nov aparat Quantimet 720, ki je v primerjavi s starim modelom močno izboljššan. Žal pa še ni bilo mogoče izkoristiti vseh računalniških programov, ki so bili razviti in prirejeni za starejši model. To nas pri izbiri metode ni motilo, v nadaljnjem programu raziskav pa bo problem povezave med Quantimetom 720 in računalniškim sistemom že v veliki meri rešen, kar bo odprlo nove možnosti.

Preiskovana jekla

Pri kvantitativnih metalografskih meritvah, ki jih obravnavamo pri rezultatih lastnih preiskav, smo uporabili vzorce jekel, za katera so vsebnosti glavnih elementov podane v tabeli 2.

DOLOČANJE KOLIČINSKIH DELEŽEV IN RAZPOREDITVE KARBIDOV

Dosedanje publicirane izkušnje

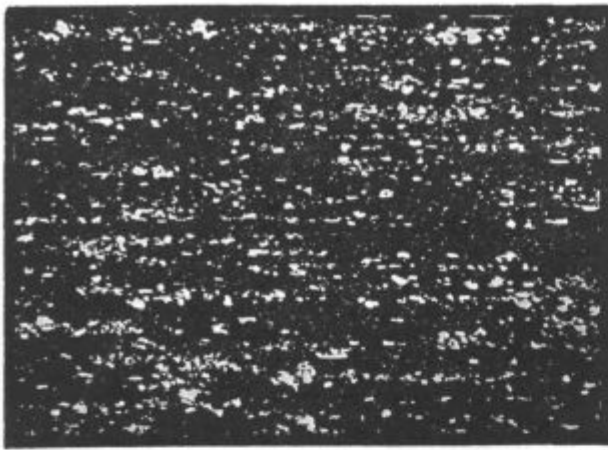
Karbidi v orodnih jeklih nimajo slučajnostne prostorske porazdelitve. Značilnosti mikrostruktur, ki so prikazane s primeri na sliki 31, so posledica procesov izcejanja med strjevanjem in pogojev plastične predelave v vročem.

V različnih pogojih dobimo lahko vse mogoče vmesne stopnje, od mrežaste razporeditve do rahlo trakaste ali skoraj idealno enakomerne porazdelitve karbidnih zrn.

Ce bi želeli pravilno izmeriti količino karbidov kot ploščinski delež te faze v mikrostrukturi, bi

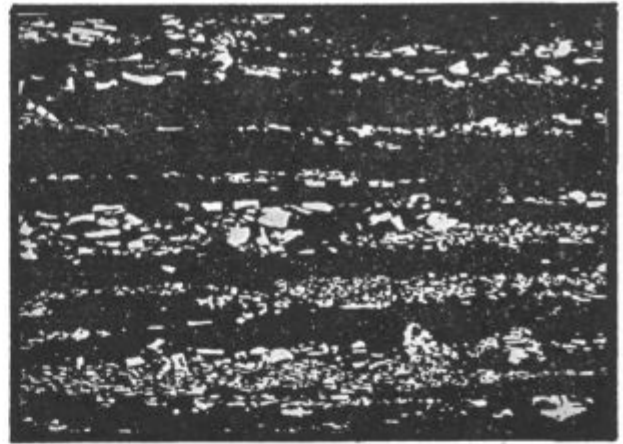
Tabela 2 — Kemijske sestave preiskovanih jekel

Skupina	vrsta jekla	ozna-ka	C %	Cr %	W %	Mo %	V %
I.	2 C — 12 Cr	J	2,01	12,3	—	0,05	0,06
	1,5 C — 12 Cr	K	1,58	12,7	—	0,01	0,01
	1,5 C — 12 Cr — 1 V	L	1,56	12,3	—	0,01	1,05
	1,5 C — 12 Cr — 1 Mo	M	1,57	12,0	—	0,99	0,06
	1,5 C — 12 Cr — 1 V — 1 Mo	N	1,58	12,0	—	0,94	1,15
II.	Č.4150 OCR 12	R	2,03	11,3	0,10	0,06	0,13
	Č.4650 OCR 12 special	S	2,08	11,8	0,85	0,10	0,12
	Č.4750 OCR 12 extra	T	1,59	11,8	1,11	0,66	0,16
	Č.4750 OCR 12 extra	U	1,59	11,9	1,11	0,68	0,18
	Č.4850 OCR 12 VM	P	1,52	11,4	0,10	0,82	0,92
III.	Č.4754 CRV	V	0,91	10,6	0,10	1,05	0,25
IV.	Č.7680 BRM-2	Z	0,82	4,25	6,34	5,07	1,92

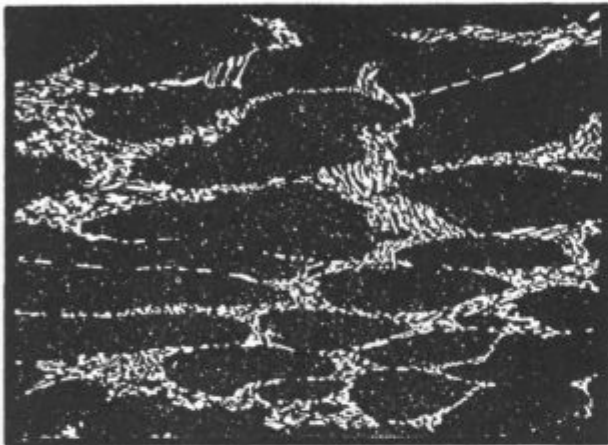


STOPNJA 1ŽR

0,2mm

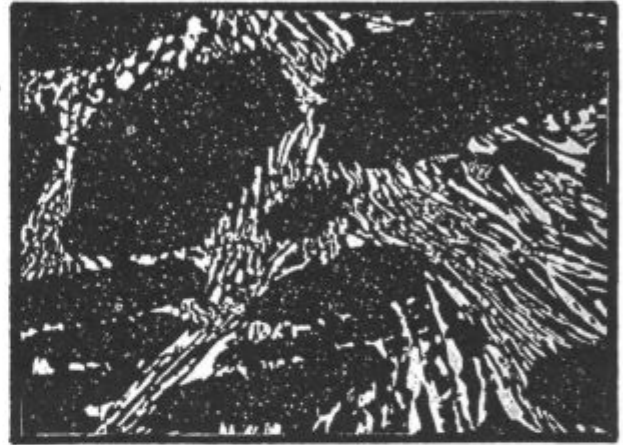


STOPNJA 4ŽR



STOPNJA 6ŽR

Slika 31



STOPNJA 8ŽR

Fig. 31

Tipični primeri razporeditve karbidov v ledeburitnih orodnih jeklih iz primerjalne tabele za metodo metalografske kontrole kakovosti v Železarni Ravne¹³⁵

Typical examples of carbide distribution in ledeburite tool steel from the comparative table for the method of metallographic quality control in Ravne ironworks¹³⁵

morali izbrati tolikšno povečavo, da bi zadovoljivo registrirali vse karbidne delce. Te zahteve sicer ne moremo popolnoma zadovoljiti, lahko pa dosežemo take pogoje meritve, da bo napaka zanemarljivo majhna. Obenem pa se moramo zavedati, da je pri navečji povečavi merilno polje zelo majhno. Če hočemo zagotoviti reprezentativnost meritve, mora biti po izkušnjah vzorčenja število merilnih polj dovolj veliko in tem večje, kolikor je večja povečava. S tem se sama po sebi vsiljuje zahteva po avtomatiziranih meritvah s posebnimi instrumenti.

Po dosedanjih publikacijah, ki na tem področju niso posebno številne, so ugotovljene količine karbidov pri najrazličnejših vrstah ledeburitnih orodnih jekel v območju 5–30 %. Največ je podatkov za količine karbidov v mehkožarjenem stanju, manj pa za druga stanja toplotne obdelave. Pri večini orodnih jekel lahko računamo, da se pri avstenitizaciji raztopi približno 10 % prej prisotnih karbidov.^{9,77,80} Prav pri kromovih ledeburitnih orodnih jeklih pa je ta odstotek znatno manjši⁸²,

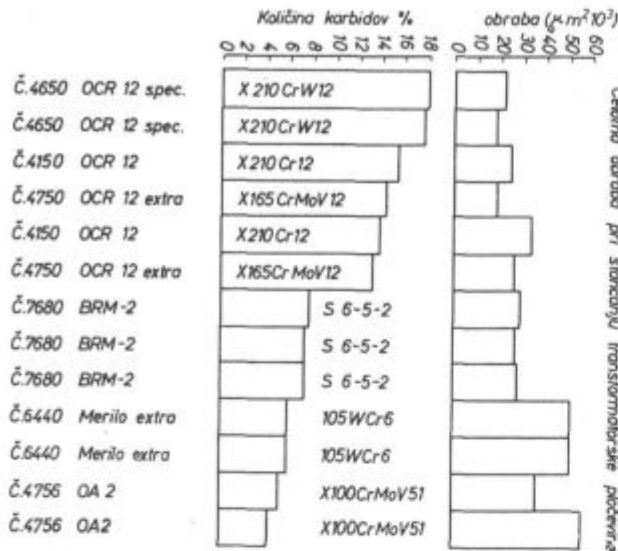
kar je tudi pričakovati glede na ravnotežni diagram stanja.

Pollmar⁸³ je z enotnimi poizkusi štančanja zanesljivo ugotovil, da pod pogojem zadovoljive trdote osnovne strukture večja količina karbidov v jeklu omogoča boljšo odpornost proti obrabi. Tako mu je uspelo razvrstiti jekla po količini karbidov v neposredni zvezi z odpornostjo proti obrabi (slika 32).

Kvantitativnih ugotovitev o vplivih količine karbidov na značilne uporabne lastnosti orodnih jekel pa doslej še ni na razpolago.

Pri ugotavljanju količine karbidov smatramo, da je delež ene faze izražen v odstotkih celotnega volumna preizkušanca pri enem obrusu in dovolj veliki preiskovani ploskvi z zadovoljivo natančnostjo enak plosčinskemu deležu faze. Pri tem moramo seveda nanizati zadostno število merilnih polj na večjem številu paralelnih poti.

Hougardy in Rose⁷⁷ sta izvajala te meritve avtomatično na kvantitativnem TV mikroskopu, pri če-



Slika 32

Količine karbidov v orodnih jeklih in njihova odpornost proti obrabi (Pollmar⁴⁹)

Fig. 32

Amounts of carbides in tool steel and their wear resistance (Pollmar⁴⁹)

mer elektronski snop po principu linearne analize v času 0,02 sekunde opravi meritve, ki obsega na TV zaslonu več kot 300 črt, širine 1 mm in dolžine 250 mm. Za ustrezno jedkanje faz M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_6C in kromovega karbida M_3C priporočata nekoliko spremenjeno sestavo jedkala Murakami¹²¹. Uspešno pa je tudi potenciostatsko jedkanje z 10 n NaOH pri napetosti od - 700 mV do + 400 mV proti nasičeni kalomel elektrodi.

Po izkušnjah v metalografskih laboratorijih Železarne Ravne omogoča zelo dobro kontrastno jedkanje karbidov v teh jeklih nekoliko modificirano jedkalo Groesbeck.

Pri preizkušanju reproduktivnosti meritve ploščinskih deležev karbidov na istem preizkušancu brzoreznega jekla, tipa 6-5-2, z enakomerno velikostjo karbidov, sta Hougardy in Rose⁷⁷ ugotovila pri 2100-kratni povečavi povprečno vrednost 12,5 % z relativno napako $\pm 1,3$ %, ko je isti metalograf meritve osemkrat ponovil. Pri meritvah, ki so jih izvršile štiri različne osebe, je bila na istem preizkušancu napaka ± 3 %. Glavni izvor napake je v tem, da z nastavitvijo kontrasta slika delca ni najbolj prilagojena dejanski velikosti. To je tipična subjektivna napaka, ki jo je težko kontrolirati. Ta napaka je tem večja, čim večja je razlika velikosti med največjimi in najmanjšimi delci. Ugotovljeni red velikosti napake velja seveda za izkušenega metalografa — operaterja, ob neizkušenem ali nevestnem delu pa so napake pri TV mikroskopu lahko ogromne.

Primerjali so tudi meritve, izvršene na Quantimetu z gravimetričnim določevanjem količine karbidov po elektrokemični izolaciji.⁸⁰ Srednje vrednosti za 20 meritve kažejo v splošnem nekoliko nižje vrednosti, kot jih dobimo pri tehtanju izoli-

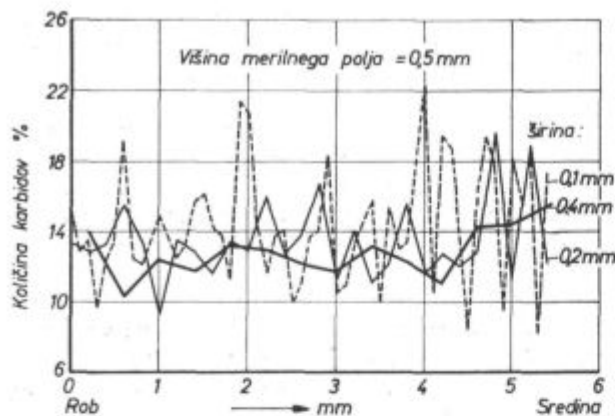
ranih karbidov. Pri tem je mogoče, da najmanjši delci, ki so se še izolirali, optično v danem primeru niso bili detektirani, ker je meja ločljivosti mikroskopa pri izbrani 5100-kratni povečavi na TV zaslonu približno pri 0,5 μm .

Upoštevati moramo tudi, da Quantimet določa deleže ploščin, pri izolaciji pa določamo utežni delež, pri čemer že v osnovi nastopajo odstopanja, ker se merjene faze v odnosu na osnovno matico znatno razlikujejo po specifični teži. Te razlike bi lahko služile za določanje specifične teže, če bi razlika med ploščinskim in utežnim deležem ležala izven meje napak merilnega postopka. Nadaljnji pridržek, ki ga moramo upoštevati, je tudi v tem, da nastopa samo ena karbidna faza, ali pa je količinsko razmerje pri več nastopajočih fazah poznano. Na osnovi obsežnejših meritev v območjih različnih deležev karbidov se je izkazala upravičena trditev,⁸⁰ da je količina karbidov, določena na Quantimetu, toliko manjša od količine, določene z elektrokemično izolacijo, kolikor je večji delež karbidov tipa M_3C . S tem je potrjeno, da ima ta karbidna faza znatno večjo specifično težo od osnovne mase. Merilne točke za preizkušance s pretežnim deležem karbidov tipa M_3C , $M_{23}C_6$ in M_7C_3 so kazale mnogo boljše sovpadanje obeh meritev.

Zanimive so izkušnje pri preiskavah trakavosti ledeburitnega orodnega jekla z 2 % C in 12 % Cr, ki jih je izvajal Rose⁸⁰ s sodelavci pri razmeroma zelo majhni 580-kratni povečavi na TV zaslonu z meritvami prečno na smer karbidne trakavosti. Pri tej povečavi so upoštevani samo večji, trakavo razporejeni karbidi s premerom nad ca. 5 μm , medtem ko vsi finejši karbidi, ki so enakomerno porazdeljeni v osnovi, sploh niso detektirani. Pri takih preiskavah je za prikaz lokalne porazdelitve zelo pomembna uskladitev velikosti merilnega polja z značilno razporeditvijo trakov.

Slika 33 kaže primerjavo »profila« trakavosti karbidov za tri različne dimenzije merilnega polja. Višina polja v smeri trakov je bila enotna, 0,5 mm v naravni velikosti.

Sirina merilnega polja prečno na smer trakov pa je bila 0,1 — 0,2 — 0,4 mm v naravni velikosti. Merilno polje so diskontinuirno pomikali vsakokrat za polovico širine od roba do sredine preizkušanca in rezultate meritev vnašali v diagram. Z razširitvijo merilnega polja se nihanje »deleža karbidov na merilni ploskvi« postopoma izgublja zaradi približevanja povprečnemu nivoju količine karbidov. S tem pa izgubimo sliko trakavosti, ki smo jo želeli s preiskavo ugotoviti in prikazati. V tem primeru je širina merilnega polja 0,1 mm najbolj ustrezala za prikazovanje nihanja v vsebnosti karbidov zaradi trakaste razporeditve. Če primerjamo te dimenzije merilnega polja s tipičnimi slikami mikrostruktur in merilom na sliki 31, so te ugotovitve povsem razumljive. Za raziskave trakavosti naj bo širina merilnega polja približno enaka povprečni širini karbidnih trakov, kar lahko pred serijskimi meritvami ugotovimo.



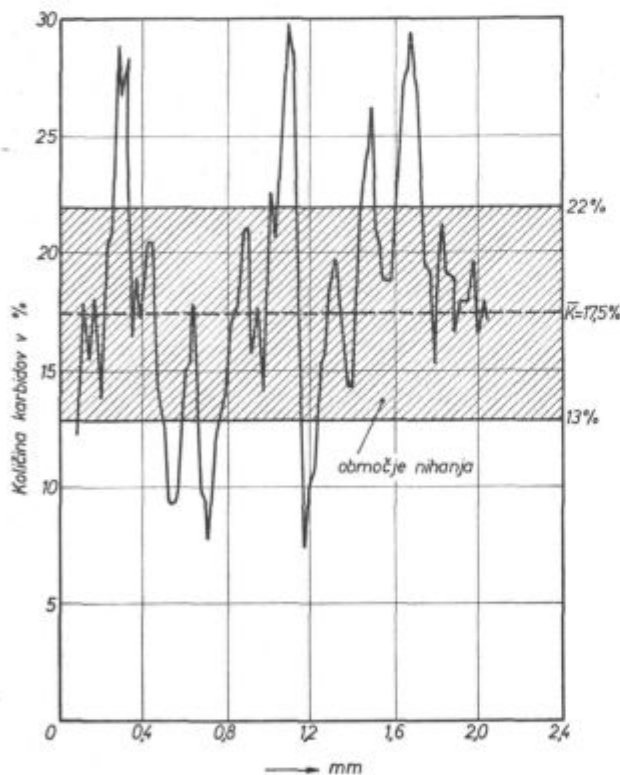
Slika 33

Profil trakavosti v kovani palici ledeburitnega orodnega jekla z 2 % C in 12 % Cr v odvisnosti od izbrane velikosti merilnega polja

Fig. 33

Band structure profile in a forged rod of ledeburite tool steel with 2 % C and 12 % Cr depending on the chosen size of test area

Pri kontinuirnem merjenju so izbrali kvadratno merilno polje $0,1 \times 0,1 \text{ mm}^2$, da ne bi dajali pri meritvi prednosti določeni smeri.



Slika 34

Del profila trakavosti kovane palice kv. 25 mm iz ledeburitnega orodnega jekla z 2 % C in 12 % Cr, registriranega s kontinuirnim merjenjem⁶⁶

Fig. 34

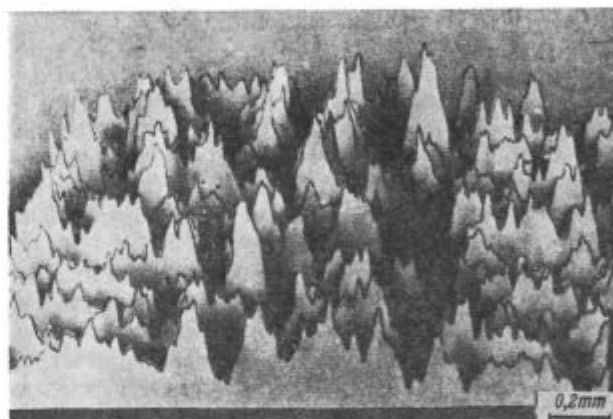
Part of the band structure profile in the forged 25 × 25 mm rod of ledeburite tool steel with 2 % C and 12 % Cr registered by continuous measurement⁶⁶

Slika 34 prikazuje del profila trakavosti v območju četrtine premera kovane palice kv. 25 mm orodnega jekla z 2 % C in 12 % Cr.

Ugotovljene količine karbidov nihajo celo med 8 in 30 %. Območja velikih nihanj se menjajo z območji majhnih nihanj. Pregled nad porazdelitvijo karbidov v ploskvi nazorno podaja prikaz registriranja za 19 paralelnih poti pomikanja merilnih polj na sliki 35.

Če želimo rezultate meritev porazdelitve karbidov povezati s kakršnimikoli uporabnimi lastnostmi jekla, moramo iz registriranih krivulj dobiti neko številko kot karakteristično mero.

Na sliki 34 je s šrafiranim območjem podan predlog, kako naj bi označevali karakteristično stopnjo neenakomernosti. Rose⁸⁰ je predlagal za določitev območja normalnih nihanj količine karbidov izračun zgornje in spodnje meje z izrazom



Slika 35

Primer lokalne porazdelitve količine karbidov v orodnem jeklu z 2 % C in 12 % Cr, na katerem višina reliefa ustreza količini karbidov.

Fig. 35

Example of local distribution of carbides in tool steel with 2 % C and 12 % Cr where height of relief corresponds to the amount of carbides

$$\bar{K} \pm (0,125 \cdot \bar{K} + 2,35),$$

pri čemer pomeni \bar{K} izračunano srednjo vrednost količine karbidov.

V tem območju naj bi nihanja pomembno ne vplivala na uporabne lastnosti jekla. Odstopanja iz tega območja vrednotimo po višini, širini in pogostosti. Ko so taka vrednotenja primerjali z ocenami po primerjalnih tabelah, ni bilo mogoče ugotoviti pričakovane povezave. Upravičeno se vzbujajo dvomi v zvezi z reprezentativnostjo ocen po primerjalnih tabelah.⁷⁷

Ta način označevanja karakteristične stopnje neenakomernosti še ni širše osvojen in tudi predlagani kriteriji niso potrjeni s praktičnimi poizkusi ali izkušnjami. Ko bo način vrednotenja utemeljen in sprejet, ne bo težko te kriterije uporabiti tako, da bomo dobili značilne vrednosti neposredno v izpisu rezultatov avtomatskega merjenja in vrednotenja poizkusov.

Vrednost \bar{K} bi služila tudi karakteriziranju vrste jekla, stopnje predelave in stanja toplotne obdelave.

Pregled uporabljenih metod pri lastnih preiskavah

Pri meritvah količine posameznih faz na novem aparatu Quantimet 720 Imanco se levo nad zgornjim robom merilnega polja v enakih časovnih presledkih prikazujejo številke, ki podajajo število detektiranih slikovnih točk na merilnem polju.

Pri ročnem izvajanju meritev za vsako merilno polje zapišemo približno srednjo vrednost vsaj petih odčitkov, pri čemer obenem tudi kontroliramo trošenje številčnih vrednosti za merilno polje.

Pri velikem številu meritev lahko z zadovoljivo natančnostjo enačimo izmerjeni ploščinski delež karbidne faze v mikrostrukturi z volumskim deležem karbidov v jeklu.

Pri ugotavljanju količine karbidov v jeklu ne smemo pozabiti razlik med specifično težo karbidov in osnovne mase kakor tudi dejstva, da karbidov pod določeno velikostjo, ki je odvisna od pogojev metalografskih meritev, na Quantimetu sploh ne detektiramo. Finih karbidov pa je v jeklu relativno veliko in celo želimo, da bi jih bilo čimveč.

Na osnovi serije predpoizkusov smo za meritve količine karbidov izbrali več različnih variant metodike z namenom, da bi ugotovili vplive pogojev meritve na rezultate in za nadaljnji program raziskovalne naloge optimalne pogoje meritev standardizirali. Le tako bi bilo mogoče ugotavljati vplive predelovalnih pogojev in pogojev toplotne

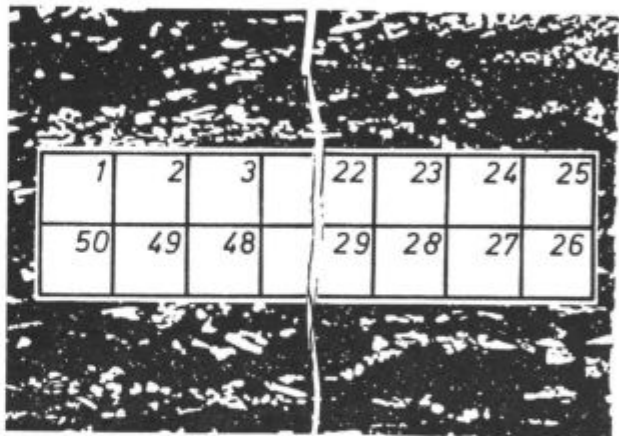
obdelave na količino karbidov ter te ugotovitve za različne vrste jekel neposredno primerjati. V nadaljnem navajamo pogoje meritev za posamezne variante, ki jih kasneje pri rezultatih omenjamo. Po zbranih izkušnjah, opravljenih izračunih in v skladu s podatki v literaturi moramo pri praktičnih meritvah upoštevati omejitve za sposobnost detekcije najmanjših delcev (karbidov) v odvisnosti od povečave. Te omejitve podaja slika 36.

Značilnosti 1. variante:

— Normalno merilno polje na TV ekranu velikosti $570 \times 460 = 262.200$ slikovnih točk.

— Objektiv $40\times$, okular $5\times$ (po oceni pri teh pogojih karbidov velikosti pod 4 slikovne točke ne detektiramo!).

— Skupno število merilnih polj je 50 v smeri karbidne trakavosti. V eni smeri nanizamo z ročnim pomikom mikroskopske mizice 25 merilnih polj, nato pa premaknemo sliko po višini za eno polje in v nasprotni smeri nanizamo naslednjih 25 merilnih polj.



Slika 37

Shema 1. variante meritev

Fig. 37

Scheme of the 1st variant of measurements

— Velikost merilne ploskve je: $25 \times 570 \times 2 \times 460 = 13.110.000$ slikovnih točk.

— Naravna velikost merilne ploskve je $1,63 \text{ mm} \times 0,105 \text{ mm} = 0,17 \text{ mm}^2$.

— Povečava na TV ekranu je $2600\times$.

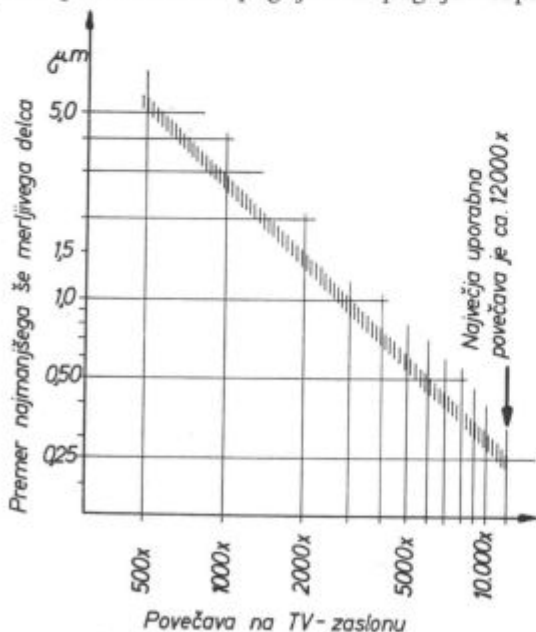
— Za vsako merilno polje upoštevamo približno srednjo vrednost vsaj petih odčitkov. Tako je ob upoštevanju 50 merilnih polj število odčitkov najmanj 250, kar vsekakor predstavlja reprezentančni podatek.

— Primer rezultatov ene takih meritev prikazuje slika 43.

Značilnosti 2. variante:

— Normalno merilno polje na TV ekranu velikosti $570 \times 460 = 262.200$ slikovnih točk.

— Objektiv $40\times$, okular $5\times$ (po oceni pri teh pogojih karbidov velikosti pod 4 slikovne točke ne detektiramo!).



Slika 36

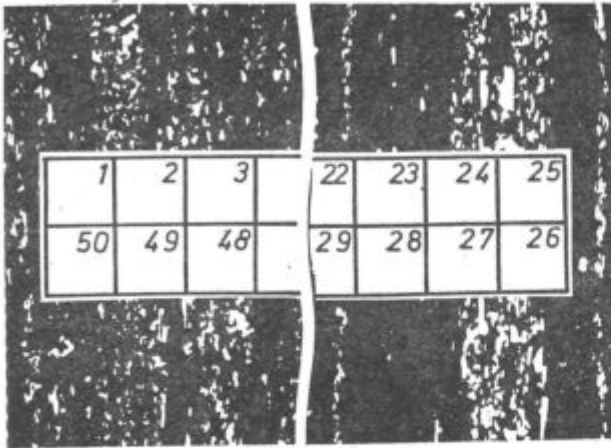
Velikost najmanjših še merljivih delcev v odvisnosti od povečave

Fig. 36

Size of the smallest measurable particles depending on the magnification



— Skupno število merilnih polj je 50 prečno na smer karbidne trakavosti. Merilna polja nanizamo 25 v eno smer in 25 poleg njih v nasprotno smer.



Slika 38

Shema 2. variante meritev

Fig. 38

Scheme of the 2nd variant of measurements

— Velikost merilne ploskve je $25 \times 570 \times 2 \times 460 = 13,110.000$ slikovnih točk.

— Naravna velikost merilne ploskve je $1,63 \text{ mm} \times 0,105 \text{ mm} = 0,17 \text{ mm}^2$.

— Povečava na TV ekranu je $2600\times$.

Za vsako merilno polje upoštevamo približno srednjo vrednost vsaj petih odčitkov, kar predstavlja pri 50 merilnih poljih 250 odčitkov.

— Primer rezultatov ene takih meritev prikazuje slika 44.

Značilnosti 3. variante:

Pri tej varianti dobimo poleg podatkov o količini karbidov tudi dobro predstavbo profila gostote karbidnih trakov (po količini karbidov na merilnih poljih, ki ležijo drug poleg drugega).

Za meritve izberemo naslednje pogoje:

— majhno pokončno merilno polje na TV ekranu velikosti $140 \times 460 = 64.400$ slikovnih točk;

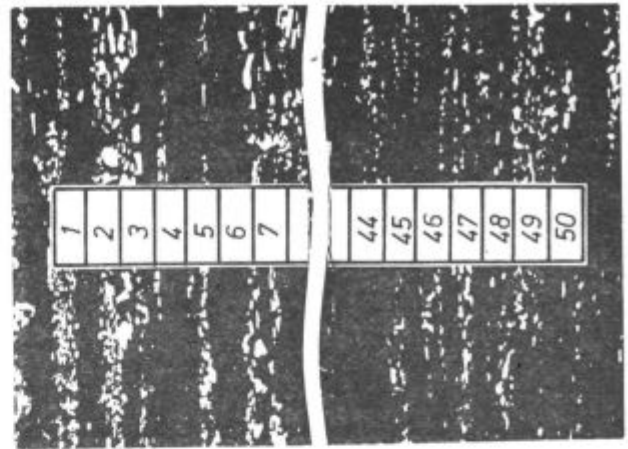
— objektiv $40\times$, okular $5\times$ (po oceni pri teh pogojih karbidov velikosti pod 4 slikovne točke ne detektiramo);

— skupno število merilnih polj je 50 prečno na smer karbidnih trakov. Ker želimo ugotoviti profil karbidnih trakov, nanizamo merilna polja samo v eni smeri.

— Velikost merilne ploskve je $50 \times 140 \times 460 = 3,220.000$ slikovnih točk.

— Naravna velikost merilne ploskve je $0,8 \times 0,052 = 0,042 \text{ mm}^2$.

— Povečava na TV ekranu je $2600\times$.



Slika 39

Shema 3. variante meritev

Fig. 39

Scheme of the 3rd variant of measurements

Za vsako merilno polje upoštevamo približno srednjo vrednost vsaj petih odčitkov, kar predstavlja pri 50 poljih 250 odčitkov.

— Primer rezultatov ene takih meritev prikazuje slika 45.

Ta 3. varianta z nizanjem ožjih polj prečno na smer karbidnih trakov je posebno primerna za ugotavljanje karbidne trakavosti. Posnemanje profila gostote karbidnih trakov se lahko izvaja s pomočjo računalniškega programa, pri čemer računalnik vodi celotno meritev, povezan z x-y pisalom pa tudi grafično prikaže profil gostote karbidnih trakov. Izbira formata merilnega polja je pri tem izredno pomembna in odločilna za uporabnost meritve.

Značilnosti 4. variante:

— Vsi pogoji so enaki kot pri 1. varianti, le da je povečava večja:

— objektiv $100\times$,

— okular $5\times$,

— povečava na TV ekranu $6262\times$.

Zaradi večje povečave je priporočljivo povečanje števila merilnih polj.

Značilnosti 5. in 6. variante:

Kot 5. variantu smo uporabili kontinuirno avtomatsko meritev ploskovnega deleža karbidov z avtomatičnim pomikom mizice mikroskopa po programu računalnika PDP-9 na MPI — Düsseldorf za »6 polj«. Število polj lahko v programu izberemo po želji.

Kot 6. variantu smo opravili meritve za »2 polji«.

Značilnosti 7. variante:

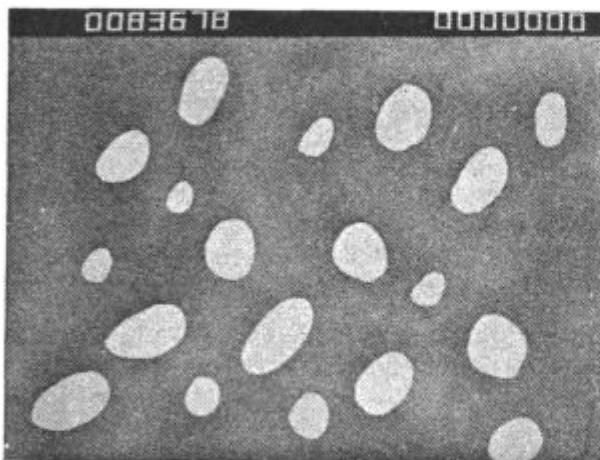
Za ilustracijo smo opravili tudi avtomatično snemanje porazdelitvene krivulje na MPI Düsseldorf, ker pa so v času meritev program izpopol-

njevali in adaptirali za uporabo na novem Quantimet 720, teh meritev nismo izvajali v širšem obsegu, zato značilnosti 7. variante ne opisujemo podrobneje.

Dokumentacija meritev in sistem obdelave podatkov v Železarni Ravne

Ceprav obstajajo na MPI — Düsseldorf, kjer smo vse meritve izvršili, programi in vsa potrebna oprema za avtomatično izvedbo meritev, smo se, upoštevajoč svoje sedanje in bližnje možnosti, omejili na ročno registriranje meritev, ki pa dovoljujejo nadaljnjo računalniško obdelavo po programih, ki so nam na razpolago.

Vse posamezne meritve smo v obliki neposrednih odčitkov števila slikovnih točk iz števca nad merilnim poljem na TV zaslonu (slika 40) vpisovali neposredno v »zbirne liste podatkov«, kakršne v AOP Železarne Ravne uporabljamo za vhodne podatke pri matematično statističnih analizah.



Slika 40

Števec slikovnih točk nad merilnim poljem na TV zaslonu

Fig. 40

Counter of points above the test area on TV screen

Na ta način smo te originalne podatke meritev lahko uporabili za statistične analize porazdelitev, regresij in primerjav serij, kakor tudi za statistične kontrolne karte. Posebno uporabna sta se na tem področju izvedenosti kvantitativnih metalografskih analiz izkazala razpoložljiva programa za analizo porazdelitve in statistične kontrolne karte x-R, ki vključujeta tudi grafični prikaz (glej slike 41—42).

Rezultati meritev in statističnih analiz

Rezultate meritev in statistične parametre porazdelitev ploščinskih deležev karbidov podaja naslednja tabela 3, pri čemer so zanimive predvsem primerjave rezultatov, dobljenih po različnih variantah meritev pri istih preizkušancih in med različnimi vrstami jekel ob enakih pogojih meritev.

ZELEZARNA RAVNE - AOP OZNAKA MSP/II DATUM: 20. 9. 74 STRAN: 6

OBDELAVA: 1984 ANALIZA PORAZDELITVE MONTIČI: A

OBDELAVA ZA: RAZISKAVE LEDEBURITNIH JEKEL

VRSTA MERITVE: KOLIČINA KARBIDOV (E) KOD: 15262

ŠTEVILN PODATKOV N = 40

SREDNJA VREDNOST X = 6,72

STANDARDE POKLON S = 1,5122

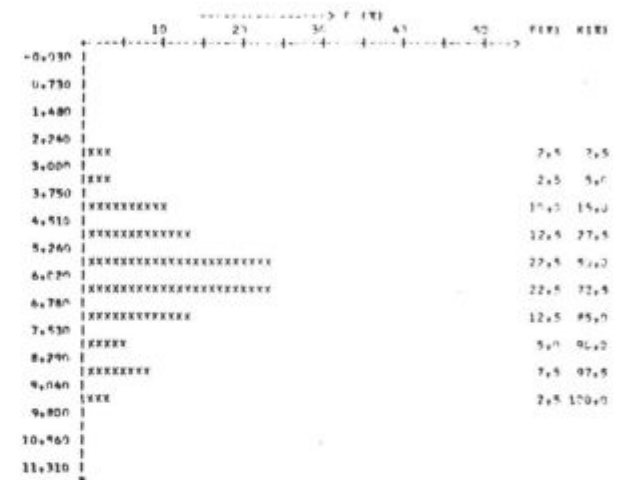
KOEFICIENT VARIACIJE V = 22,17 %

SPONJNA MEJA X-3S = 1,683 X+3S = 9,756

PGORNJA MEJA X+3S = 9,756 X-3S = 1,683

VSE VREDNOSTI SO V MEJAH X±3S

PORAZDELITVA JE NORMALNA GAUSSOVA



Slika 41

Primer protokola rezultatov analize porazdelitve

Fig. 41

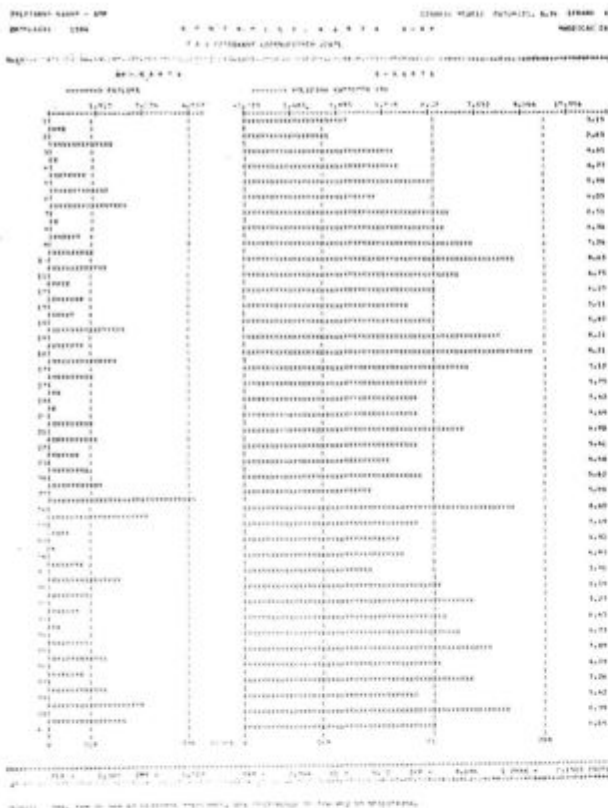
Example of the record of the results of the distribution analysis

Ugotovljene količinske deleže karbidov so v glavnem potrdile tudi paralelne meritve na istih vzorcih v laboratorijih VEB Edelmetallwerk »8. Mai 1945« Freital NDR v oktobru 1974.

S posebnimi meritvami velikosti karbidov smo lahko utemeljili, da so ugotovljeni količinski deleži zato tako majhni, ker je velika količina karbidov pod še merljivo velikostjo pri pogojih izvršenih meritev.

Primerjavo treh variant meritev količine karbidov na enem preizkušancu prikazujejo slike 43 do 45.

Pri 1. varianti (slika 43) na vzdolžnem obrusu nizamo merilna polja v vzdolžni smeri. Slabost pri tem je, da lahko vsa polja ali pa veliko število polj zaporedoma leži v traku velike koncentracije karbidov ali pa nasprotno v območju minimalne koncentracije karbidnih izcej. Na sliki vidimo primer, ki je lahko pogost, da je bilo prvih 13 polj v območju močnejšega traku karbidov s krajšo prekinitvijo od 7. do 9. polja, nato pa je karbidni trak končan in naslednja serija meritev ima bistveno manjši delež karbidov. Razlike med sosednjimi polji so razmeroma majhne, v celotnem območju meritev pa opazamo velike spremembe nivojev, ki povzro-

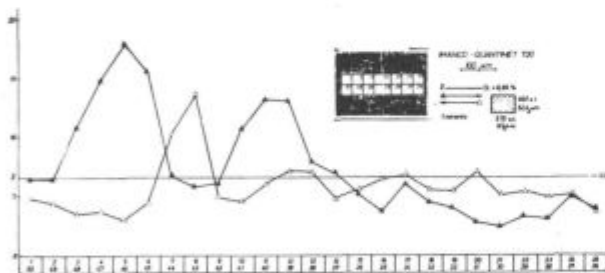


Slika 42

Primer protokola kontrolne karte

Fig. 42

Example of the record on the control card



Slika 43

Primer rezultatov meritve količine in razporeditve karbidov v vzorcu K 49 z 1,5 % C in 12 % Cr po 1. varianti. Kontrolna karta »NI V STATISTIČNI KONTROLI« ZKM = 11,4 %, SKM = 1,9 %

Fig. 43

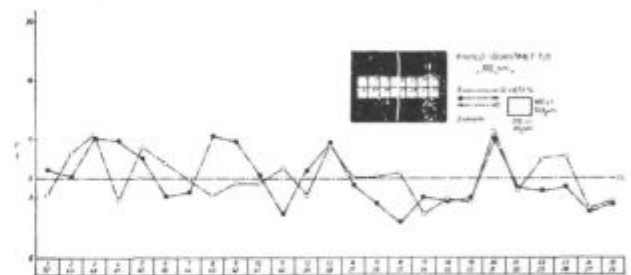
Example of results of measuring the quantity and the distribution of carbides in the K 49 sample with 1.5 % C and 12 % Cr by the 1st variant. Control card »Not in the statistical control« ZKM = 11.4 %, SKM = 1.9 %

čajo situacijo »izven statistične kontrole«. V statistični kontrolni karti so zaradi manjšega povprečnega razpona kontrolne meje razmeroma ozke, kar pa zaradi sprememb nivoja povzroča veliko število meritev izven statističnih kontrolnih mej.

Ta metoda z vzdolžnim nizanjem merilnih polj ni priporočljiva niti za ugotavljanje ploščinskega deleža, še manj pa za spoznavanje profila koncentracij karbidnih izcejev.

Značilno je veliko nihanje ugotovljenih ploščinskih deležev karbidov in razmeroma majhne razlike med sosednjimi meritvami, kar vnaša v rezultat precejšnje sistematične napake. Napake so toliko manjše, kolikor so karbidi enakomerneje porazdeljeni. Pri velikih presekih in velikih izhodnih formatih ingotov pa so včasih karbidne izceje tako grobe, da bi lahko dobili s takimi meritvami povsem neuporabne rezultate.

Za zadovoljivo uporabnost rezultatov bi morali opraviti precej večje število meritev, predvsem pa je treba pri vzdolžnem nizanju merilnih polj povečati število paralelnih poti, tako da zajamemo dovolj veliko celotno merilno ploskev preko večjega števila paralelnih karbidnih trakov. To pa zahteva brezpogojno avtomatski pomik in računalniško vrednotenje meritev, saj potrebujemo pri ročnem premikanju obrusa in pri zapisovanju števila slikovnih točk pri vsakem merilnem področju za pregled in izrednotenje meritev pri 50 merilnih poljih približno 30–60 minut za en metalografski obrus.

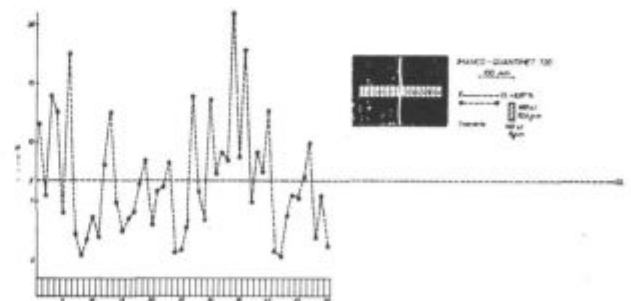


Slika 44

Primer rezultatov meritve količine in razporeditve karbidov v vzorcu K 49 z 1,5 % C in 12 % Cr po 2. varianti. Kontrolna karta »JE V STATISTIČNI KONTROLI« ZKM = 12,4 %, SKM = 1,1 %

Fig. 44

Example of results of measuring the quantity and the distribution of carbides in the K 49 sample with 1.5 % C and 12 % Cr by the 2nd variant. Control card »In the statistical control« ZKM = 12.4 %, SKM = 1.1 %.



Slika 45

Primer rezultatov meritve količine in razporeditve karbidov v vzorcu K 49 z 1,5 % C in 12 % Cr po 3. varianti. Kontrolna karta »NI V STATISTIČNI KONTROLI« ZKM = 20,2 %, SKM = 0 %

Fig. 45

Example of results of measuring the quantity and the distribution of carbides in the K 49 sample with 1.5 % C and 12 % Cr by the 3rd variant. Control card »Not in the statistical control« ZKM = 20.2 %, SKM = 0 %.

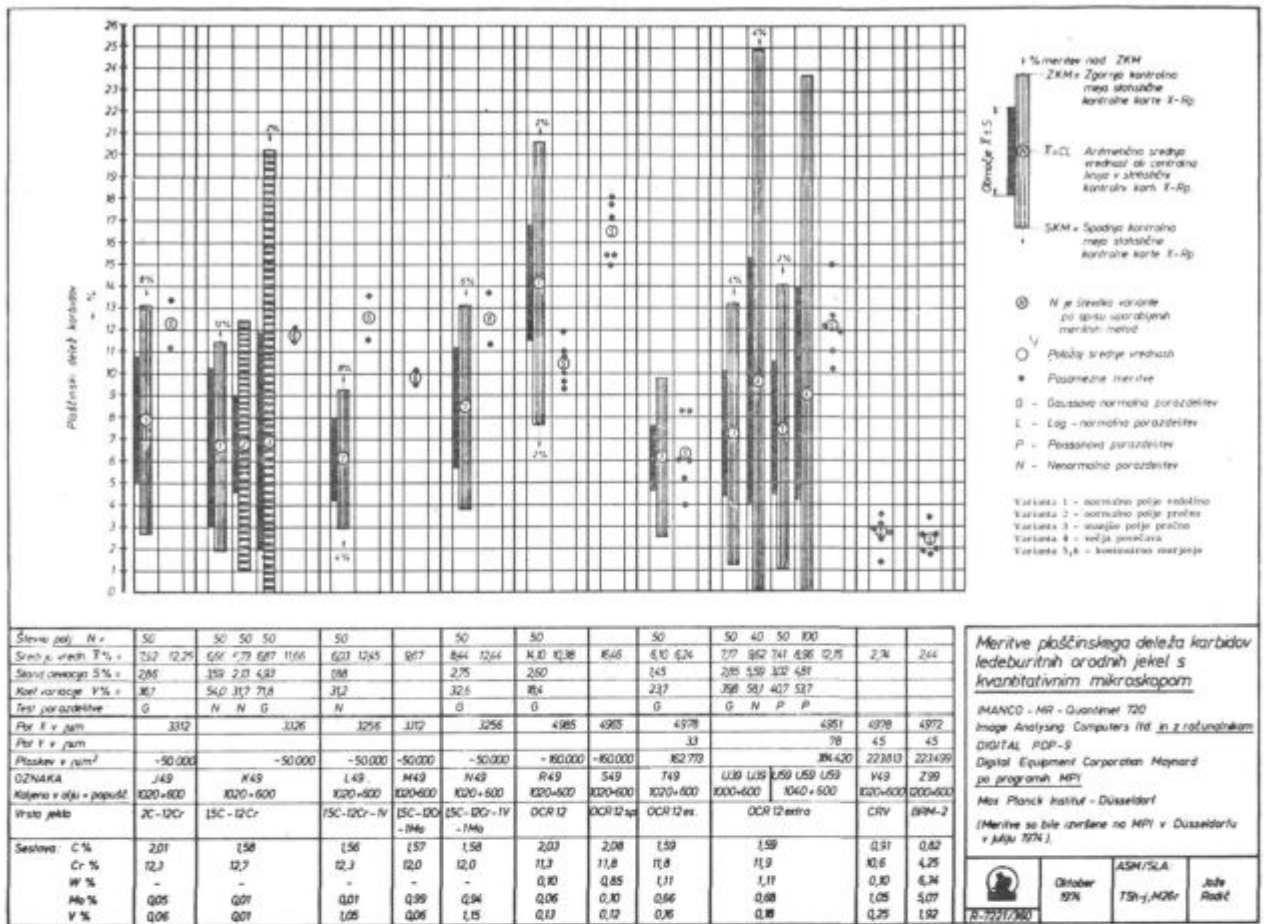


Tabela 3

Dokumentacija meritev z grafikonom

Table 3

Graph record of measurements

Statistična analiza je potrdila, da je 2. varianta (slika 44) precej zanesljivejša. S kontrolno karto lahko prikažemo nazorno tudi profil karbidne trakovosti, in če obdelamo zadostno število merilnih polj, lahko dokaj natančno izrazimo povprečno širino karbidnih trakov in njihovo povprečno medsebojno oddaljenost, kar je pomembno kakovostno merilo za medsebojne primerjave.

Če si ogledamo karbidne trakove, skoraj nima pravega pomena meritve izvajati v dveh paralelnih poteh drugo poleg druge, ampak je bolje izvršiti daljšo pot meritev preko obrusa ali pa paralelni poti izbrati z večjo medsebojno razdaljo.

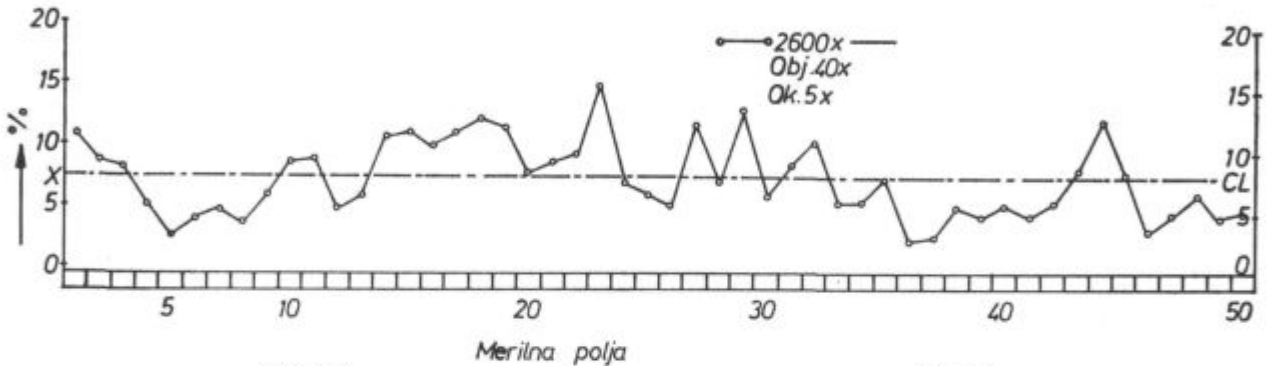
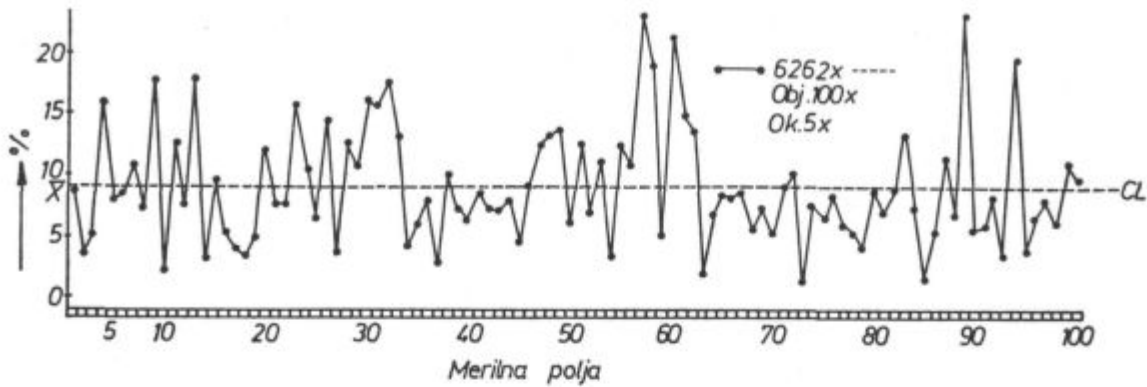
Priporočljivo je tudi položaj merilnega polja obrniti tako, da je daljša stranica paralelna s smerjo trakov, polja pa nizamo drugo poleg drugega v smeri krajše stranice merilnega polja.

Rezultati kažejo, da 3. varianta (slika 45) ni priporočljiva, ker je polje premajhno. Nihanja so zelo velika, saj nam že en sam večji karbid zavzame večji del polja, lahko pa naletimo na polje, ki je sploh brez karbidov. To jasno kaže statistična analiza. Že sama meritve je izpostavljena napakam, ker je na vsakem merilnem polju več posameznih karbidov delno izven merilne ploskve. To

daje napačno sliko predvsem pri klasifikaciji velikosti karbidov po razredih.

V okviru obstoječih možnosti brez upoštevanja polne avtomatizacije meritev je najugodnejša 2. varianta z omenjeno spremembo lege merilnega polja. Pri tem je priporočljivo izvesti vsaj 50 meritev merilnih polj v eni vrsti, kar predstavlja na obrusu naravno ploskev 2,62 mm x 0,065 mm. Pri večjih presekih je priporočljivo tako serijo meritev izvršiti na različnih mestih obrusa ali pa še na obrusih iz različnih položajev v preseku.

Na sliki 46 je nazorno prikazan vpliv izbrane povečave na ugotovljeno količino in »profil« trakovosti karbidov istega preizkušanca (U 59) jekla Č.4850 — OCR 12 VM. Na zgornjem delu slike so prikazani ploščinski deleži karbidov za 100 merilnih polj pri povečavi 6262x, na spodnjem delu slike pa pri povečavi 2600x. Razumljivo je zaradi detekcije finejših karbidov pri večji povečavi ugotovljena količina znatno večja. Spremembe koncentracije karbidov v trakovih, t. i. »profil trakovosti«, je bolj primerno prikazan pri manjši povečavi. Ti dve sliki predstavljata x — statistično kontrolno karto, ki nam jo nariše računalnik (glej sl. 42).



Slika 46

Vpliv povečave na določitev ploščinskega deleža in profila trakavosti karbidov v jeklu C. 4850 — OCR 12 VM

Fig. 46

Influence of magnification on the determination of area portion and on the band structure profile of carbides in steel C. 4850 — OCR 12 VM

Za karakteriziranje trakavosti bi lahko neposredno v kontrolno karto vrisali kriterije po Roseju, kakršne podaja slika 34. Seveda bi bilo za zanesljivo karakteriziranje trakavosti potrebno znatno večje število merilnih polj, za kar pa je že skoraj nujno potrebna avtomatizacija meritve.

Meritve pri različnih povečavah so jasno pokazale, kolikšen je vpliv povečave na ugotovljeno količino karbidov. Razumljivo je, da moramo za medsebojne primerjave to upoštevati in ne smemo nikoli ugotovljenih količinskih deležev absolutno upoštevati. Razmeroma majhne vsebnosti karbidov so bile v splošnem pojasnjene z veliko količino finih karbidov. Nepojasnjene pa so zaenkrat ostale razlike med količinami pri nekontinuirnih in kontinuirnih meritvah. Verjetno gre največji delež teh razlik pripisati pomanjkljivi tehniki jedkanja in različnim nastavitvenim vrednostim. To pa nas opozarja na veliko previdnost pri ocenjevanju rezultatov in na potrebo po izpolnitvi eksperimentalne tehnike na tem zanimivem in obetajočem področju.

PORAZDELITEV VELIKOSTI KARBIDOV

Dosedanje publicirane izkušnje

Pomembno merilo pri določevanju uporabnih lastnosti orodnih jekel vsekakor predstavlja porazdelitev velikosti karbidov. Obstojnost orodij po

dosedanjih izkušnjah ni toliko odvisna od trdote martenzitne osnovne mase, ampak mnogo bolj od količine in prostorske porazdelitve velikosti karbidov. Medsebojna zveza doslej ni natančno poznana, ker je pogojena z meritvijo porazdelitve velikosti karbidov. Doslej poznani postopki za take meritve so bili ali preveč nezanesljivi pri sprejemljivi izvedbi ali pa so po izvedbi in obsegu preveč zahtevni. Zato tudi ni mogoče neposredno odgovoriti na vprašanje, če lahko porazdelitev velikosti bolj kot doslej prilagodimo namenu uporabe s pomočjo toplotne obdelave, s katero bi spremenili delno ali popolno raztapljanje in izločanje karbidov.

Meritve velikosti karbidov in njihove porazdelitve so pri klasični metalografski tehniki zelo zamudne in problematične za izvedbo v širšem obsegu. Zato so večinoma omejene na manj obsežne raziskovalne naloge.

V Železarni Ravne smo razvili metodo za rutinske preiskave z določanjem velikosti karbidov, ki se že več let uspešno uporablja v redni kontroli brzoreznih in ledeburitnih orodnih jekel. Metodo smo podrobneje opisali v Železarskem zborniku¹²⁹. Seveda ta metoda ne predstavlja analize porazdelitve velikosti karbidov, ampak podaja le karakteristično povprečno velikost največjih karbidov v vzorcu jekla.

Obsežnejše raziskave s statističnimi analizami odvisnosti mehanskih in tehnoloških lastnosti

ter drugih metalografskih karakteristik brzoreznih jekel od velikosti karbidov so zelo nazorno pokazale, kako pomemben vplivni faktor je pri brzoreznih jeklih porazdelitev velikosti karbidov^{130,131}. Prav gotovo lahko to trdimo tudi za vsa ledeburitna orodna jekla z visoko vsebnostjo ogljika in kroma, pri katerih pa je to področje še mnogo bolj neraziskano.

Z novimi avtomatskimi instrumenti na področju kvantitativne mikroskopije je merjenje porazdelitve velikosti karbidov zelo lahko izvedljivo, posebno če se delci približujejo krogličasti obliki⁷⁷.

Razni avtorji so ugotovili,⁸¹ da porazdelitev karbidov v jeklu ustreza Gaussovi normalni porazdelitvi z logaritmčno razdelitvijo x osi. Če to velja, lahko ob primernem nanašanju porazdelitvene funkcije dobimo premico, tako da bi bilo za porazdelitev karbidov potrebno določiti samo še dve merilni točki. Ugotovitve navedenih avtorjev pa so osnovane prav zaradi zahtevnosti meritev na premajhnem številu meritev, tako da splošno veljavni zaključki o vrsti porazdelitvene funkcije niso dovolj zanesljivi.

Kvantitativni TV mikroskop omogoča brez večjih težav obsežne analize porazdelitve velikosti. Aparat deluje po principu linearne analize in obtipa 300 na TV zaslonu vidnih črt v 0,02 sekunde. Ob elektronskem vrednotenju skoraj ni več mogoča primerjava možnosti s klasično, doslej uporabljano linearno analizo. Meritve so lahko podane v obliki luknjanega traku ali na kak drug način, ki omogoča zelo hitro nadaljnjo računsko obdelavo. Brez večjih težav je mogoče na osnovi izmerjenih porazdelitev izračunati dokaj zanesljivo prostorsko porazdelitev velikosti^{72,127}. Vse to omogoča, da na tehnično interesantnih preizkušancih iz teh orodnih jekel izvršimo v bodoče široke in za osnovne ugotovitve merodajne porazdelitve velikosti karbidov.

S kvantitativnim TV mikroskopom lahko poleg meritev, ki smo jih doslej spoznali, tudi preštevamo delce, ki so večji od določenega izbranega najmanjšega premera. Pri običajnih meritvah postopoma z enakimi koraki povečujemo najmanjši premer, dokler ni nobenega delca več, ki bi bil večji od postavljene minimalne velikosti. Nanašanje prešteti delcev v odvisnosti od vsakokratnega pripadajočega najmanjšega premera daje krivuljo kumulativne pogostosti za premere delcev. Če pa nanašamo spremembe števila delcev med dvema premeroma po razredih oz. intervalih pripadajočih premerov, dobimo krivuljo porazdelitve velikosti.

Za poenostavitev tega nanašanja so razvili dodatno napravo h kvantitativnemu TV mikroskopu, ki avtomatično riše krivuljo kumulativne pogostosti. Na x os dvokoordinatnega pisala je vezana napetost, ki je proporcionalna prej omenjenim minimalnim premerom. Na y os pisala pa je vezana napetost, ki kot analogna vrednost številu delcev

v merilnemu polju omogoča pri izhodu iz aparature končni prikaz. Če s sinhronskim motorjem potenciometer za nastavitev minimalnega premera kontinuirno premikamo, riše xy pisalo željeno krivuljo kumulativne pogostosti. Snemanje ene take krivulje traja približno 30 sekund⁸¹.

V mnogih primerih precej bolj želimo krivuljo porazdelitve velikosti kot pa krivuljo kumulativne pogostosti. Tudi to obliko prikaza lahko neposredno z xy pisalom narišemo, ker pač ustreza diferenciaciji krivulje kumulativne pogostosti. Z diferencialnim ojačevalom je mogoče napetost po času električno diferencirati. Casovno konstantna sprememba podanega minimalnega premera D delcev dD/dt pomeni konstantno širino intervala. Napetost, ki je analogna številu delcev, se veže po električnem diferenciranju na y os xy pisala. V tej smeri se s spremembo števila delcev s časom riše diagram. Na x os se veže napetost, ki je tako kot pri snemanju krivulj kumulativne pogostosti proporcionalna premeru delcev. S spreminjanjem minimalnega premera s pomočjo sinhronskega motorja nastaja na papirju xy pisala krivulja, ki podaja število delcev v intervalih premerov kot funkcijo premera delcev. Odklon pisala v y smeri je odvisen od velikosti intervala premerov, to pomeni od vrednosti dD/dt in s tem od hitrosti spremembe minimalnega premera. Ta mora biti za izbrano hitrost spreminjanja umerjena. Neposredno merjenje vrednosti dD/dt ni bilo mogoče z zadovoljivo natančnostjo. Zato se za nastavljen hitrost spreminjanja minimalnega premera istega mesta strukture nariše krivulja kumulativne pogostosti in krivulja porazdelitve ter se z grafičnim diferenciranjem kumulativne krivulje za določeno širino intervala registrirana krivulja porazdelitve umeri⁸¹.

Merilni postopek kaže svoje meje, če je velikost delcev na meji ločljivosti kvantitativnega TV mikroskopa ali pa če je razlika svetlosti v primerjavi z osnovno maso premajhna, tako da je detektiranje realizirano samo pri nekem delu otipavanja. V drugem primeru bo merjena vrednost manjša za delež, ki ga ni mogoče kontrolirati. S posebnoupravitvijo mikroskopa so dosegli mejo ločljivosti pri ca. $0,2 \mu\text{m}$, ki je tudi za svetlobno optične aparate običajna meja.

Sistematična napaka lahko nastopa pri meritvah razpotegnjenih delcev⁷⁷. Ti delci imajo često v sredini manjšo debelino kot na koncih. Če doseže v toku meritve nastavljeni minimalni premer vrednost, ki je večja kot premer v sredini, vendar manjša kot debelina na koncih, potem se delec razdeli v dva delčka, kar pomeni, da aparat šteje sedaj dva delca namesto enega. V takih primerih prav lahko ugotovimo na tak način v intervalu število, ki je celo do 50 % večje od dejanskega števila delcev. Čim bolj so delci sploščeni, tembolj se merjene vrednosti oddaljujejo od prave krivulje porazdelitve. Za ugotovitev take napake je možna računaska metoda.

Posebna primerjalna raziskava je pokazala, da je bila prav zaradi neustreznega kontrasta na kvantimetu v območju manjših premerov določena manjša količina karbidov v primerjavi s planimetričnim iz fotografij, posnetih z optičnim mikroskopom. Čeprav delec namreč jasno vidimo, je često kontrast za štetje preslab. Zato se moramo pri kvantitativni mikroskopiji kontrastnemu jedkanju posebej posvetiti in se ne moremo zadovoljiti s tistim načinom, ki za normalno optično mikroskopijo metalografa povsem zadošča.

Primerjalno določevanje števila delcev v posameznih razredih je pri ugotavljanju subjektivnega vpliva na meritev pokazalo⁸¹, da je treba računati z natančnostjo $\pm 10\%$.

Napake in trosenja so bila pri delcih, velikosti nad $0,8\ \mu\text{m}$, malenkostna, pri manjših pa lahko pričakujemo vse večja odstopanja.

Pri nelegiranem orodnem jeklu z $1,35\ \text{\% C}$ so v petih vrstah izvajali meritve za 20 polj in za vsako posamezno polje določali krivuljo porazdelitve — skupaj torej 100 krivulj. Izkazalo se je, da 25 krivulj v tem primeru še ne zadošča za dejansko povprečje, medtem ko je pri 100 krivuljah srednja vrednost, oz. povprečna krivulja res reprezentančna. Vendar lahko celo v tem primeru dvomimo v statistično zadovoljivost, ker krivulja še vedno kaže lokalno grbe, ki se, kakor je znano, s povečevanjem števila meritev izgajujejo. V tem primeru je eno merilno polje znašalo $0,04 \times 0,05\ \text{mm}^2$ in celotna ploskev pri 100 meritvah, torej $0,2\ \text{mm}^2$ pri meji ločljivosti $0,6\ \mu\text{m}$. Celotno število izmerjenih delcev je bilo ca. 4000.

Za zaključek teh poskusov je bila krivulja za 100 meritev prikazana v Gaussovi verjetnostni mreži z logaritmično razdelitvijo x osi. Ker ni bila tako dobljena premica, ampak nekaka S krivulja, lahko iz tega zaključimo, da porazdelitev le ni normalna, logaritmična in zato ne zadoščajo meritve v dveh točkah za določitev premice porazdelitve v verjetnostni mreži, kakor je bila v začetku izražena ideja, ki se je izkazala za nezadostno zanesljivo in neopravičeno.

Raziskave v zvezi s hitrostjo raztapljanja karbidnih delcev različnih velikosti so privedle do precejšnjih protislovij v primerjavi z dosedanjimi predstavami prevladujočega vpliva velikosti površin na pojave rasti in raztapljanja, tako da je treba na drugačen način poskušati iskati možnosti, da bomo na te pojave lahko močneje vplivali.

Raztapljanje karbidov je v splošnem določeno z difuzijo ogljika iz karbida v obdajajoči zmesni kristal. Zakonitosti difuzije glede temperature, časa in koncentracijskih gradientov se morajo pri poteku raztapljanja opazovati. Če predpostavimo, da so karbidi med seboj precej oddaljeni, tako da koncentracijski gradienti pri raztapljanju ne morejo medsebojno vplivati, bi moralo biti raztapljanje reducirano na premer, proporcionalno od-

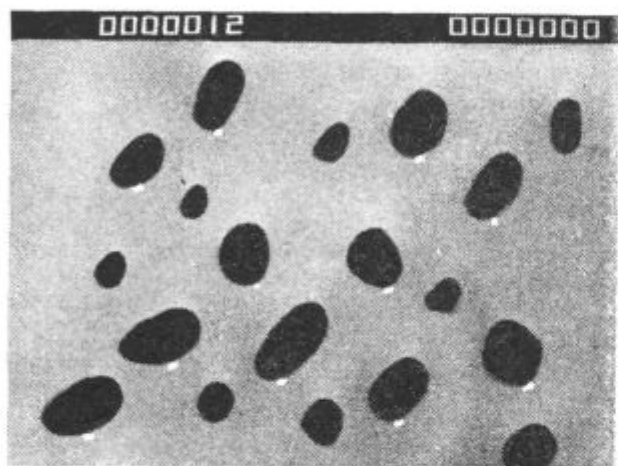
nosu površine proti volumnu. To pomeni, da mora biti za manjše karbide hitrost spreminjanja premera večja kot pri grobih karbidih. Ta zaključek pa je v nasprotju z rezultati meritev na vseh preizkušancih. Nespremenjena difuzijska hitrost torej s tega gledišča ni tista veličina, ki odloča o hitrosti. V literaturi⁸¹ najdemo ugotovitve, da velikost karbidov sama vpliva na potek difuzije. Če opazujemo sistem iz dveh karbidov različnih velikosti v enem zmesnem kristalu, potem je v neposredni okolici manjšega karbida zaradi njegove večje energije površine koncentracija nasičenosti zmesnega kristala višja kot pri velikem karbidu. Razlika v koncentraciji nasičenosti bo z naraščajočo razliko velikosti obeh karbidov vedno večja. Pri neki temperaturi, ki omogoča zadostno difuzijo, bo zaradi tega sistem poskušal te odnose izenačiti, kar pomeni, da bodo večji karbidi rasli pri konstantni temperaturi na račun manjših. Tako nastopa koagulacija.

To razmišljanje lahko razširimo tudi na pojave pri spremembah temperature. Če se temperatura sistema poviša, raste tudi v trdem stanju koncentracija nasičenosti zmesnega kristala. S povišanjem temperature sistema bo odaljenost trenutne koncentracije zmesnih kristalov od ravnotežja v bližini večjega karbida večja kot pri majhnem karbidu. Padec koncentracije med karbidom in okolico bo s tem pri večjih karbidih večji in lahko smatramo, da bodo šli ti karbidi hitreje v raztopino. Če se bo temperatura sistema znižala, se s tem zmanjša koncentracija nasičenosti zmesnega kristala. Karbidi morajo rasti. Za začetek zniževanja temperature se pojavi v bližini manjših karbidov večja razlika med koncentracijo nasičenosti in dejansko vsebnostjo zmesnih kristalov. Majhen karbid bo zato hitreje rasel kot večji. S tako predstavo lahko razumemo, da pri zvišanju temperature večji karbidi hitreje gredo v raztopino kot manjši, pri zniževanju temperature pa nasprotno naraščanje premera pri manjših karbidih hitreje poteka kot pri večjih. Če je to res, mora z večkratnim menjanjem temperature znotraj dvofaznega območja zmesni kristal — karbid manjši karbid na račun večjega rasti. To velja seveda samo, dokler ne nastopa nikakršno preoblikovanje. S serijo poizkusov je bilo to razmišljanje preizkušeno⁸¹.

Na Max Planck Institutu v Düsseldorfu so za avtomatične meritve v zvezi s porazdelitvijo velikosti karbidov razvili⁷⁴ dva programa za procesni računalnik PDP-9, vezan na kvantitativni TV mikroskop z avtomatičnim krmiljenjem poteka preizkusa. Oba programa sta izdelana v obliki dialoga, v katerem so zagotovljene vse potrebne informacije in potrebne konstante. Posebej pa je treba opozoriti, da so avtomatične meritve še prav posebno izpostavljene številnim napakam, ki jih moramo čim bolj poznati in obvladati. Zato je izkušnost metalografa — operaterja na tem področju izredno pomembna, da ne omenjamo posebej pomena kvalitetne priprave obrusov.

Opis uporabljene metode pri lastnih preiskavah

Za meritev porazdelitve velikosti karbidov smo uporabili klasificiranje velikosti karbidov po razredih; katero omogoča posebni potenciometer Quantimeta 720 po območjih števila registriranih slikovnih točk. Opravili smo večjo serijo meritev s postopnim ročnim nastavljanjem klasifikatorja in vpisovanjem registriranega števila karbidov, ki so večji od delca z nastavljenim minimalnim številom slikovnih točk. Na zaslonu so označeni vsi karbidi, ki so večji od nastavljene velikosti in števec levo zgoraj pokaže, koliko je takih karbidov v merilnem polju (glej sliko 47)).



Slika 47

Meritev porazdelitev karbidov po razredih velikosti

Fig. 47

Measurement of the carbide distribution according to the size classes.

Te meritve omogočajo zelo interesantne pri-merjave, so pa pri ročnem nastavljanju in zapisovanju precej zamudne, ker je treba vse meritve izvršiti na večjem številu merilnih mest. Ta metoda dobi pravi pomen šele z računalniškim krmiljenjem celotne meritve, registriranja in vrednotenja.

Pri naših meritvah (na MPI — Düsseldorf) smo uporabljali za klasifikacijo velikosti karbidov stopnje po številu slikovnih točk, ki so navedene v tabeli 3 za povečavo $2600\times$ pri uporabi objektiv $40\times$ in okularja $5\times$.

Pri povečanju stopenj po 10 slikovnih točk smo vsakokrat zapisali število karbidov, ki so bili večji od nastavljene minimalne velikosti, nato pa smo kot velikost največjega karbida zapisali še mejno velikost, pri kateri ni bilo več nobenega večjega karbida.

Na vsakem preizkušancu smo opravili celotno meritev s klasifikacijo karbidov za 20 merilnih mest.

Dokumentacija meritev in sistem obdelave podatkov v Železarni Ravne

Vse rezultate meritev smo vpisovali v zbirne liste AOP Železarne Ravne, ki predstavlja vhodno listo podatkov za vse nadaljnje matematično statistične analize, ki smo jih že opisali.

Tabela 3: Uporabljene stopnje za klasifikacijo velikosti karbidov na QUANTIMET 720 IMANCO — objektiv $40\times$, okular $5\times$

Slikovnih točk	Na monitorju	Na probi
5	1,47 mm	0,57 μm
10	2,94 mm	1,14 μm
20	5,88 mm	2,28 μm
30	8,82 mm	3,42 μm
40	11,76 mm	4,56 μm
50	14,7 mm	5,7 μm
60	17,64 mm	6,8 μm
70	20,58 mm	7,98 μm
80	23,52 mm	9,12 μm
90	26,46 mm	10,26 μm
100	29,40 mm	11,40 μm
110	32,34 mm	12,54 μm
120	35,28 mm	13,68 μm

Rezultati meritev in statističnih analiz

Tabela 4 podaja pregled meritev klasifikacije velikosti karbidov v obliki števila karbidov ob postopnih omejitvah minimalnega števila slikovnih točk. Podane so aritmetične srednje vrednosti, standardne deviacije, koeficienti variacije in tipi porazdelitve.

V spodnji vrstici so podani rezultati statistične analize velikosti največjih karbidov za 20 merilnih polj. Vidimo, da od jekel na osnovi 2% C in 12% Cr bistveno odstopata jekli CRV (1% C in 10% Cr) in brzorezno jeklo tipa 6-5-2 z oznako C.7680 — BRM-2. Odstopanje teh dveh vrst jekel od ostalih je očitno tudi na sliki 48, kjer so porazdelitve velikosti karbidov iz tabele 4 grafično prikazane.

Naslednja tabela 5 podaja število in delež karbidov v odstotkih po posameznih razredih izraženih s številom slikovnih točk.

Na sliki 49 so vrste jekel razvrščene po poprečnih velikostih največjega karbida za 20 merilnih polj (beli stolpci), poleg tega pa je s črnimi stolpci prikazano povprečno število karbidov, ki so večji od 5 slikovnih točk.

Tabela 4: Klasifikacija velikosti karbidov porazredih (metoda: 11. varianta — 20 polj)

Vrsta jekla	2 C- -12 Cr	1,5 C- -12 Cr	1,5 C- -12 Cr- -1 V	1,5 C- -12 Cr- -1 Mo	1,5 C- -12 Cr- -1 V- -1 Mo	OCR-12	OCR-12 spec.	OCR-12 ex.	OCR-12 ex.	OCR-12 ex.	CRV	BRM-2		
Oznake	J 49	K 49	L 49	M 49	N 49	R 49	S 49	T 49	U 39	U' 59	V 49	Z 99		
D	min 00 S.T.													
	x̄	137,5	125,0	107,4	195,8	74,6	85,1	169,3	83,1	170,4	151,6	161,4		
	S	22,10	26,46	24,50	62,59	22,5	29,9	59,97	37,45	98,7	47,56	60,98		
	V	16,07	21,17	22,82	31,97	30,17	35,13	35,42	45,06	57,9	31,4	37,8		
	Test	G	G	-	G	P	G	G	G	G	G	P		
	x̄	86,8	60,7	42,4	79,3	37,5	49,4	71,0	40,8	60,9	71,2	35,0		
	S	12,05	18,19	13,82	18,89	15,89	16,9	26,01	15,76	21,37	23,1	14,6		
	V	13,89	29,99	32,59	23,82	42,4	34,25	36,66	38,69	35,1	32,5	41,8		
	Test	G	G	-	G	G	G	G	G	G	G	G		
	x̄	38,1	27,5	18,7	33,6	23,1	26,3	34,2	22,2	27,1	30,2	10,3		
	S	13,54	11,34	8,18	10,48	9,93	7,14	8,94	6,48	9,37	10,35	5,1		
	V	35,55	41,31	43,74	31,24	42,99	27,2	26,13	29,27	34,6	34,3	49,9		
Test	G	P	-	G	G	P	G	G	G	G	G			
E	min 28 S.T.													
	x̄	16,9	8,9	7,3	9,4	8,0	11,4	14,1	8,1	10,1	11,3	2,5		
	S	8,08	5,06	3,59	4,83	3,72	4,34	4,6	2,77	4,96	5,2	1,8		
	V	47,84	57,18	49,2	51,4	46,8	38,27	32,78	34,20	49,13	46,2	74,3		
	Test	G	P	-	G	G	G	G	G	G	G	N		
	min 30 S.T.													
	x̄	7,6	3,5	3,4	3,7	3,0	5,1	7,5	3,9	4,3	5,3	0,9		
	S	4,77	2,84	1,84	2,75	2,08	2,69	3,56	1,75	2,99	3,85	0,99		
	V	62,80	81,08	54,06	74,5	69,25	52,8	47,5	45,6	70,33	73,35	116,2		
	Test	P	P	-	G	P	G	G	G	G	G	P		
	Z	min 40 S.T.												
		x̄	3,7	1,1	1,2	1,5	1,0	2,6	3,8	1,6	1,6	2,6	0,4	
S		2,30	1,23	1,13	1,26	0,89	2,14	1,93	0,89	1,43	2,35	0,59		
V		63,03	117,56	94,61	93,5	93,37	82,2	50,94	57,23	92,4	90,33	167,8		
Test		G	P	-	P	P	G	G	P	P	G	N		
A		min 50 S.T.												
		x̄	1,6	0,4	0,4	0,4	0,4	1,1	2,1	0,6	0,4	1,2	0,1	
		S	1,1	0,49	0,97	0,5	0,5	1,47	1,43	0,82	0,67	1,24	0,31	
		V	70,91	139,82	241,5	125,7	125,7	139,8	69,8	150,1	191,7	103,3	307,8	
		Test	P	N	-	N	N	N	P	N	N	P	N	
		B	min 50 S.T.											
			x̄	69,0	49,5	52,0	52,0	51,0	63,0	73,5	56,0	56,5	59,5	38,5
	S _{S.T.}		17,4	13,17	13,16	13,6	11,6	22,96	18,14	15,01	23,7	16,4	15,3	
	V %		25,28	26,60	25,3	26,2	22,8	36,45	24,69	26,8	41,9	27,5	39,8	
	Test		P	P	-	P	P	G	G	P	P	P	G	
	Mejvečji karbidi		x̄	69,0	49,5	52,0	52,0	51,0	63,0	73,5	56,0	56,5	59,5	38,5
			S _{S.T.}	17,4	13,17	13,16	13,6	11,6	22,96	18,14	15,01	23,7	16,4	15,3
V %			25,28	26,60	25,3	26,2	22,8	36,45	24,69	26,8	41,9	27,5	39,8	
Test			P	P	-	P	P	G	G	P	P	P	G	
Opomba: G - Normalna Gaussova porazdelitev P - Poissonova porazdelitev N - Nenormalna porazdelitev - - Premalo podatkov za test														

Zaradi napake pri najmanjših karbidih smo v naslednjem pregledu zanemarili vse karbide, manjše od 5 slikovnih točk (0,57 μm) in ugotavljali odstotke od celotnega števila karbidov, večjih od 5 slikovnih točk po razredih. Slika 50 kaže primerjavo porazdelitve karbidov za posamezne vrste jekel.

Z analizo regresije smo ugotavljali odvisnost povprečnega števila karbidov od kemijske sestave (C, Cr, W, Mo, V) in omejitve minimalnega števila slikovnih točk.

Za odvisnost $\log \bar{N}_K = f(\log S. T._{min}, Cr, W, Mo, V)$ druge stopnje smo ugotovili s statistično pomembnostjo nad 99,9 % naslednjo enačbo regresije:

$$\log \bar{N}_K = 1,096 - 0,766 \cdot (\log S. T._{min})^2 + 0,647 \% C$$

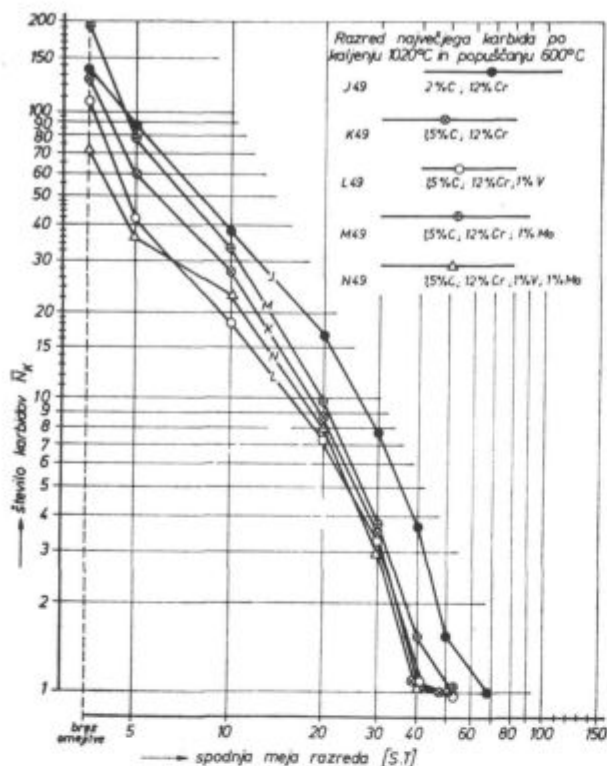
— število podatkov v eni množici $N_2 = 70$

— koeficient determinacije $R^2 = 0,95$

— koeficient multikorelacije $R = 0,975$

— standardna napaka odvisne spremenljivke

$$S_{yx} = 0,168$$



Slika 48

Porazdelitev velikosti karbidov
Preiskave: Qantimet 720 — MPI
metoda: 11. varianta
Število pregledanih polj ... 20

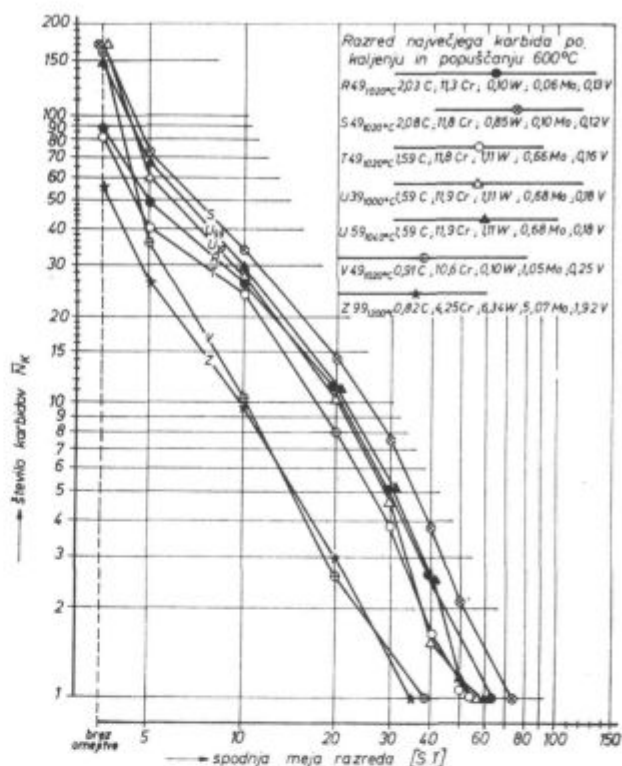
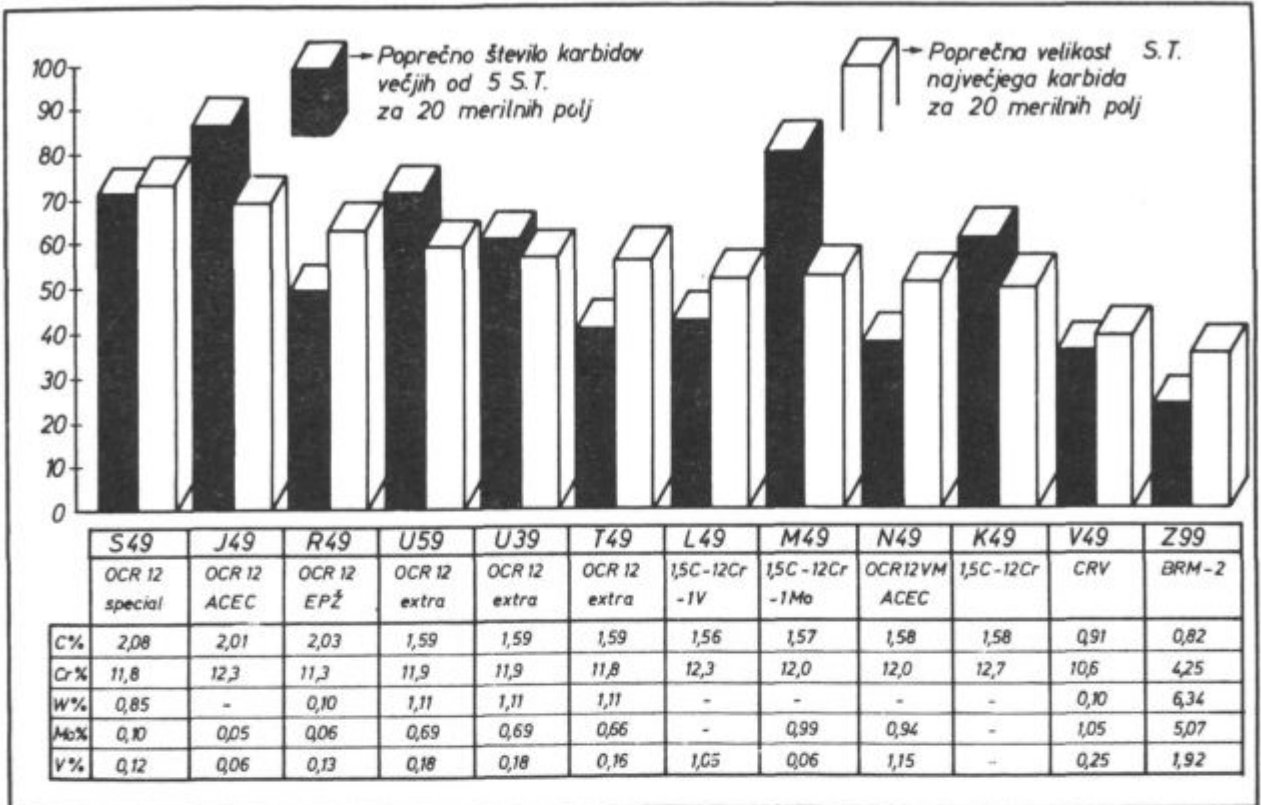


Fig. 48

Size distribution of carbides
Investigations: Qantimet 720 — MPI
method: 11th variant
Number of investigated areas 20

Tabela 5: Število in % delež karbidov po razredih (srednje vrednosti 20 polj)

ŠTEVILO KARBIDOV V RAZREDIH													
Razred	J 49 N %	K 49 N %	L 49 N %	M 49 N %	N 49 N %	R 49 N %	S 49 N %	T 49 N %	U 39 N %	U 59 N %	V 49 N %	Z 99 N %	
pod 5 s. t.	10,7	14,3	11,0	116,3	37,1	15,7	98,3	42,3	109,5	80,4	126,4	31,8	
5 - 10 s. t.	18,7	11,2	21,7	45,7	14,4	23,1	16,8	18,6	33,8	41,0	24,7	12,5	
	15,97	14,71	15,61	17,91	18,72	16,76	15,84	15,11	15,35	17,69	10,57	14,28	
10 - 20 s. t.	21,2	18,6	11,4	24,2	15,1	14,9	20,1	14,1	17,0	18,9	7,8	7,1	
	24,5	16,60	17,10	10,50	10,02	10,10	10,4	11,7	10,00	10,49	10,10	10,60	
20 - 30 s. t.	9,3	5,4	3,9	5,7	5,0	6,3	6,6	4,2	5,8	6,0	1,6	2,1	
	10,73	8,90	9,22	6,93	13,29	12,79	9,3	10,28	9,53	8,40	4,36	9,12	
30 - 40 s. t.	3,9	2,4	2,2	2,2	2,0	2,5	3,7	2,3	2,7	2,7	0,5	0,6	
	4,50	3,95	5,22	2,77	5,31	3,08	5,1	3,65	4,46	3,78	1,43	2,59	
40 - 50 s. t.	2,1	0,7	0,8	1,1	0,6	1,5	1,7	1,0	1,2	1,1	0,3	0,2	
	2,43	1,16	1,90	1,39	1,60	3,04	2,4	2,46	1,98	1,96	0,85	0,87	
nad 50 s. t.	1,6	0,4	0,4	0,4	0,4	1,1	2,1	0,6	0,4	1,2	0,1	0,1	
	1,85	0,66	0,95	0,50	1,06	2,23	2,96	1,47	0,66	1,68	0,29	0,44	
$\sum \geq 5 = 100 \%$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

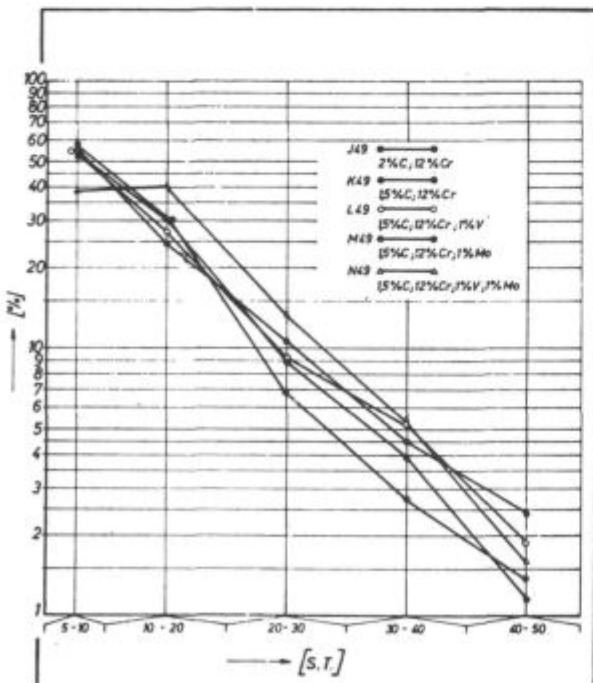


Slika 49

Število karbidov, večjih od 5 slikovnih točk in poprečne velikosti največjega karbida za 20 merilnih polj

Fig. 49

Number of carbides bigger than 5 points, and the average sizes of the biggest carbide for 20 test areas



Slika 50

Delež (%) od celotnega števila karbidov velikosti nad 5 slikovnih točk (0,57 μm) po razredih (S. T.)

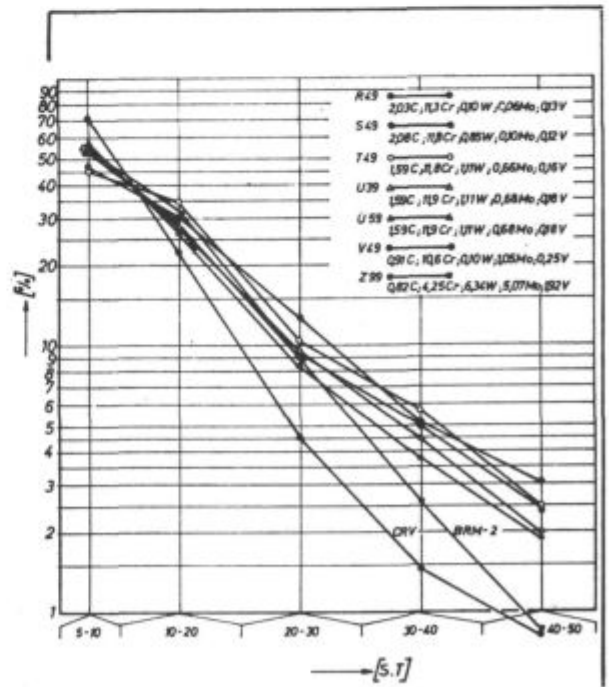


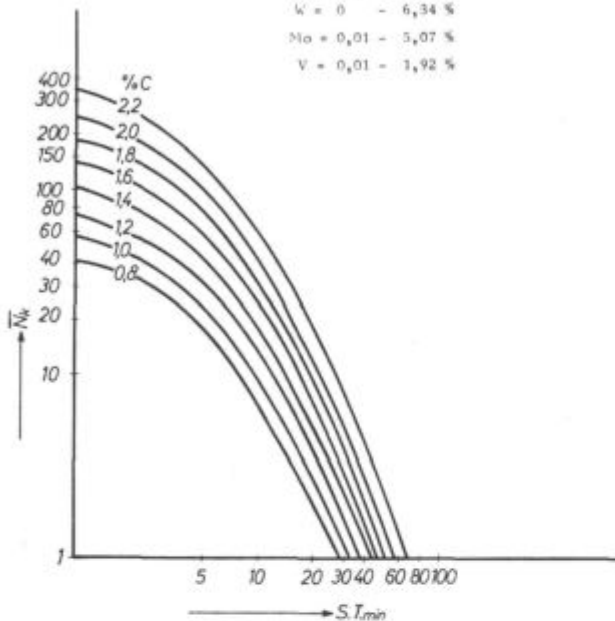
Fig. 50

Portion (%) of the total number of carbides of the size over 5 points (0,57 μm) according to the classes (S. T.)

$\log \bar{N}_K = f(\log S, T_{min}, C, Cr, W, Mo, V)$ 2. stopnje
 $N = 70$ $R = 0,975$ $R^2 = 0,95$ $S_{yx} = 0,168$
 ENAČBA REGRESIJE $P > 99,9\%$:
 $\log \bar{N}_K = 1,096 - 0,766 (\log S, T_{min})^2 + 0,647, \% C$

OMEJITVE NEPOMEMBNIH SPREMENLJIVK:

- Cr = 4,25 - 12,7 %
- W = 0 - 6,34 %
- Mo = 0,01 - 5,07 %
- V = 0,01 - 1,92 %



Slika 51

Odvisnost poprečnega števila karbidov od omejitve minimalne velikosti karbidov ($S.T._{min}$) in kemijske sestave

Fig. 51

Relationship between the average number of carbides, the limitation of the minimal carbide size ($S.T._{min}$), and the chemical composition

Ta odvisnost je prikazana na sliki 51.

Pri tem je zanimiva ugotovitev k analizi regresije, da so si vplivi vseh štirih karbidotvornih elementov po jakosti enakovredni, čeprav so vplivi W, Mo in V nasprotni vplivu Cr. Postavljenega kriterija za statistično pomembnost vpliva v enačbi karbidotvorni elementi sicer ne presegajo, pač pa ta vpliv ni dosti manjši od vpliva ogljika, ki se je izkazal za »statistično pomembnega«. To lepo kažejo parcialni koeficienti korelacije v odnosu na velikost karbidov za:

- minimalno velikost $S.T._{min}$. . . $R_p = -0,7243$
- vsebnost ogljika $R_p = 0,2111$
- vsebnost kroma $R_p = 0,1529$
- vsebnost volframa $R_p = -0,1289$
- vsebnost molibdena $R_p = -0,1535$
- vsebnost vanadija $R_p = -0,1746$

Prostorska porazdelitev velikosti karbidov 72, 74, 127, 136

Vedno bolj se za realno kvantitativno določevanje strukturnega stanja zahteva poznavanje dejanske prostorske porazdelitve velikosti zrn in iz-

ločenih delcev. Prenašanje rezultatov linearne analize na prostorske predstave se v zadnjem času intenzivno raziskuje. Potrebno je pri tem opozoriti na nekatere značilne napake. Dejstvo je, da bodo velika zrna precej pogosteje presekana, kot pa je njihova lastna pogostost pojavljanja. To predstavlja pri ugotavljanju prostorske porazdelitve napako, kar pomeni, da porazdelitev velikosti zrn, ki jo ugotovimo na dvodimenzionalni sliki metalografskega obrusa, dejansko ni nujno identična s tridimenzionalno porazdelitvijo velikosti zrn.

V postopku določanja so mogoče postopne korekture. V programiranem delu dialoga namreč podamo velikost največjega delca, ki jo pač predpostavimo. Na osnovi te velikosti se potem celoten interval razdeli v razrede. Kolikor bolj smo se s to predpostavko oddaljili od dejanske velikosti, tem večjo napako lahko povzroči nepravilna razdelitev razredov. Seveda v postopku meritve in izračunov ugotovimo dejansko velikost največjih delcev, ki jo pri ponovnem izračunu lahko upoštevamo in s tem dosežemo pravilnejšo porazdelitev razredov.

Kot najboljša osnova za preizkušanje območja veljavnosti takih programov preračunavanja služijo meritve na modelnih preizkušancih z znanim številom in znano velikostjo vloženih kroglic. S takimi primerjavami modelov lahko študiramo vpliv različnih porazdelitev razredov. Modelne porazdelitve okroglih ploskev znanega števila in znane velikosti so natančno narisane, nato pa preslikane in z diapozitivom zmanjšane, nakar se s presevajajočo svetlobo prenese posnetek diapozitiva preko mikroskopa na TV zaslon.

Predstavljamo si strukturo, ki ima več faz slučajnostno porazdeljenih, kar pomeni brez teksture, brez prednostne usmerjenosti in brez izcej. Katere karakteristične vrednosti smiselno opišejo tako strukturo? Take karakteristične vrednosti naj bi bile lahko merljive, primerne za izračunavanje, za nedvoumno definiranje, kolikor mogoče splošno uporabne in neodvisne od oblike. Te zahteve izpolnjujejo naslednji parametri²²:

- V_v = prostorninski delež opazovane faze;
- S = specifična površina;
- S_{KG} = specifična površina mej zrn;
- S_{PG} = specifična površina faz;
- K = parameter za odreditev strukture (razmerje med površino mej zrn proti celotni površini);
- D_m = povprečna velikost zrn;
- $N = f(D)$ = porazdelitev velikosti zrn, število zrn kot funkcija njihove velikosti.

Tabela 6 kaže, katere od teh prostorskih parametrov lahko izračunamo iz podatkov meritev pri točkovni — linearni — ali ploščinski analizi. Linearna analiza daje največ parametrov. Pri parametrih, ki so označeni s (+), morajo biti struk-

turni deli geometrično podobni, kar je tudi praktično najpogostejše. Pri ploščinski analizi pa mora biti nasprotno pri vrednostih, ki so označene s ((+)), struktura s sestavnimi deli nedvoumno definirana. Izračun parametrov do volumskega deleža je pri odstopanju od kroglaste oblike kompliciran. Ker je planimetriranje zelo zamudno in poenostavljeno vrednotenje s pomočjo šablon zelo izpostavljeno napakam, postopki z upoštevanjem ploščin niso priporočljivi, razen v posebnih primerih. Medtem ko so stare metode osnovane na ploščinskih postopkih, se moderne metode meritev usmerjajo vse na linearno analizo ali točkovno štetje, ker je te načine lahko avtomatizirati in obvladati.

Tabela 6: Prostorski strukturni parametri iz meritev na ploskvi obrusa

Parameter	Točkovna analiza	Linearna analiza	Ploskovna analiza
Volumski delež V_V	+	+	+
Specifična površina S	—	+	((+))
Specifična površina mej zrn S_{KG}	—	+	—
Specifična površina faznih mej S_{PG}	—	+	—
Kontinuiteta K	—	+	—
Poprečni premer D_m	—	(+)	((+))
Porazdelitev velikosti zrna $f(D)$	—	(+)	((+))

Odstopanje izračunanih prostorskih parametrov od dejanskih vrednosti lahko določajo naslednji izvori napak:

— 1. Napake zaradi nepravilne priprave (tvorba reliefa, slabo razlikovanje faz). Te napake pridejo predvsem do odločilnega izraza pri polno avtomatskih aparataturah.

— 2. Nezadostna občutljivost — sposobnost ločevanja in napake merjenja. Če imajo delci velikosti pod $1 \mu\text{m}$ znaten delež v strukturi, je treba vrednotenje vezati na slike elektronske mikroskopije. Podobne napake so tudi zaradi neustreznih aparatatur ali nepravilne uporabe merilnih aparatatur.

— 3. Odstopanje merilnega polja od »statističnega preseka«. To napako kompenziramo s tem, da izvršimo meritve na velikem številu merjenih polj, sistematično razporejenih po ploskvi obrusa.

— 4. Statistično trosenje. Potrebno je obdržati določeno natančnost.

— 5. Napake preračunavanja so toliko izrazitejše, kolikor večja so odstopanja od določenih predpostavk (npr. krogličasta oblika strukturnih delov).

Tabela 7: Napake pri kvantitativnih metalografskih meritvah⁷²

Vrsta napake	Praktično območje napak	Možne napake
Napake priprave	0 do 10 %	100 %
Nezadovoljiva zmogljivost	0 do 10 %	50 %
Nehomogenosti	1 do 5 %	100 %
Statistične napake	0,1 do 10 %	20 %
Napake preračunavanja	0 do 5 %	10 %

Meritve prostornin:

Presenetljivo, a vendar razmeroma lahko je preizkusiti in dokazati, da ploščinski delež ene faze ustreza ploskovnemu, linearnemu ali točkovnemu deležu. Torej je

$$V_V = A_A = L_L = P_{pf} = \sqrt{(1 + F_A^2)/N} \text{ ali } \sqrt{(1 + F_L^2)/N} \text{ ali } \sqrt{1/N} \pm \bar{f}$$

Napaka se v vseh primerih zmanjšuje s kvadratnim korenem iz števila N izmerjenih ploskev, tetiv ali točk, ki zadenejo določeno fazo. Relativne napake f_A in f_L imajo majhen vpliv. Da bi dosegli enako natančnost, moramo izmeriti prav toliko ploskev in tetiv, kolikor točkovnih zadetkov pade v opazovano fazo. Jasno je, da je štetje zadetkov daleč najhitrejše. Kadar moramo torej določati volumske deleže, bo točkovna analiza vsekar najboljši postopek. S polno avtomatskimi števničnimi aparataturah, ki delujejo analogno otipavanju slike pri televiziji, lahko dosežemo hitrost štetja do milijon točk na minuto.

Specifična površina:

Na volumsko enoto reducirana površina ene faze je na osnovi merjenih podatkov z linearno analizo na preprost način izražena z

$$S = \frac{4 N_L}{L_L}$$

Specifična površina označuje stopnjo disperznosti ene faze na nedvoumen način in je za mnoge metalurško znanstvene pojave odločujoča vplivna veličina. Meje faz in zrn so v neposredni zvezi z difuzijo, deformacijo z lezenjem, plastičnim deformiranjem, lomom in z drugimi fenomeni. Površinska energija je gonilna sila pri rasti zrn. Velik pomen ima specifična površina. Pri večfaznih strukturah obstaja tudi možnost fazne meje in meje zrn posebej obravnavati. Specifična površina faznih mej je namreč

$$S_{PG} = 4 Z_{KG}/L_L$$

in specifična površina mej zrn

$$S_{KG} = 2 Z_{PG}/L_L$$

Pri tem so meje zrn upoštevane kot dvojne ploskve, ker vsaka meja pripada dvema zrnoma. Merilna napaka znaša pri linearno analitičnih standardnih postopkih do ca. 5 % merjene vred-

nosti, če je upoštevanih 1000 elementov ene faze. S površinami mej zrn in faz lahko kvantitativno označujemo tudi razpored faz, to je prostorsko mrežo. Ta parameter, ki ga označujemo kot kontinuiteto, predstavlja razmerje ploskev mej zrn proti celotni površini. Izražen je z

$$K = \frac{S_{KG}}{S} = \frac{2 Z_{KG}}{2 Z_{KG} + Z_{PG}}$$

Povprečna velikost zrn:

Za označevanje velikosti zrn uporabljamo več različnih značilnih vrednosti. Primerjava struktur s primerjalnimi tabelami daje subjektivno oceno, ki pa za čiste kontrolne namene običajno zadošča. Pri merilnih postopkih prideta v poštev dve metodi. Po metodi Jeffries je kvadratni koren iz srednje presečne ploskve definiran kot povprečni premer. Ta vrednost pa pride v poštev za uporabo samo s pogojem, da je geometrijska oblika prostorskih zrn enakomerna in enaka. Primernejša je uporaba metode določanja velikosti zrna po Heynu. Ta je definirana kot aritmetična sredina tetiv:

$$D_m = L_t / N_t$$

Pri tem obstaja tudi preprosta zveza s prostorsko velikostjo, in sicer s specifično površino

$$D_m = 4/S$$

Heynovo velikost zrna je priporočljivo uporabljati kot merilo za velikost zrna, ker ta kot specifična površina obsega tudi prostorsko disperzijsko stanje, je preprosta za merjenje in preračunavanje. Napaka merjenja se obvlada na najpreprostejši način z večkratnim merjenjem in izračunavanjem napake. Tako kakor Heynovo velikost delcev lahko računamo tudi povprečno medsebojno razdaljo delcev v večfaznih strukturah kot prostorsko veličino, kar tudi lahko povezujemo s specifično površino osnovne matice. Povprečno razdaljo med delci največkrat označujemo kot povprečno prosto pot, ki je podana z

$$L_m = 2 \cdot (1 - L_t) / Z_{PG}$$

Doslej opisani strukturni parametri v večini primerov zadoščajo za opis strukturne zgradbe. Ti so neodvisni od oblike, razporeda in porazdelitve velikosti strukturnih elementov in so med seboj preprosto povezani. Te karakteristične vrednosti so statistične srednje vrednosti, ki o porazdelitvi velikosti še nič ne povedo. Na tem področju je bilo več različnih metod, v zadnjem času pa se je pokazalo, da preprosto preračunavanje v prostorske porazdelitve velikosti ni mogoče. Pred kratkim pa je bil, izhajajoč iz porazdelitve presečnih tetiv, opisan postopek, s katerim je prostorska porazdelitev velikosti preprosta in hitra ter natančno določljiva. V naslednjem podajamo glavne korake tega postopka.

Dolžine tetiv so že pri meritvi stopenjsko razporejene v razrede geometrično z modulom $\sqrt{2}$. V finem območju, kjer je največ prirodnih kolek-

tivov z največjo pogostostjo, ležijo meje razredov ožje kot v grobem območju, tako da meritev 1000 do 2000 tetiv zadošča in je 10 do 15 razredov dovolj. Preračunavanje porazdelitve dolžine tetiv v prostorsko porazdelitev zrn sledi po izredno preprosti zvezi, pri čemer konstante $C = 2/\pi$ pri izračunavanju procentualne pogostosti ni treba upoštevati:

$$N_i + 1/2 = 2^{-i} \cdot (2n_i - n_i + 1) \cdot C$$

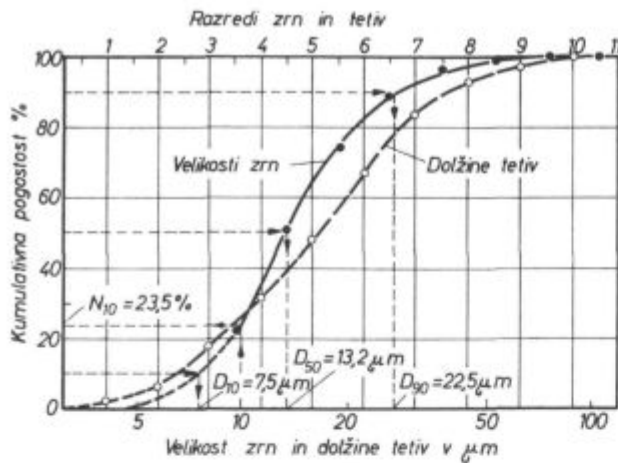
Shematično prikazuje to vrednotenje tabela 8.

Tabela 8: Izračun prostorske porazdelitve velikosti (primer)

i	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	σ^2	σ^2	σ^2	$\sigma^2 + 1$	$2n_i - n_{i+1}$	σ^2	$\sigma^2 (2n_i - n_{i+1})$	$N_i + 1/2$	$\sum_{j=1}^i N_j + 1/2$	$D_{p+1/2}$
	μm	%			%			%	%	μm
0		0	0	1,8	-1,8					
1	4	1,8	3,6	4,1	-0,5					
2	5,6	4,1	8,2	11,4	-3,2					
3	8	11,4	22,8	13,6	+9,2	1/8	0,6625	21,4	21,4	9,5
4	11,2	13,6	27,2	17,1	10,1	1/16	0,6312	29,2	50,6	13,3
5	16	17,1	34,2	18,4	15,8	1/32	0,4938	22,8	73,4	19,0
6	22,4	18,4	36,8	16,0	20,8	1/64	0,3250	15,0	88,4	26,7
7	32	16,0	32,0	10,1	21,9	1/128	0,1709	7,9	96,3	38,1
8	45	10,1	20,2	4,8	15,4	1/256	0,0602	2,8	99,1	53,6
9	64	4,8	9,6	2,5	7,1	1/512	0,0139	0,67	99,77	76,2
10	90	2,5	5,0	0,2	4,8	1/1024	0,0047	0,22	99,99	107,1
11	128	0,2	0,4		0,4	1/2048	0,0007	0,01	100,00	152,3
$\sum_{i=1}^k$		100,0	200,0		100,0		2,1624	100,00		

Prvih pet kolon podaja merjene vrednosti, ki so porazdeljene v 11 geometrično porazdeljenih razredov i — po velikosti, n_i so pogostosti tetiv v vsakem razredu v %. Koloni IV in VIII dajeta izračunane vmesne vrednosti, v koloni IX pa so pogostosti velikosti zrn v odstotkih. V koloni X so kumulativne pogostosti. Za izračunavanje potrebujemo samo ca. 15 minut, natančnost pa je taka kot pri vseh drugih postopkih, ki brez elektronskega računalnika zahtevajo zelo veliko časa. Rezultat tega prikazanega preračunavanja je tudi pri nekroglasti obliki zrn nedvoumno definiran. To je porazdelitev premerov krogel z realnim zrnom odgovarjajočim volumnom.

Rezultat meritev prikazuje slika 52, v kateri so prikazane kumulativne pogostosti iz predzadnje kolone tabele 8, nanesene nad logaritmom meje razredov. Porazdelitev dolžine tetiv precej odstopa od porazdelitve velikosti zrn, poteka bolj položno. Ta način prikazovanja v primerjavi z običajnimi histogrami ali poznano zvonasto krivuljo ima dve prednosti, logaritmično razdeljena abscisa daje možnost, da primerjamo porazdelitve popolnoma različnih območij velikosti med seboj. Pri linearni razdelitvi moramo izbrati različna merila. Razen tega so porazdelitvene krivulje zaradi omenjene večje pogostosti v finem območju logaritmično simetrične. Drugič se dajo te kumulativne krivulje



Slika 52

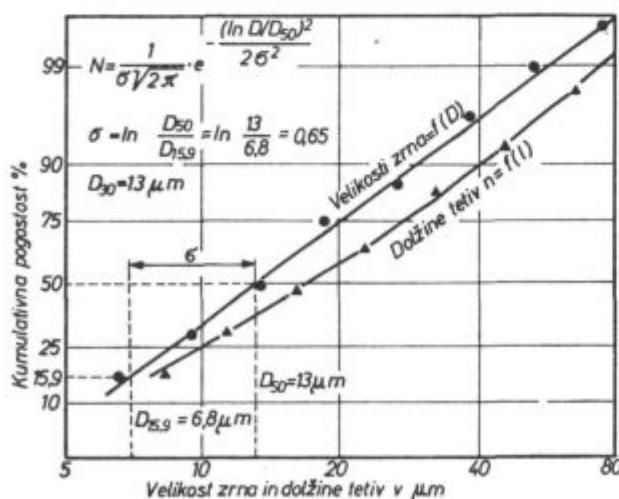
Prikaz porazdelitve velikosti zrn in dolžine tetiv

Fig. 52

Presentation of the distribution of grain sizes, and lengths of chords

pogostosti direktno odčitavati, medtem ko histogramski način prikazovanja tega ne omogoča. Na sliki 52 je na primer 23,5 % vseh delcev pod $10 \mu\text{m}$ in 10, 50 in 90 % pripadajoči premeri so 7,5, 13,2 oz. $22,5 \mu\text{m}$.

Pri mnogih materialih je prostorska porazdelitev premerov strukturnih delov normalno porazdeljena. V logaritemski verjetnostni mreži dobimo premico, prikazani za primer na sliki 53. Taka premica je definirana z enačbo, ki je na sliki podana. Natančnost porazdelitve analize je odvisna od števila izmerjenih tetiv. Za običajne širine razdelitve je trosenje za 1000 tetiv manjše kot polovica širine razreda, kar pomeni, da so odstopanja v smeri abscise manjša od 20 % navedenega premera.



Slika 53

Določanje parametrov prostorske porazdelitve velikosti pri logaritemsko-normalni statistični porazdelitvi

Fig. 53

Determination of parameters for the space size distribution in logarithmic — normal statistical distribution.

ZAKLJUČKI

Dosedanje izkušnje so pokazale, da nudi kvantitativna metalografija veliko pomoč pri razvoju in zagotavljanju kakovosti ledeburitnih orodnih jekel. Meritve so kvantitativne, izpostavljene pa so številnim možnostim napak, tako da moramo biti pri meritvah zelo previdni, toliko bolj, kolikor bolj so meritve avtomatizirane in jih moramo z eksperimentalno tehniko primerno obvladati.

Standardna tehnika priprave metalografskih obrusov ni dovolj zanesljiva za meritve s kvantitativnim TV mikroskopom, čeprav dokaj kontrastno izraža karbide v osnovi. V nadaljnjih raziskavah bo treba z izpopolnjeno tehniko jedkanja zagotoviti predvsem enakomernjši maksimalni kontrast.

Možnosti subjektivnih vplivov pri meritvah je treba kolikor mogoče zmanjšati, predvsem z zagotovitvijo enakomernih kriterijev za nastavev stopnje detektiranja pred meritvijo.

Kljub vsemu temu moramo pri ugotavljanju količinskih deležev vedno upoštevati omejitve pri sposobnosti detektiranja najmanjših delcev. Pri meritvah količine karbidov rezultatov ne moremo jemati absolutno, ker večji ali manjši delež drobnih karbidov ostane neupoštevani.

Velikega pomena so predvsem meritve z metodiko klasifikacije in porazdelitve velikosti karbidnih zrn. Te meritve skupaj z ugotavljanjem profila porazdelitve karbidov obetajo zelo pomemben prispevek h karakteriziranju strukturnih značilnosti v povezavi z uporabnimi lastnostmi orodij.

Doslej žal še nimamo enotno osvojenega načina in kriterijev za komparativno izražanje strukturnih karakteristik v taki obliki, da bi jih lahko sistematično uporabljali pri povezovanju z obnašanjem orodij pri praktični uporabi. Pri tem ne gre samo za izražanje z nekim karakterističnim indeksom, ampak tudi za enotno metodiko primerjalnih preiskav. V članku so na osnovi kritične ocene rezultatov podani predlogi standardizirane eksperimentalne tehnike za nadaljnje preiskave v okviru omenjenega raziskovalnega projekta.

Osvojena standardizirana tehnika postopoma izpopolnjena z avtomatiziranimi programiranimi meritvami bi imela v redni kontroli kakovosti zelo veliko vrednost in v povezavi z dokumentacijo v uporabi orodij neprecenljiv pomen za nadaljnji razvoj. Zato se bomo morali sistematično lotiti zahtevnega dela na tem področju, ki obeta pomemben napredek.

Literatura

Pregled literature do številke 136 je naveden v članku Zelezarski zbornik 9 (1975) št. 2, str. 87—104.

137. Rodič J.: Kvantitativna metalografija ledeburitnih orodnih jekel, Zelezarski zbornik 9 (1975), št. 2, str. 87—104.

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil dieses Artikels (ZZB 9, 1975, Nr. 2) über die quantitative Metallographie der ledeburitischen Werkzeugstähle ist eine allgemeine Entwicklung der quantitativen Metallographie in der letzten Zeit bis zur heutigen Entwicklungsstufe beschrieben worden. Eingehend sind die allgemeinen Möglichkeiten und die Bedeutung der Methodik der quantitativen metallographischen Untersuchungen bei der metallurgischen Forschungs- und Entwicklungsarbeit dargestellt worden. Währendem der erste Teil auf einen Auszug der umfangreichen Fachliteratur begrenzt war, sind in dieser Fortsetzung die praktischen Erfahrungen von den Untersuchungen der ledeburitischen Werkzeugstähle mit der Anwendung der quantitativen Metallographie zusammengefasst. Für engere Gebiete, wie die Bestimmung der Mengenanteile und die Verteilung der Karbide, und die quantitative Feststellung der Verteilung der Karbidgrösse, ist im einzelnen der Vergleich der veröffentlichten Feststellungen mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen gegeben. Diese sind in den Laboratorien des Max Planck Institutes in Düsseldorf an den Stahlproben des Hüttenwerkes Ravne aus dem Forschungsprojekt für ledeburitische Werkzeugstähle, wie es schon im ersten Teil angewendet worden ist, durchgeführt worden. Auch eine Übersicht der angewendeten Methoden mit kritischer Bewertung der Anwendbarkeit der einzelnen Varianten für die weitere Forschung ist angegeben. Den

spezifischen Möglichkeiten und Bedürfnissen ist das System der Dokumentierung der Messungen und statistischen Analysen bei der Bewertung der Ergebnisse angepasst worden.

Bei den Ergebnissen der Karbidmengenmessung ist besonders darauf zu deuten, dass die festgestellten Mengen verhältnismässig klein sind, da die Karbide in den Proben sehr fein waren, mit einem grossen Anteil unter der Bestimmungsgrenze bei den Untersuchungsbedingungen. Ausserdem ist auch der Ätztechnik keine besondere Aufmerksamkeit gewidmet worden.

Zweck der ausgeführten Untersuchungen war eine standardisierte Methodik zu formen, welche bei dem folgenden Forschungsprogramm quantitative gegenseitige Vergleichen ermöglichen wird. Diese sollte wenigstens teilweise bei der unmittelbaren Qualitätskontrolle in der regelmässigen Produktion der ledeburitischen Werkzeugstähle anwendbar sein. Es handelt sich vor allem um die gegenseitige Vergleichung der Ergebnisse und nicht um die Feststellung der repräsentativen Charakteristiken der einzelnen Stahlsorten, da dieses erst das Ziel weiterer Forschungen ist.

Zum Schluss sind noch einige Grundinformationen über die Feststellung der Raumverteilung der Karbidgrösse gegeben.

SUMMARY

In the first part of the paper on quantitative metallography of ledeburite tool steel the general development of quantitative metallography in the recent time was described. General possibilities and importance of this investigation method in metallurgical research and development were shown in details. While the first part was limited to the review of a great number of references the second part represents the practical experiences in investigation of ledeburite tool steel by mean of quantitative metallography. For some narrow test like determination of the quantity portions and the distribution of carbides, and quantitative determination of the size distribution of carbides the own investigations are compared with data from references. Own investigations were made in laboratories of Max Planck Institute in Düsseldorf, the samples were taken from the development project of ledeburite tool steel in Ravne ironworks, as mentioned in the first part of the paper. Review of the used methods with critical estimation of usability of single

variants for further investigations is given. The system of recording and statistical analysis in data treatment were adapted to specific possibilities and needs.

Measurements of the amount of carbides give relatively low values because the carbides in the samples were very fine and their greater part was below the resolution point at the investigation conditions. Besides, also no special attention was attributed to the etching techniques.

All the performed investigations had intention to form a standard method which will enable in further research program mutual quantitative comparison. Simultaneously, it should be also at least partially applicable for direct introduction in the quality control of the regular production of ledeburite tool steel. Basis is mutual comparison of results without determining representative characteristics of single steel which is the aim of further investigations.

At the end some basic informations on determining the space distribution of size of carbides are given.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи о количественной металлографии ледебуритных инструментальных сталей было дано описание общего развития количественной металлографии новейшего периода до настоящей фазы. Подробно рассмотрены общие возможности и значение методики количественных металлографических исследований работ развития исследования в металлургии. Между тем первая часть статьи была ограничена на подведение итогов из обширной специальной литературы, в этом продолжении работы собраны и поданы практические опыты собственных исследований ледебуритных сталей с применением количественной металлографии.

Для более узких областей, как напр. определение количественной доли, распределения карбидов а также распределения их величины подробно рассмотрено сравнение известных опубликованных результатов с результатами собственных исследований, которые были выполнены в институте Max Planck в Düsseldorf-е на образцах стали Металлургического завода Равне из общего проекта исследований ледебуритных инструментальных сталей, как уже выше упомянуто. При этом подан обзор употребленных способов с критической оценкой применимости отсадных вариант для последующих исследований. Система документации измерения

и статистический анализ при оценке результатов был согласован требованиям и специфическим возможностям.

При оценки результатов измерений количества карбидов надо взять во внимание, что полученные количества сравнительно очень небольшие. Причина этого в том, что в образцах карбиды были очень мелки и, при данных условиях исследования, в большинстве случаев под пределом возможности детектирования.

Кроме этого недостаточное внимание было уделено травлению образцов.

Цель выполнения исследований состоялась главным образом в том, чтобы создать стандартную методику, которая в последующей программе исследований даст возможность взаимного количественного сравнения. Кроме этого выработана методика, хотя частично, была бы непосредственно применима при контроле качества ледебуритных инструментальных сталей во время нормального производства. Следует, что цель исследований была главным образом установить возможность взаимного сравнения результатов а не определения репрезентативных характеристик отдельных сортов стали; это будет задачей последующих исследований.

В заключении поданы некоторые основные информации о объемном распределении величины карбидов.

Matematični modeli ogrevanja in ohlajanja za nekatere primere iz prakse

UDK: 517.947.43 : 581.61; 669.046
ASM/SLA: U4S, F216

Božidar Brudar

Delo obravnava matematične modele ogrevanja in ohlajanja

- z vodnimi curki (trakovi)
- s sevanjem (kolobarji pločevine, žica)
- v koračni peči (gredice)

Izdelani so računalniški programi za vsak model. Rezultati služijo nadaljnjim raziskavam, ker opozarjajo na to, kar je pri posameznem problemu ogrevanja teoretično najbolj pomembno.

Preštudirali smo naslednje probleme:

- ohlajanje traku z vodnimi curki,
- ogrevanje in ohlajanje kolobarjev,
- ogrevanje in ohlajanje valja s sevanjem,
- ogrevanje gredic v koračni peči (sevanje).

Seznam uporabljenim simbolov:

- c_p specifična toplota
- l časovni korak v brezdimenzijski obliki
- h krajevni korak v brezdimenzijski obliki
- r_0 referenčni polmer
- r polmer kolobarja
- t_0 referenčni čas
- t_s čas ohlajanja s sevanjem
- t_t čas ohlajanja z vodnimi curki
- T temperatura
- T_0 začetna temperatura
- T_x zunanja temperatura (referenčna)
- T_k končna temperatura
- T_p temperatura na površini
- x koordinata v smeri dolžine
- x_0 referenčna dolžina
- β brezdimenzijski polmer
- ϵ emisijski koeficient
- ϑ brezdimenzijska temperatura
- λ toplotna prevodnost
- ξ brezdimenzijska dolžina
- ρ gostota materiala
- σ Stefanova konstanta
- τ brezdimenzijski čas

OHLAJANJE TRAKU Z VODNIMI CURKI

Ko v valjarni štelcel izvaljajo trak na predpisano debelino, ga pošljejo skozi tuše, da se ohladi. Pri tem pade temperatura površine od začetne vrednosti 850°C na približno 550°C ob koncu tuširanja. Nato trak navijejo v kolobar, kjer se temperaturne razlike zelo hitro izenačijo. Navadno je temperatura navitega kolobarja višja od končne površinske temperature tik pred navijanjem, saj je trak v notranjosti vedno nekoliko toplejši od površine. Čim debelejši je trak, tem bolj se segreje po navijanju v kolobar. Pri 5-milimetrskem traku se po navijanju ogreje toliko, da je to že lahko škodljivo za nadaljnjo predelavo (globoki vlek). To se lahko zgodi tudi pri najmanjši hitrosti, s katero potuje trak skozi tuše.

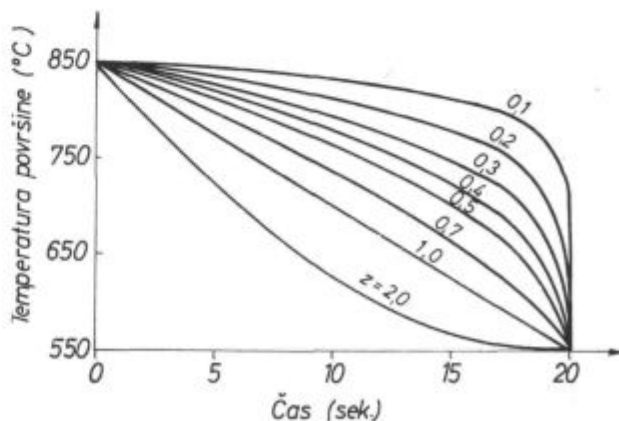
Zato smo izdelali matematični model, s katerim smo simulirali različne pogoje ohlajanja pod tuši.

Matematični model

Ohlajanje traku lahko obravnavamo enodimenzionalno. Ker poznamo zaenkrat le začetno in končno temperaturo, smo predpostavili, da temperatura površine pada v času zadrževanja pod tuši po paraboli z- stopnje.

Parameter z si lahko poljubno izberemo.

Ko trak navijemo v kolobar, spremenimo robne pogoje: toplotni tok na robu je takrat enak nič.



Slika 1

Temperatura površine pada po paraboli z -te stopnje od 850°C na 550°C v 20 sekundah.

Fig. 1

Surface temperature decreases by the parabola of z -th order from 850 to 550°C in 20 seconds

* To je povzetek elaborata, ki je bil izdelan s sofinanciranjem SBK naloga št. 312/74.

Prav toliko toplote namreč v neko plast priteče iz sosednjih plasti, kolikor je odteče. Na robu je temperaturni gradient enak nič.

Računalniški program predvideva tudi različne začetne pogoje: temperatura se lahko po preseku traku spreminja po paraboli sode stopnje.

Podoben problem srečamo tudi pri tuširanju debele pločevine v valjarni 2400. Zato smo v program vključili tudi možnost predhodnega ohlajanja s sevanjem, ker preteče nekaj časa od konca valjanja do začetka tuširanja. Nelinearni robni pogoj zaradi sevanja smo upoštevali podobno kot pri študiju ogrevanja blokov v globinskih pečeh.

Prevajanje toplote v traku opišemo z enačbo:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Z uvedbo novih spremenljivk:

$$\xi = \frac{x}{x_z} \quad \vartheta = \frac{T}{T_z} \quad \tau = \frac{t}{t_o} \quad t_o = \frac{\rho \cdot c_p \cdot x_o^2}{\lambda}$$

prevedemo enačbo v brezdimenzijsko obliko:

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial \xi^2} = \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \quad (2)$$

Enačbo rešujemo numerično in jo lahko zapisano v obliki:

$$\frac{\vartheta_{i-1,j} - 2\vartheta_{i,j} + \vartheta_{i+1,j}}{h^2} = \frac{\vartheta_{i,j+1} - \vartheta_{i,j}}{1} \quad (3)$$

Tako lahko izračunamo temperaturo v i -točki po j -časovnem koraku po formuli:

$$\vartheta_{i,j+1} = \vartheta_{i,j} \left(1 - 2 \cdot \frac{1}{h^2}\right) + \frac{1}{h^2} \cdot (\vartheta_{i-1,j} + \vartheta_{i+1,j}) \quad (4)$$

Če hočemo, da izraz konvergira, mora biti izpolnjen pogoj:

$$1 - 2 \cdot \frac{1}{h^2} \geq 0$$

oziroma

$$\frac{1}{h^2} \leq \frac{1}{2} \quad (5)$$

Robni pogoji

a) Sevanje:

$$-\lambda \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_p = \varepsilon \sigma \cdot (T_p^4 - T_z^4) \quad (6)$$

Če vpeljemo $\vartheta_p = \frac{T_p}{T_z}$ in $x_o = \frac{\lambda}{\varepsilon \sigma \tau_z^3}$, lahko za-

pišemo pogoj (6) v brezdimenzijski obliki:

$$\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial \xi}\right)_p = \vartheta_p^4 - 1, \quad (7)$$

oziroma

$$\frac{1}{2h} \cdot (-3\vartheta_p + 4\vartheta_{p-1} - \vartheta_{p-2}) = \vartheta_p^4 - 1 \quad (8)$$

Pri tem je treba upoštevati, da računamo z absolutnimi temperaturami. Enačbo (8) rešujemo z iteracijo. To delamo toliko časa, kolikor časa predvidevamo ohlajanje s sevanjem na zraku (t_s).

b) Tuširanje:

Predpostavljamo, da se temperatura površine v času tuširanja (t_t) niža po paraboli z- reda od neke začetne vrednosti T_o do končne vrednosti T_k . To zapišemo v obliki:

$$T_p = \frac{T_o - T_k}{t_k^x} \cdot (t_k - t)^x + T_k \quad (9)$$

Za vsak nov časovni korak izračunamo pripadajoče vrednosti robne temperature.

c) Izenačevanje:

Predpostavljamo, da se po navijanju trakov v kolobar temperaturne razlike le še izenačijo:

$$-\lambda \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_p = 0, \quad (10)$$

oziroma:

$$\vartheta_{p,j} = \frac{1}{3} \cdot (4\vartheta_{p-1,j} - \vartheta_{p-2,j}) \quad (11)$$

Izdelali smo računalniški program, ki omogoča vse te kombinacije.

Rezultati

Študirali smo ohlajanje 5-milimetrskega traku ($\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, $\lambda = 20 \text{ kcal/mhst}$, $c_p = 0,170 \text{ kcal/kg st}$).

Izhajali smo iz predpostavke, da se temperatura površine v 20 sekundah zniža od začetnih 850 na 550° C. Če lahko opišemo to spreminjanje s premico (slika 2) $z = 1$, ugotovimo, da se dvigne temperatura kolobarja po izenačitvi na 557° C. Pri tem pa začetna porazdelitev temperature po preseku prav nič ne vpliva na končno temperaturo. Če namreč predpostavimo da je 850° C v začetku le na površini traku, v sredini pa celo 900° C ali 1000° C, se začetne razlike izredno hitro izenačijo in dobimo v vsakem primeru na koncu le 557° C. Ta predpostavka je čisto formalna, saj pri 5-milimetrskem traku česa drugega tudi ne pričakujemo.

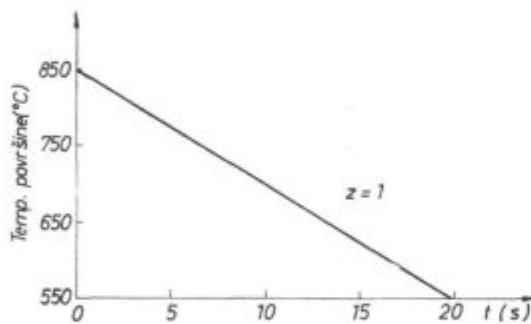
Praksa pa kaže, da se po navijanju 5-milimetrski trak segreje na 600° C in še čez, čeprav je bila morda temperatura površine tik pred navijanjem 550° C. Iz tega sledi, da v praksi odvisnost temperature površine od časa zadrževanja pod tuši ni linearna.

Predpostavimo, da je $z = 2!$ (slika 3). Če bi se temperatura površine spreminjala po taki funkciji, se praktično kolobar ne bi ogrel nad 550° C.

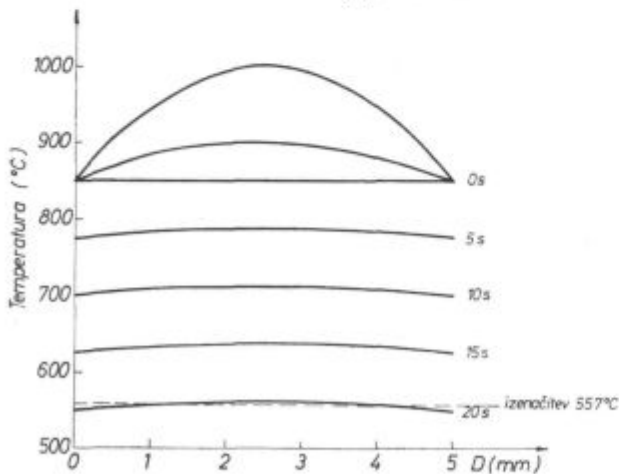
Očitno je, da torej v praksi temperatura površine v začetku ohlajanja pod tuši pada počasneje, nato pa vedno hitreje. Kajti le v tem primeru imamo opravka z izenačevalnim segrevanjem v kolobarju. Zato smo predpostavili tudi možnosti $z = 0,5; 0,4; 0,3$ (slike 4, 5, 6).

Zanimiva je primerjava končnih temperatur po izenačevanju pri 5-milimetrskem traku za različne vrednosti z (tabela I). Izračunali smo pa tudi temperature po izenačitvi pri trakovih različnih debelin, ki se 20 sekund ohlajajo pod tuši, pri čemer je $z = 0,5$ (tabela II).

Tabela I		Tabela II	
z	T izenač. (°C)	Debelina (mm)	T izenač. (°C)
2,0	550	5	590
1,0	557	6	598
0,9	560	7	606
0,8	564	8	613
0,7	570	9	621
0,6	578	10	629
0,5	590		
0,4	608		
0,3	635		
0,2	676		
0,1	742		



Ohlajanje 5 mm traku

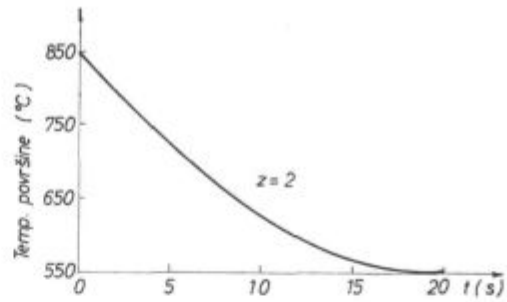


Slika 2

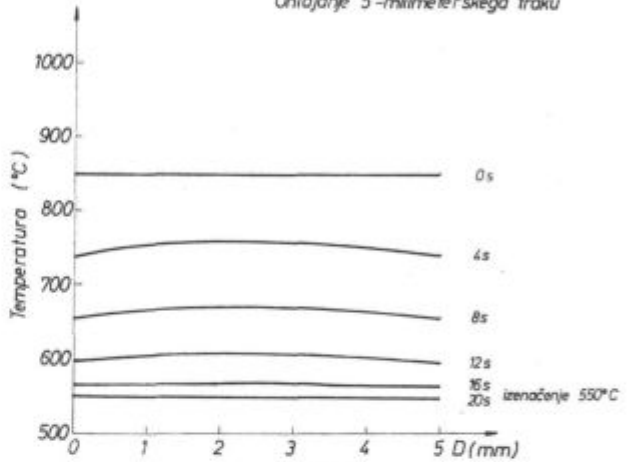
Potek temperature na površini in v preseku pri ohlajanju ($z = 1$)

Fig. 2

Temperature distribution on the surface and on the cross-section during cooling ($z = 1$)



Ohlajanje 5-milimetrskega traku



Slika 3

Potek temperature na površini in v preseku pri ohlajanju ($z = 2$)

Fig. 3

Temperature distribution on the surface and on the cross-section during cooling ($z = 2$)

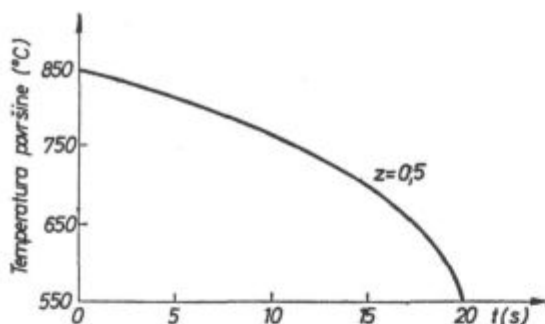
Obe primerjavi sta prikazani na sliki 7.

Pri prehodu vročega traku skozi tuše se bolj intenzivno hladi površina na koncu kot na začetku ohlajanja. S kolikšno vrednostjo parametra z imamo opraviti, bi najlažje ugotovili, če bi merili temperaturo površine vzdolž tušev. Posredno pa bi lahko določili z tudi iz podatkov, ki jih beležijo na sami progi. Poznati bi morali začetno in končno temperaturo površine, debelino traku, temperaturo, ki se izenači v kolobarju in hitrost, s katero potuje trak skozi tuše.

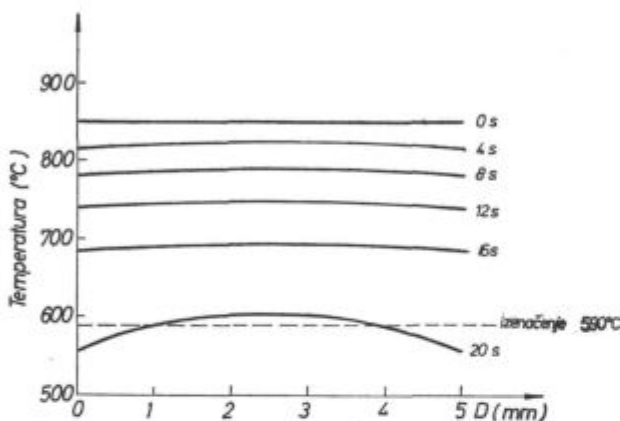
Debela pločevina

Isti program lahko uspešno uporabljamo pri študiju ohlajanja debele pločevine. Tudi v valjarni 2400 se pogosto plošče po tuširanju ponovno ogrejejo. Če bi poznali več eksperimentalnih podatkov, bi lahko tudi ta problem natančneje opisali. Meriti bi morali temperaturo po ponovnem ogrevanju po končanem tuširanju.

Za primer smo si izbrali 15 milimetrov debelo ploščo z začetno temperaturo 850°C, ki se 5 sekund ohlaja na zraku s sevanjem ($\epsilon = 0,99$), nato pa 1 minuto pod tušem na temperaturo površine 650°C, pri čemer predpostavljamo $z = 0,5$ (slika 8



Ohlajanje 5 milimeterskega traku



Slika 4

Potek temperature na površini in v preseku pri ohlajanju ($z = 0,5$)

Fig. 4

Temperature distribution on the surface and on the cross-section during cooling ($z = 0,5$)

in 9). Plošča se po končanem izenačevanju spet ogreje na 692°C , če predpostavimo takšne robne pogoje kot pri traku.

Matematični model je jasno pokazal, da v praksi padanje temperature površine s časom ni linearno.

Naredili smo naslednji poskus: pri navijanju smo zavili v sredino kolobarja tudi termočlen, s katerim smo potem merili temperaturo pri ohlajanju navitega kolobarja na zraku. Z ekstrapolacijo smo določili temperaturo v sredini tik po navijanju in prišli do zaključka, da gre pri 6-milimetrskem traku za ohlajanje površine po krivulji $z \approx 0,1 - 0,2$.

OGREVANJE IN OHLAJANJE KOLOBARJEV PLOČEVINE S SEVANJEM

V žarilnici naše hladne valjarne ogrevajo kolobarje pločevine in žice v talnih (globinskih) in zvonastih pečeh. Tako na primer kolobarje pločevine ($r_1 = 550\text{ mm}$, $r_2 = 250\text{ mm}$) naložijo drug na dru-

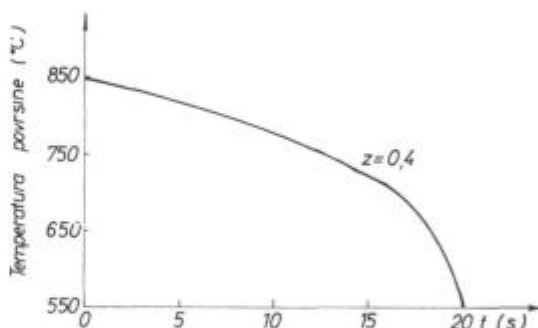
gega, pokrijejo z zaščitnim zvonom in čez povezovalno električno peč, s katero vse skupaj ogrejejo na približno 720°C . Ko se material pregreje, odstranijo zvonasto peč in pokrijejo žarilni zvon s hladilnim zvonom. S pomočjo posebnega ventilatorja skušajo vložek čim hitreje ohladiti (slika 10).

Ogrevanje v zvonastih pečeh traja od 12 do 16 ur, ohlajanje pa približno 24 do 30 ur. Ves čas pa teče skozi žarilni zvon mešanica zaščitnih plinov.

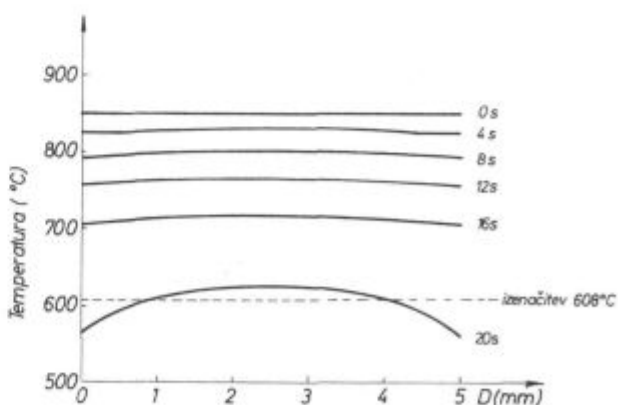
Očitno je, da traja ogrevanje razmeroma zelo dolgo, ohlajanje je pa tudi zelo dolgotrajno.

S primerno rekonstrukcijo talnih in zvonastih peči bi lahko občutno pospešili proces ogrevanja in ohlajanja. V sredino bi montirali dodaten grelec, da bi pospešili ogrevanje in omogočili, da bi pri ohlajanju v sredini imeli hlajeno jedro (slika 11).

Izračunajmo, kolikšen bi bil učinek take rekonstrukcije, če bi predpostavili, da gre za izmenjavo toplote s sevanjem. (Tak primer bi imeli, če bi žarili v vakuumu).



Ohlajanje 5 milimeterskega traku

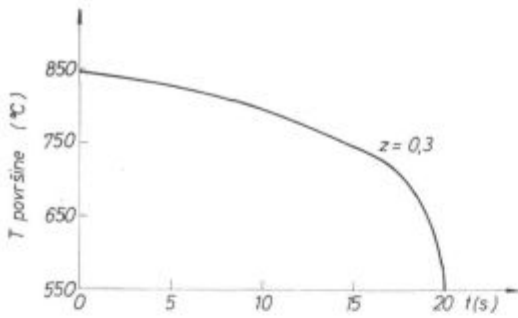


Slika 5

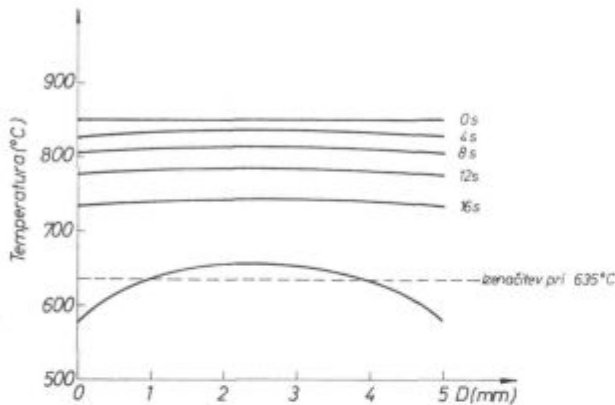
Potek temperature na površini in v preseku pri ohlajanju ($z = 0,4$)

Fig. 5

Temperature distribution on the surface and on the cross-section during cooling ($z = 0,4$)



Ohlajanje 5 milimeterskega traku

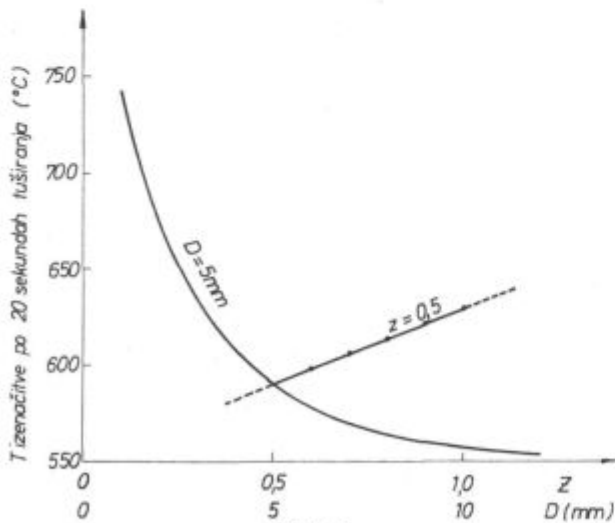


Slika 6

Potek temperature na površini in v preseku pri ohlajanju ($z = 0,3$)

Fig. 6

Temperature distribution on the surface and on the cross-section during cooling ($z = 0,3$)

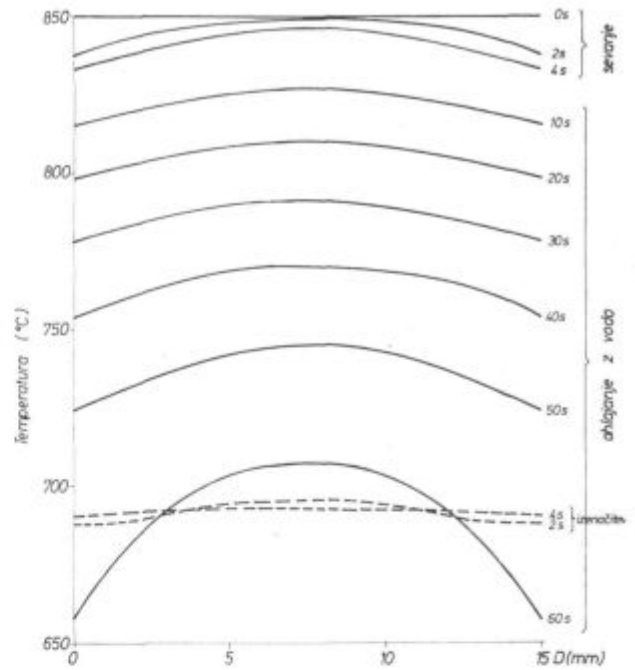


Slika 7

Odvisnost temperature po izenačitvi od debeline in parametra z .

Fig. 7

Relationship between the temperature, the thickness and the z parameter after equalization



Ohlajanje 15 milimeterskega traku:

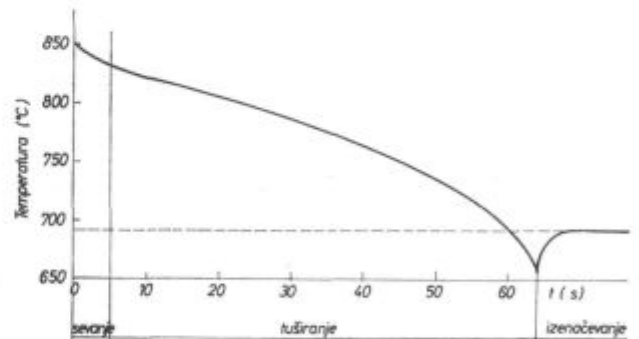
sevanje 5 sekund
tuširanje na 650°C $z=0,5$
1 minuta
izenačevanje - 4 sekunde

Slika 8

Primer ohlajanja debele pločevine.

Fig. 8

Example of cooling a thick sheet



Slika 9

Potek temperature na površini pri ohlajanju 15 mm debele pločevine.

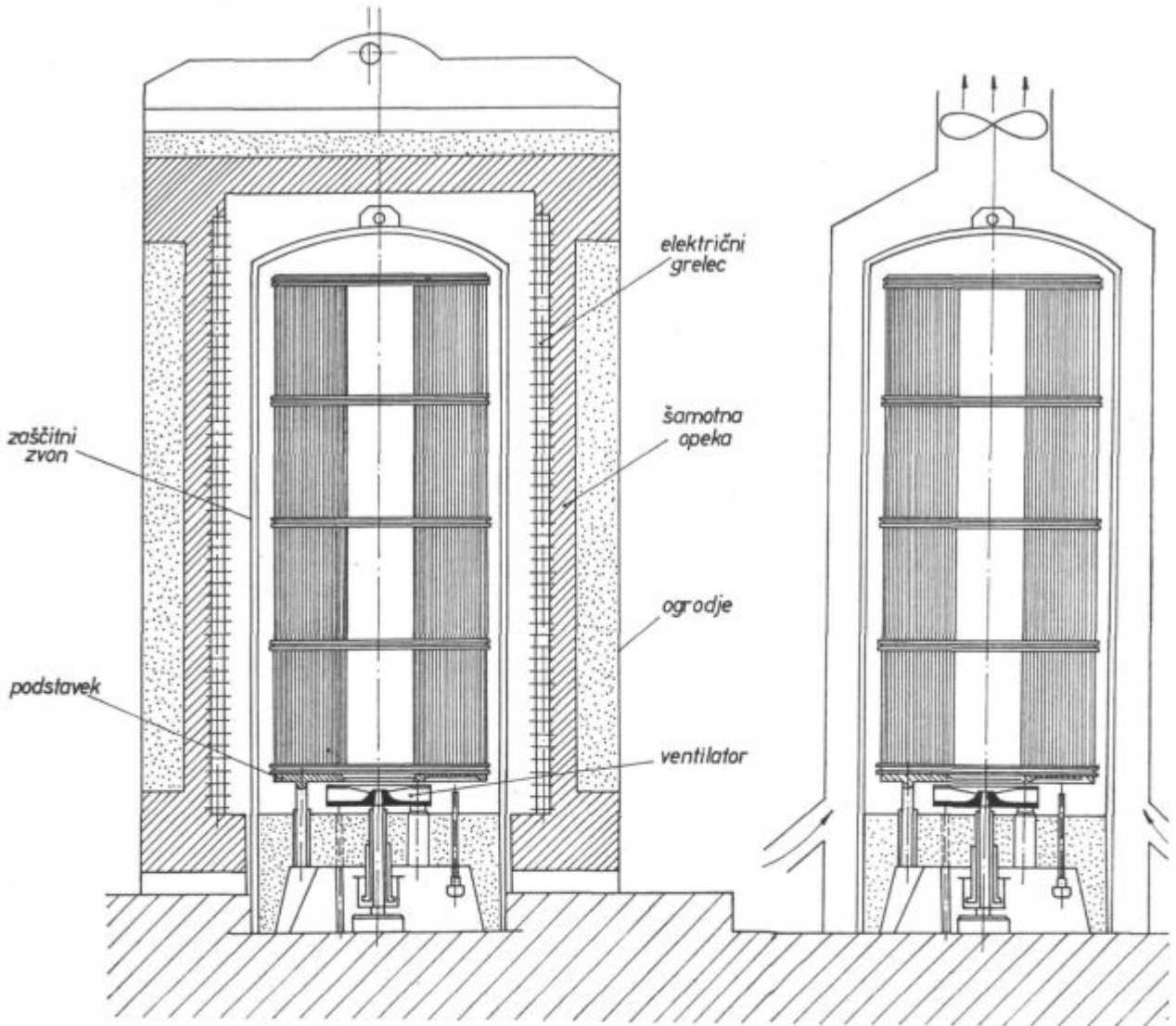
Fig. 9

The surface temperature during cooling a 15 mm sheet

Pri tem smo predpostavili, da gre za homogeno črno telo. S pomočjo programa smo lahko študirali, kako se porazdeljuje temperatura v kolobarju, če ga ogrevamo ali hladimo z notranje ali zunanje strani ali z obeh hkrati.

Matematični model

Izhajamo iz enačbe za prevajanje toplote, ki jo zapišemo v cilindričnih koordinatah:



Slika 10

Fig. 10

Žarjenje in ohlajanje kolobarjev v zvonastih pečeh.

Heating and cooling coils in a bell furnace

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\rho \cdot c_p}{\lambda} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (12)$$

Robni pogoj:

$$-\lambda \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_p = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_r^4) \quad (13)$$

Vpeljemo nove spremenljivke:

$$\vartheta = \frac{T_o}{T} \quad \beta = \frac{r}{r_o} \quad \tau = \frac{t}{t_o}$$

pri čemer je $r_o = \frac{\lambda}{\epsilon \cdot \sigma \cdot T_o^3}$ $t_o = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot C_p}{\epsilon^2 \cdot \sigma^2 \cdot T_o^6}$

$$A_p = \frac{\epsilon \cdot \sigma \cdot r_o \cdot T_r^4}{\lambda \cdot T_o}$$

in zapišemo enačbo v poenostavljeni obliki:

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial \beta^2} + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial \beta} = \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \quad (14)$$

Robni pogoj pa zapišemo takole:

$$-\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial \beta}\right)_p = \vartheta_p^4 - A_p \quad (15)$$

Ker gre za ogrevanje kolobarjev, je ugodno vpeljati novo spremenljivko:

$$R = \ln \beta \quad \beta = e^R$$

Enačba (14) dobi enostavnejšo obliko:

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial R^2} = e^{2R} \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \quad (16)$$

Robni pogoj (15) pa zapišemo takole:

$$-\left(\frac{\partial \vartheta}{\partial R}\right)_p \cdot e^{-Rp} = \vartheta_p^4 - A_p \quad (17)$$

Enačbo (16) rešujemo numerično:

$$\frac{\vartheta_{i+1,j} - 2\vartheta_{i,j} + \vartheta_{i-1,j}}{h^2} = e^{2R_i} \cdot \frac{\vartheta_{i,j+1} - \vartheta_{i,j}}{1}$$

$$\vartheta_{i,j+1} = \vartheta_{i,j} \cdot (1 - 2 \cdot \frac{1}{h^2} \cdot e^{-2Ri}) + \frac{1}{h^2} e^{-2Ri} \cdot (\vartheta_{i+1,j} + \vartheta_{i-1,j}) \quad (18)$$

Ce gre na robu za izmenjavo toplote s sevanjem, rešujemo enačbo (17) z iteracijo:

$$\frac{1}{2h} \cdot (-3 \vartheta_p + 4 \vartheta_{p-1} - \vartheta_{p-2}) \cdot e^{-Rp} = \vartheta_p^4 - A_p \quad (19)$$

Ce je na robu toplotni tok enak nič, izračunamo robne temperature po formuli:

$$\vartheta_p = \frac{1}{3} \cdot (4 \cdot \vartheta_{p-1} - \vartheta_{p-2}) \quad (20)$$

Krajnji korak h in časovni korak l moramo izbrati tako, da je izpolnjen pogoj:

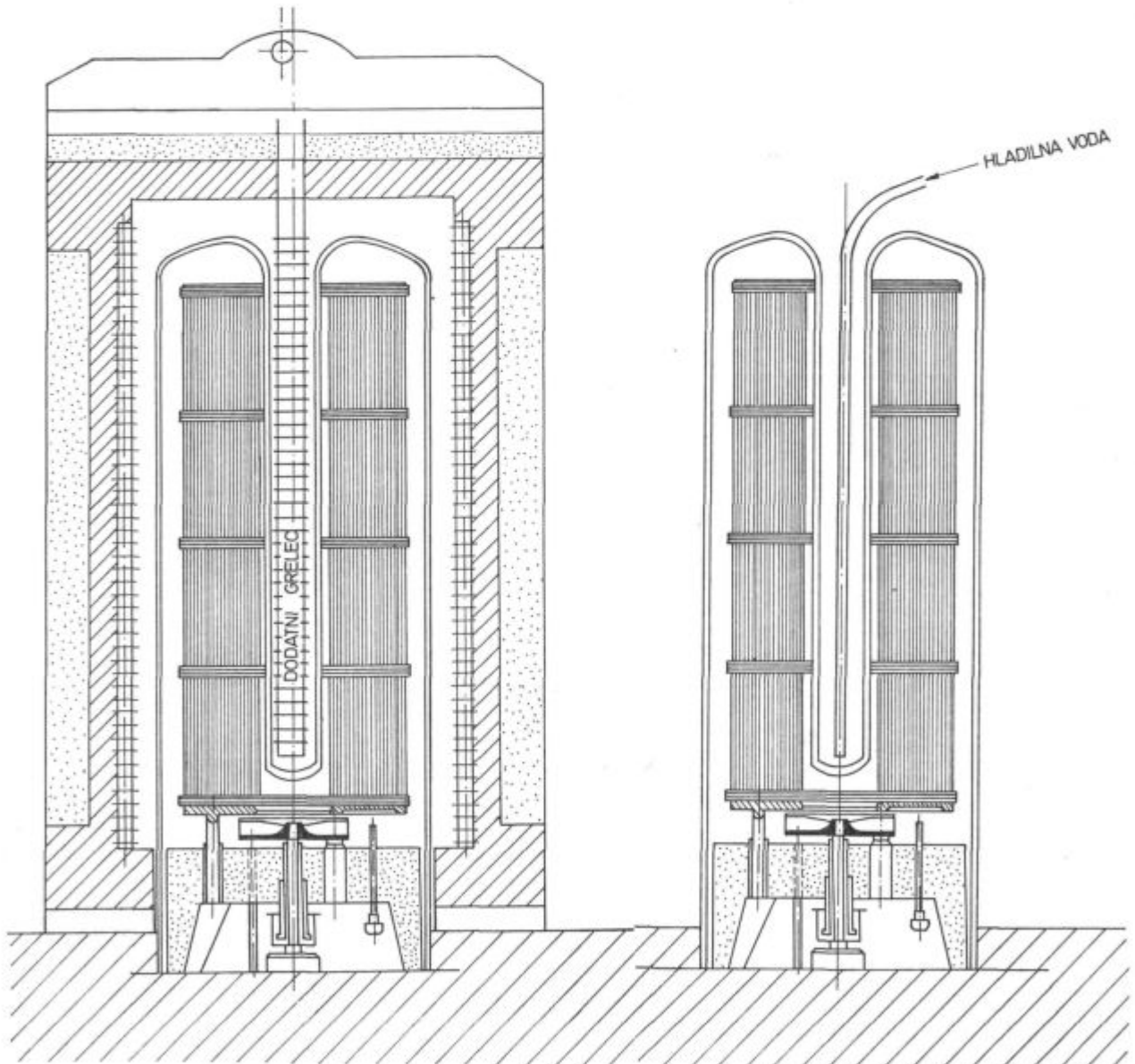
$$\left(\frac{1}{h^2} \cdot e^{-2Ri}\right)_{\text{maksimalno}} \leq \frac{1}{2} \quad (21)$$

Pri tem je treba upoštevati minimalni polmer, oziroma

$$\beta_{\min} = \frac{r_2}{r_0}$$

Ta pogoj sledi iz indeksnega kriterija za stabilnost podobno kot v enačbi (5).

Izdelali smo računalniški program za študij ogrevanja in ohlajevanja s sevanjem. Pri tem gre



Slika 11

Predlagana rekonstrukcija zvonaste peči in žarilnega zvona.

Fig. 11

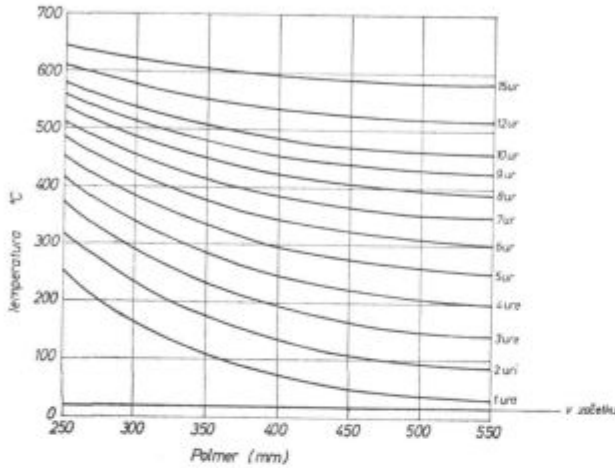
Proposed reconstruction of the bell furnace and the annealing bell

lahko za enostransko ali dvostransko ogrevanje ali ohlajanje. Kolobar smo obravnavali kot kompakten blok.

Namen te obdelave je bil prikazati, kako bi se spremenil proces ogrevanja v vakuumu v primeru, če bi znotraj kolobarjev montirali dodatni grelec, oziroma če bi pri ohlajanju imeli znotraj hlajeno mrzlo steno.

Na slikah 12 in 13 so prikazani primeri ogrevanja in ohlajanja z ene ali dveh strani.

Zelo lepo se vidi, da bi dodatni grelec močno skrajšal ogrevanje. To bi se še posebno poznalo

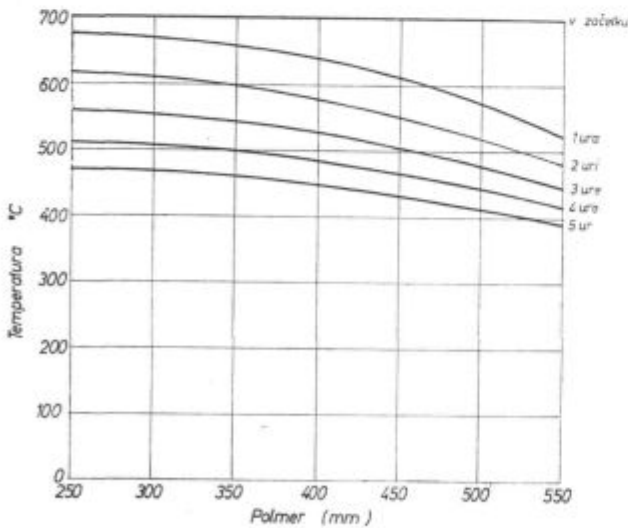


Slika 12 a

Ogrevanje kolobarja samo z notranje strani. Začetna temperatura kolobarja 20° C. Temperatura vroče okolice 700° C.

Fig. 12 a

Heating of the coil only from the internal side. Initial coil temperature 20° C. Surrounding temperature 700° C.

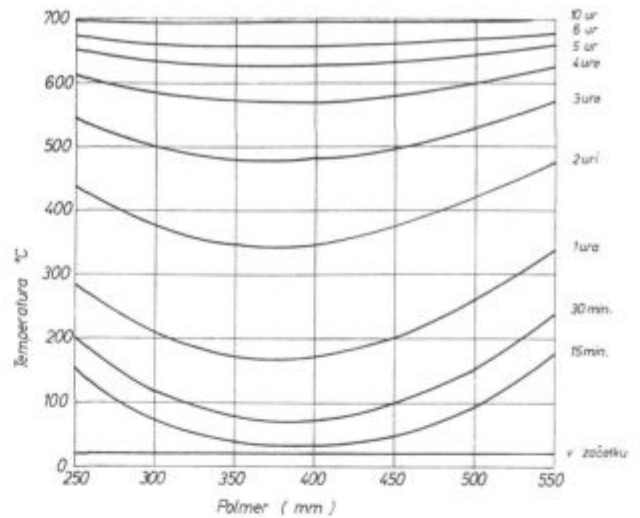


Slika 12 b

Ohlajanje kolobarja z zunanje strani. Začetna temperatura kolobarja 700° C. Temperatura hladne okolice 20° C.

Fig. 12 b

Cooling of coil from the external side. Initial temperature 700° C. Surrounding temperature 20° C.

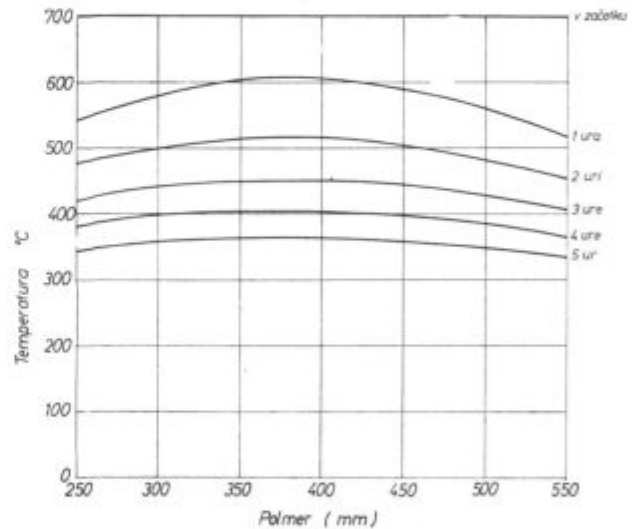


Slika 13 a

Ogrevanje kolobarja z zunanje in notranje strani. Začetna temperatura kolobarja 20° C. Temperatura vroče okolice 700° C.

Fig. 13 a

Heating of the coil from the external and internal side. Initial coil temperature 20° C. Surrounding temperature 700° C.



Slika 13 b

Ohlajanje kolobarja z notranje in zunanje strani. Začetna temperatura kolobarja 700° C. Temperatura vroče okolice 20° C.

Fig. 13 b

Cooling of the coil from internal and external side. Initial coil temperature 700° C. Surrounding temperature 20° C.

pri večjih kolobarjih takih dimenzij, kot jih bodo uporabljali v novi hladni valjarni. Podobne ugotovitve veljajo tudi za ohlajanje.

V praksi je treba sicer računati, da imamo opravka tudi s konvekcijo. Delno smo tudi to že upoštevali, ko smo predpostavili, da je $\epsilon = 1$.

OGREVANJE IN OHLAJANJE VALJA S SEVANJEM

V patentirnici žice se pojavlja problem pri ohlajanju žice v svincu. Žica prinese v kopel razmeroma veliko količino toplote. Namen te naloge pa je računsko določiti, koliko toplote odda žica pri prehodu iz peči v svinec. V tistem delu gre namreč za ohlajanje s sevanjem.

Iz dosedanje prakse je znano¹, da je ohlajanje s sevanjem zelo intenzivno, če je temperatura površine dovolj visoka. Žica se sicer na prehodnem delu ne zadržuje dolgo, vendar pa to bistveno vpliva na količino toplote, ki pride v svinčovo kopel.

Matematični model

Izhajamo iz enačbe (14):

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial \beta^2} + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial \beta} = \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \quad (22)$$

pri čemer pomenijo

$$\begin{aligned} \vartheta &= \frac{T}{T_0} & r_0 &= \frac{\lambda}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_0^3} \\ \beta &= \frac{r}{r_0} & t_0 &= \frac{\lambda \cdot \rho \cdot C_p}{\varepsilon^2 \cdot \sigma^2 \cdot T_0^6} \\ \tau &= \frac{t}{t_0} & A_p &= \frac{T_0 \cdot \lambda}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot r_0 \cdot T_z^4} \end{aligned}$$

Če si izberemo krajevni interval h in časovni interval l , lahko zapišemo enačbo za i -točko ($i > 1$) po j -časovnem koraku v diferenčni obliki takole:

$$\begin{aligned} \frac{\vartheta_{i-1,j} - 2\vartheta_{i,j} + \vartheta_{i+1,j}}{h^2} + \frac{1}{(i-1) \cdot h} \cdot \frac{\vartheta_{i+1,j} - \vartheta_{i-1,j}}{2h} &= \frac{\vartheta_{i,j+1} - \vartheta_{i,j}}{l} \quad (23) \end{aligned}$$

Za središče valja ($i = 1$) velja³:

$$\frac{4 \cdot (\vartheta_{2,j} - \vartheta_{1,j})}{h^2} = \frac{\vartheta_{1,j+1} - \vartheta_{1,j}}{l} \quad (24)$$

Temperaturo po j -koraku v vsaki točki, razen v središču, izračunamo po formuli:

$$\begin{aligned} \vartheta_{i,j+1} &= \vartheta_{i,j} + \frac{1}{h^2} \cdot \left[\vartheta_{i+1,j} \cdot \left(1 + \frac{1}{2(i-1)} \right) - \right. \\ &\left. - 2\vartheta_{i,j} + \vartheta_{i-1,j} \cdot \left(1 - \frac{1}{2(i-1)} \right) \right] \quad (25) \end{aligned}$$

V središču pa velja:

$$\vartheta_{1,j+1} = \vartheta_{1,j} + \frac{4 \cdot l}{h^2} (\vartheta_{2,j} - \vartheta_{1,j}) \quad (26)$$

Konvergenca je zagotovljena, če si izberemo h in l tako, da je izpolnjen pogoj:

$$\frac{1}{h^2} \leq \frac{1}{4} \quad (27)$$

Zadostni pogoj za konvergenco zahteva sicer za običajne enodimenzionalne probleme², da mora biti

$$\frac{1}{h^2} \leq \frac{1}{2}$$

Razmere v središču valja pa opisuje enačba (26).

Če namreč označimo točno rešitev parcialne diferencialne enačbe z $U_{i,j}$ in definiramo razliko

$$e_{i,j} = U_{i,j} - \vartheta_{i,j},$$

se izkaže³, da je

$$|e_{1,j+1}| = (1 - 4 \cdot \frac{1}{h^2}) \cdot |e_{1,j}| + 4 \cdot \frac{1}{h^2} \cdot |e_{2,j}| + \text{konst.}$$

Sledi, da mora biti

$$\frac{1}{h^2} \leq \frac{1}{4}$$

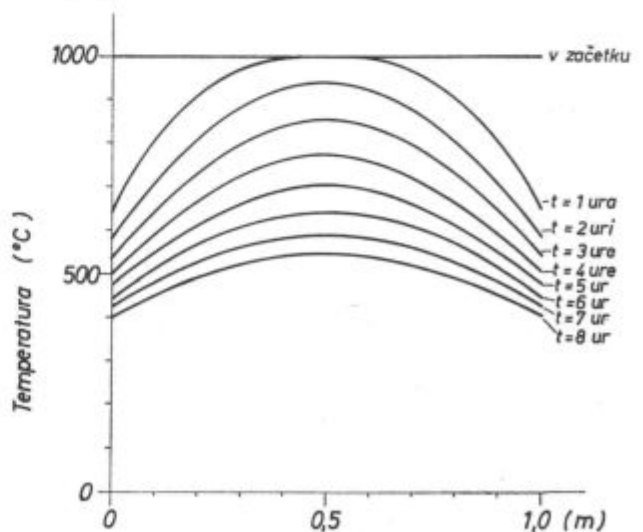
Ko gre za sevanje, zapišemo robni pogoj v diferenčni obliki takole:

$$\frac{1}{2h} \cdot (3\vartheta_p - 4\vartheta_{p-1} + \vartheta_{p-2}) = A_p - \vartheta_p^4 \quad (28)$$

Primer

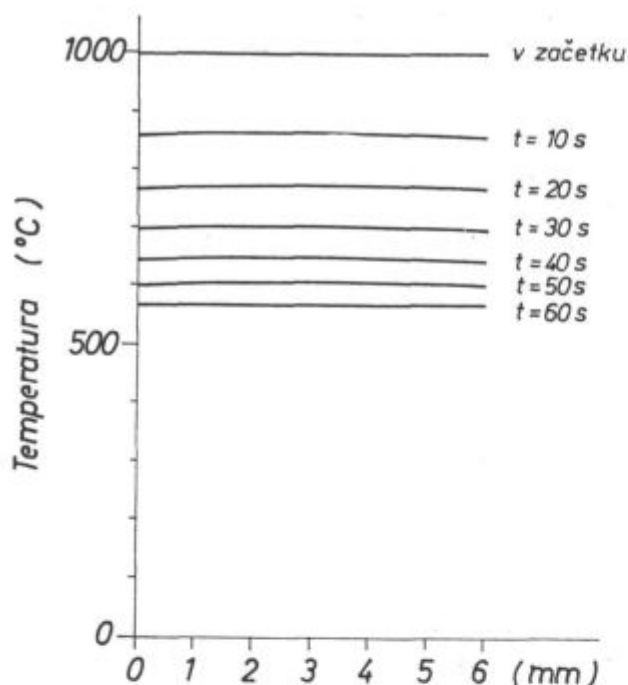
Obdelali smo dva primera: ohlajanje 6 mm debele žice z začetno temperaturo 1000°C in 1 meter debelega valja s temperaturo 1000°C na zraku s temperaturo 20°C.

V primeru 6-milimetrske žice smo razdelili polmer na 10 delov, pri 1 meter debelem valju pa smo razdelili polmer na 20 delov. Računalnik nam je izpisal temperaturno porazdelitev vsakih 5 minut ohlajanja (valj), oziroma vsako sekundo (žica) ohlajanja na zraku.



Slika 14
Ohlajanje valja ($\varnothing 1$ m) na zraku s temperaturo 20°C.
Fig. 14

Cooling of cylinder ($\varnothing 1$ m) in air with temperature 20°C.



Slika 15

Ohlajanje žice (Ø 6 mm) na zraku s temperaturo 20°C.

Fig. 15

Cooling of wire (Ø 6 mm) in air with temperature 20°C.

Na slikah 14 in 15 so narisane temperaturne porazdelitve po preseku pri ohlajanju žice in valja.

Ohlajanje žice smo v grobem tudi eksperimentalno preverili v našem laboratoriju: rezultati se zelo lepo ujemajo. Nerodno je le to, ker se ohlajanje tako zelo hitro konča. S kolegi na Ravnah smo se domenili, da bodo skušali tudi eksperimentalno preveriti ohlajanje 1 meter debelega valja.

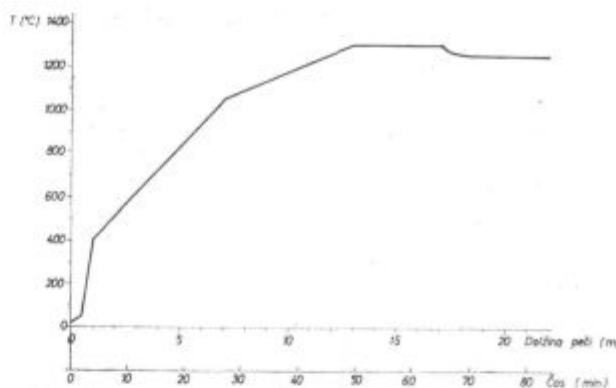
Očitno je, da bi se pri 6 mm debeli žici pri sedanji hitrosti znižala temperatura od začetnih 1000°C na 900°C, če bi bila temperatura okolice (pokrova) 20°C. To bi pa bistveno prispevalo k hitrejšemu ohlajanju v svincu.

OGREVANJE GREDIC V KORAČNI PEČI

S podobnim modelom, kot smo ga uporabili za opisovanje ogrevanja brame B 8 s sevanjem, smo simulirali tudi ogrevanje gredic v koračni peči.

Gredice potujejo z določeno hitrostjo skozi posamezne cone peči, kjer se ogrejejo na temperaturo 1250°C. Od temperaturnega profila peči in od hitrosti je odvisno, če se gredice dovolj pregrejejo.

Izdelali smo računski model, po katerem računamo temperaturo v preseku gredice v odvisnosti od temperaturnega profila peči in hitrosti pomika. Pri tem smo upoštevali, da gre za ogrevanje s sevanjem s treh strani, spodnji rob je toplotno izoliran. Na sliki 16 je prikazan temperaturni profil



Slika 16

Temperaturni profil koračne peči.

Fig. 16

Temperature profile of the rocker-bar heating furnace

peči dolžine 21 metrov, ki jo prepotujejo gredice kv. 135 mm v 80 minutah. Na sliki 17 so narisane izoterme v preseku gredice po določenih časih ogrevanja.

Na sliki 18 je narisana časovna odvisnost temperaturnega gradienta na sredini zgornjega roba preseka. Iz tega se lepo vidi, da je zelo važno, da je temperatura v prvem delu zadosti visoka, v končni izenačevalni coni pa je treba pokriti le izgube v peči. Matematični model, ki smo ga uporabili pri študiju ogrevanja gredic v koračni peči je natančneje opisan že v prvem delu te naloge¹.

Edina razlika je v tem, da se tu robni pogoji s časom spreminjajo. Rezultat predhodnega koraka je začetni pogoj za novi korak. Sicer pa poteka obdelava prav tako kot ogrevanje brame B 8, le da predpostavljamo, da je ena stranica kvadrata toplotno izolirana.

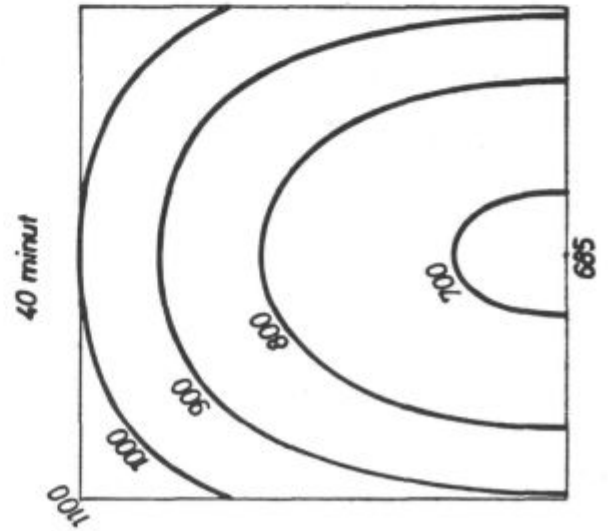
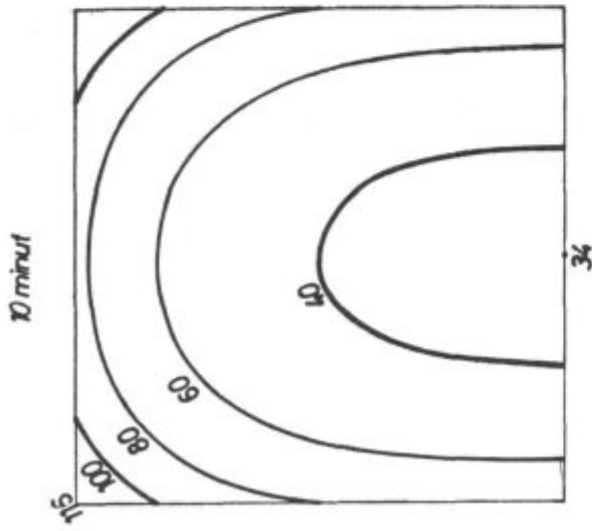
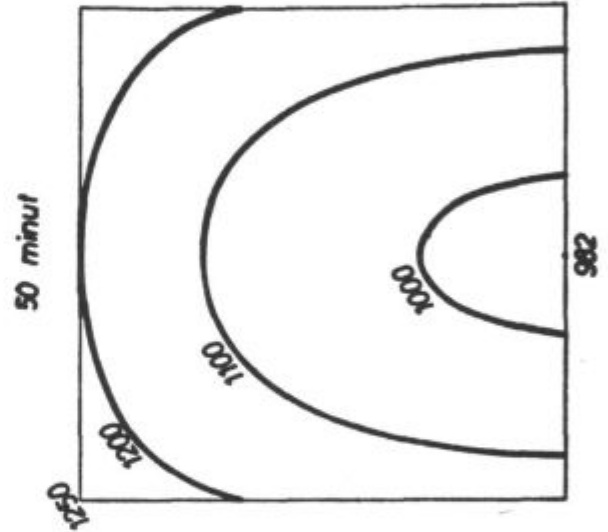
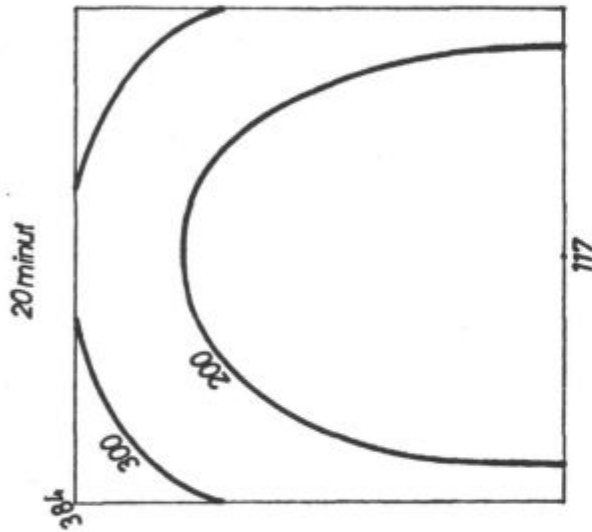
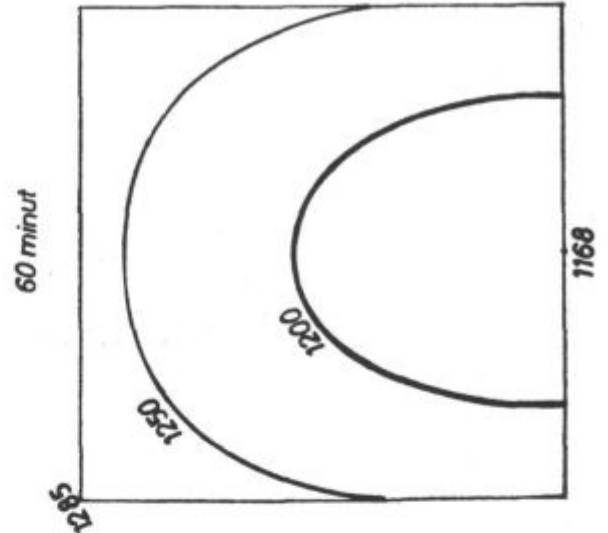
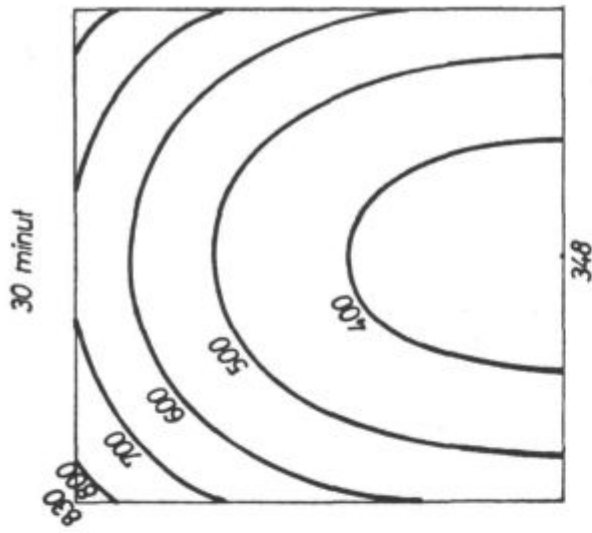
ZAKLJUČEK

Iz opisanih primerov je razvidno, kako je mogoče matematično opisati prevajanje toplote za primere iz neposredne prakse. Za vsak primer, ki je opisan v tem elaboratu, smo izdelali računalniški program, ki je na voljo v raziskovalnem oddelku železarne Jesenice.

Na podlagi rezultatov modela ohlajanja trakov v valjarni štekeli bomo rekonstruirali hladilno linijo, kjer bomo v bodoče ohlajali trakove z laminarnimi curki.

Program za ohlajanje valja s sevanjem bo služil za računanje temperaturne porazdelitve pri ohlajanju debelih valjev in žice. S primerno modifikacijo programa bo mogoče upoštevati tudi temperaturno odvisnost specifične toplote in toplotne prevodnosti. Uporabljali ga bomo lahko pri študiju ohlajanja (segrevanja) v različnih fazah valjanja žice, služil bi pa tudi za orientacijsko ocenjevanje hitrosti ohlajanja valjev večjih dimenzij, kakršne kujejo v Ravnah.

S poskusno rekonstrukcijo žarilnega zvona bi po opisanem modelu lahko znatno povečali pro-

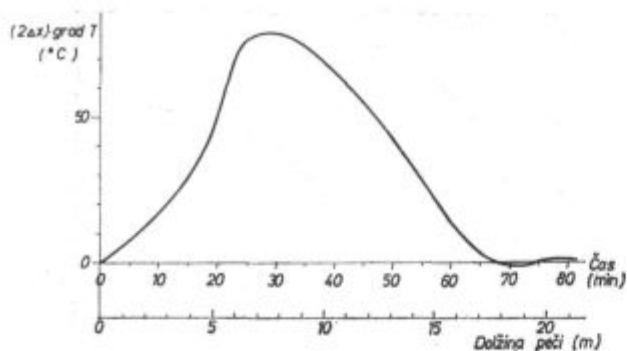


Slika 17

Temperaturna porazdelitev v preseku gredice v različnih časih ogrevanja.

Fig. 17

Temperature distribution in the bar cross section after various times of heating



Slika 18
 Temperaturni gradient na površini.
 Fig. 18
 Temperature gradient on the surface.

duktivnost žarilnice. Dodatni grelec v sredini bi sicer trošil dodatno moč, ki pa bi se v celoti koristno porabila. Ohlajanje kolobarjev z vodo bi bilo prav gotovo mnogo bolj učinkovito.

Literatura

1. B. Brudar: Ogrevanje blokov v globinskih pečeh, magistrsko delo, FNT 1973
2. H. Köhne: Digitale und analoge Lösungsmethoden der Wärmeleitungsgleichung, Forschungsberichte des Landes Nordrhein — Westfalen. Nr. 2120, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen.
3. G. D. Smith: Numerical Solution of Partial Differential Equations Oxford University Press, 1971.
4. T. Kolenko, F. Pavlin: Ogrevanje vložka v potisni peči, Rudarsko metalurški zbornik, št. 3, leto 1973, stran 235—247.

ZUSAMMENFASSUNG

Mathematische Modelle der Erwärmung und Abkühlung in einer und zwei Dimensionen für einige Beispiele aus der Praxis sind beschrieben:

- Abkühlen des Stahlbandes durch Wasserstrahl
- Erwärmen und Abkühlen der Stahlbänder durch Strahlen
- Erwärmen der Knüppel im Hubbalkenofen.

Für jeden Fall ist ein Rechnerprogramm ausgearbeitet, so dass es möglich ist, verschiedene Bedingungen zu simulieren.

Die Ergebnisse der mathematischen Bearbeitung dienen als Ausgangspunkt, bei den vorgesehenen Verbesserungen der Bandabkühlung und für die Kontrolle der Erwärmungsvorschriften der Knüppel im Hubbalkenofen.

SUMMARY

Mathematical models for one and two dimensional heating and cooling for some practical cases are described:

- cooling of strips by water jets
- heating and cooling of sheet coils by radiation
- heating and cooling of cylinder by radiation
- heating of billets in a rocker-bar heating furnace

For each case a computer program is made so that various conditions can be simulated.

Results of mathematical treatment are the starting-point for expected improvements (cooling of strips) and for checking the correctness of instructions for heating (billets in the rocker-bar heating furnace).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для некоторых примеров из практики дано описание математических моделей нагревания и охлаждения. Рассмотрено следующее:

- охлаждение полос в струе воды,
- нагревание и охлаждение рулонов жести излучением,
- нагревание и охлаждение валков излучением,
- нагревание заготовок в печи с качающимися балками.

При помощи счетчика для каждого примера приготовлена расчетная программа, таким образом есть возможно произвести симуляцию различных условий.

Результаты математических обработок служат как исходной пункт для предвиденных улучшений (охлаждение полос) и для проверки правильности инструкций для нагревания (заготовки в печи с качающимися балками).

Kontrola pasov garantirane kaljivosti in analiza vpliva kemijske sestave na kaljivost

DK: 620.179.3:519.24:562
ASM/SLA: J5, X14K, A3, A5f, S12

Jože Segel

Zaradi raznih tehnoloških vplivnih faktorjev, ki so funkcija časa, je potrebno kontrolirati pasove garantirane kaljivosti tudi takšnih jekel, pri katerih domnevamo, da je tehnologija osvojena. Obdelava podatkov za to dejavnost je rutinsko delo in zato primerno za AOP na računalniku.

Vpliv legirnih elementov na kaljivost določene jekla lahko izrazimo s koeficientom korelacije in regresijsko enačbo. Tako so dane možnosti, da z matematičnim modelom pristopimo k optimizaciji predpisane kemijske sestave za željen pas garantirane kaljivosti.

Obravnavanje podatkov Jominy preizkusov na računalniku je del večjega informacijskega sistema tehnične kontrole in raziskav, ki je bil razvit v železarni Ravne.¹

1. Izdelava Jominy pasov v železarni Ravne

Že več let uporabljamo v železarni Ravne Jominy poizkus kot redno metodo določanja kaljivosti v tekoči kontroli izdelanih jekel. Jominy poizkus pa nima kot kontrolna metoda pravega pomena, če ni kriterija za ocenjevanje, kdaj je kaljivost jekla dobra, slaba ali pomanjkljiva v posameznih območjih. V tekoči kontroli je nastala potreba po pasovih kaljivosti kot kontrolnih mejah, še preden so te zahteve začeli postavljati potrošniki.

Od začetka leta 1968 razpolaga železarna Ravne s pasovi garantirane kaljivosti za večino jekel svojega proizvodnega programa. Ti pasovi so izdelani na osnovi 95 % statistične gotovosti iz praktičnih poizkusov velikega števila šarž.

Pri vseh procesih industrijske proizvodnje nastopa kljub skrbni kontroli večja ali manjša variabilnost lastnosti produktov zaradi:

- različnih surovin,
- različnih agregatov,
- razlik v proizvodnih postopkih in
- različnega osebja, ki sodeluje v procesu.

To splošno pravilo prav posebno velja pri obravnavanju kaljivosti, ki je nedvomno ena najbolj občutljivejših lastnosti jekla.

Jože Segel je diplomirani inženir metalurgije, analitik za računalniške sisteme in vodja projektov AOP-TKR v Železarni Ravne

Zaradi raznolikosti vplivnih faktorjev, ki so funkcija časa, dobimo realno sliko o obstoječem nivoju in spremembah nivoja kakovosti kaljivosti jekla, le z rednimi periodičnimi analizami podatkov Jominy preiskav.

Periodična obdelava podatkov trdot pri Jominy preiskavah z analizo porazdelitve, ločeno po posameznih razdaljah od kaljenega čela, je rutinsko delo, ki je primerno za avtomatsko obdelavo na računalniku. Zato smo začeli v železarni Ravne sistematično zbirati podatke Jominy preiskav. Ti podatki se tako kot podatki ostalih meritev prenašajo v banko podatkov na računalniku. Shranjeni v banki podatkov nam služijo za redne ali izredne analize kakovostnega nivoja posameznih lastnosti jeklenih izdelkov, kakor tudi za analize vzrokov neprave kakovosti izdelkov.

2. Avtomatska obdelava podatkov Jominy preizkusov¹

Obdelava podatkov Jominy preizkusov je v železarni Ravne del kompleksnega informacijskega sistema avtomatske obdelave podatkov tehnične kontrole in raziskav. Celoten sistem obravnava podatke:

- fazne kontrole v obratu,
- kemijskega laboratorija,
- laboratorijske kalilnice,
- mehanskega laboratorija in
- podatke o neuspeli proizvodnji.

Podatki o Jominy preizkusu spadajo v skupino podatkov laboratorijske kalilnice in jih lahko obravnavamo ločeno ali v povezavi z drugimi vrstami podatkov. Posebej zanimivo je iskanje regresijske zveze med kemijsko sestavo jekla in rezultati Jominy preiskav.

2.1. Zbiranje podatkov

Izvirne podatke o Jominy preizkusu zbiramo na obrazcu, ki je prirejen za avtomatsko obdelavo na računalniku (AOP). Značilnost obrazca, prikazane na sliki 1, je ta, da ima vsak podatek svojo šifro in lahko zato vnašamo na kartice in v računalnik samo tiste izmerjene vrednosti (skupaj s šifro meritve), ki so bile izmerjene. Za tista jekla, pri katerih je pas garantirane kaljivosti že večkrat preverjen in utrjen, kontroliramo trdoto samo na izbranih oddaljenostih od kaljenega čela.

ŽELEZARNA RAVNE		Laboratorijska kalinica		JOMINY PREIZKUS											
VK		Interni delovni nalog		Šarža:		Vrsta jekla po ŽR:		Meril		Datum		V		Jeklo (JUS)	
6	3	7	2												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Naziv meritve	Koda	Izmerjena vredn.	Naziv meritve	Koda	Izmerjena vredn.										
Temp. normalizacije	210		Temp. kaljenja	510											
Temp. žarjenja	110		Temp. popuščanja	911											
HRC pri 1 mm	561		HRC pri 17 mm	577											
HRC pri 2 mm	562		HRC pri 18 mm	578											
HRC pri 3 mm	563		HRC pri 19 mm	579											
HRC pri 4 mm	564		HRC pri 20 mm	580											
HRC pri 5 mm	565		HRC pri 25 mm	581											
HRC pri 6 mm	566		HRC pri 30 mm	582											
HRC pri 7 mm	567		HRC pri 35 mm	583											
HRC pri 8 mm	568		HRC pri 40 mm	584											
HRC pri 9 mm	569		HRC pri 45 mm	585											
HRC pri 10 mm	570		HRC pri 50 mm	586											
HRC pri 11 mm	571		HRC pri 55 mm	587											
HRC pri 12 mm	572		HRC pri 60 mm	588											
HRC pri 13 mm	573		HRC pri 65 mm	589											
HRC pri 14 mm	574		HRC pri 70 mm	590											
HRC pri 15 mm	575		HRC pri 75 mm	591											
HRC pri 16 mm	576		HRC pri 80 mm	592											

Krivulja JE - Ni v mejah predpisa _____ izdaja

Luknjali: Verific.: Proba: Vodja ali delovodja:

Slika 1

Obrazec za zajemanje podatkov Jominy preizkusa.

Fig. 1

Form for collecting data of Jominy test.

Druga značilnost organizacije zajemanja obravnavanih izvornih podatkov je ta, da so s številko internega delovnega naloga metalurških laboratorijev povezani med seboj vsi podatki, ki se nanašajo na isti delovni nalogi in jih lahko zato pri kompleksnejših raziskavah s pomočjo AOP med seboj povežemo in analiziramo. Karakteristični podatki posameznega Jominy preizkusa so podani na internem delovnem nalogu, ki se tudi prenaša v računalnik.

2.2. Obdelava podatkov

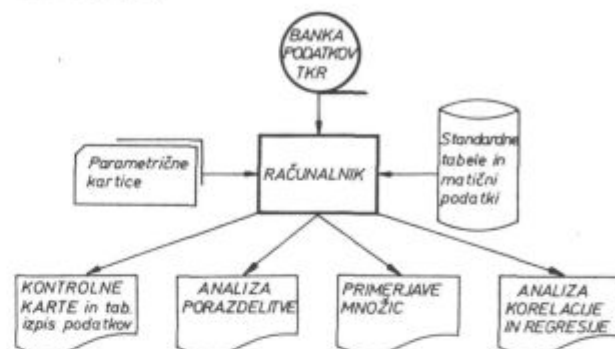
AOP obravnavanega področja lahko razdelimo v dve skupini:

- polnjenje banke podatkov in
- matematično-statistične analize podatkov — zbranih iz banke podatkov.

Prva skupina obdelav podatkov vsebuje že klasično kontrolo in prenos podatkov v eksterni del računalniškega spomina — v našem primeru na magnetni trak. Polnjenje banke podatkov poteka

redno, medtem ko so matematično statistične analize občasne.

Ravno področje analiz kakovostnega nivoja in vzrokov nepravne prekaljivosti jekel je primerno za uporabo cele vrste matematično-statističnih analiz. Shemo te druge skupine obdelav podatkov kaže slika 2.



Slika 2

Uporaba banke podatkov za matematično statistične analize Jominy preizkusa.

Fig. 2

Use of data bank for mathematical statistical analysis of Jominy test.

Kontrolne karte (predvsem X-Rp)² nam služijo za slikovni, kronološki prikaz kaljivosti določene jekla in nas opozarjajo na tiste šarže, ki so izven kontrolnih mej. Uporaba kart je primerna za podrobno analizo kakovosti posameznega jekla.

S pomočjo analize porazdelitve lahko objektivno definiramo pasove garantirane kaljivosti. Ker je to področje še posebej pomembno, je opisano v posebnem poglavju.

Matematično-statistično metodo primerjav srednjih vrednosti in standardnih deviacij lahko uporabljamo za primerjanje pomembnosti razlik med kaljivostjo sorodnih jekel in pomembnosti razlik v kaljivosti jekla, ki smo mu spremenili tehnološki postopek; torej za primerjavo kakovosti jekla, izdelanega po stari in novi tehnologiji.

Kako lahko uporabimo primerno organizirano banko podatkov za povezovanje podatkov Jominy poizkusov z drugimi vrstami podatkov, nam kaže analiza vpliva kemijske sestave na kaljivost jekla s pomočjo analize korelacije in regresije. Ta primer, ki je opisan v nadaljevanju, se lahko razširi še na analizo drugih vzrokov nepravne kaljivosti jekel.

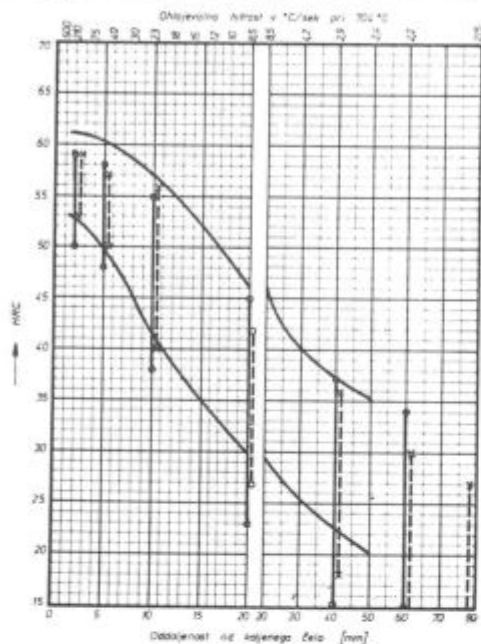
3. Pasovi garantirane kaljivosti

Izdelava in kontrola pasov garantirane kaljivosti s pomočjo računalnika je neposredno povezana z uporabo matematično-statistične analize porazdelitve, zato si jo poglobljeno oglejmo.

Pri analizi porazdelitve dobimo naslednje informacije:

PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS									
Č. 4131		C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	
VC 140		od 0,38	0,15	0,50	0,90				
		do 0,45	0,40	0,80	1,20				
95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov									
Obdobje	JUS CB9021	do 1969 leta		1974 leto					
Število šarf		109		128					
Kaljenje	820 - 850 °C	840 °C		840 °C					
Papušanje									

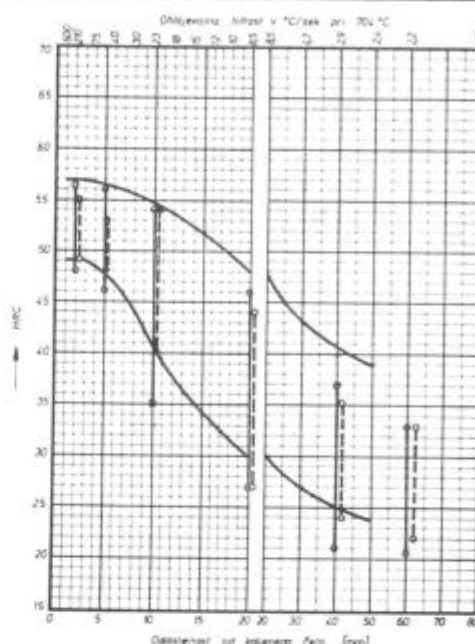
PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS									
Č. 4731		C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	V %	
VCMo 135		od 0,30	0,15	0,50	0,90		0,15		
		do 0,37	0,40	0,80	1,20		0,30		
95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov									
Obdobje	JUS CB9021	do 1969 leta		1974 leto					
Število šarf		254		28					
Kaljenje	830 - 860 °C	840 °C		840 °C					
Papušanje									



Slika 5 Pas garantirane kaljivosti jekla Č.4131 (VC-140).

Fig. 5

Band of guaranteed hardenability of Č.4131 (VC-140) steel.



Slika 6 Pas garantirane kaljivosti jekla Č.4731 (VCMo-135).

Fig. 6

Band of guaranteed hardenability of Č.4731 (VCMo-135) steel.

Primerjavo spremembe širine pasu jekla Č. 4131, Č.4731 in Č.4732 od 1969 do 1974. leta ter primerjavo s podobnimi SAE-H jekli kaže tabela 1.

Pri vseh obravnavanih jeklih opazimo, da se je širina pasov pomembno zožila. Nadalje lahko opa-

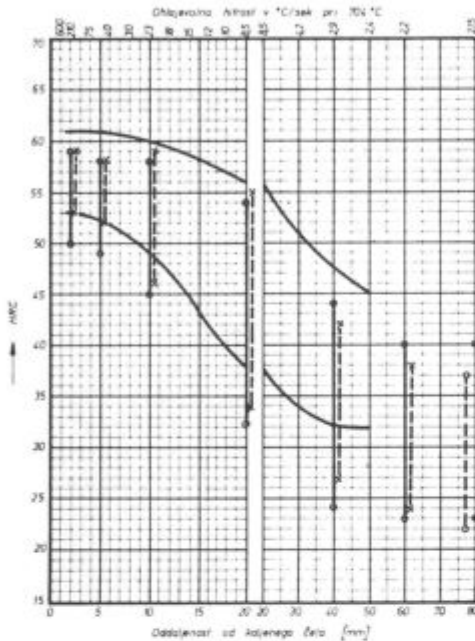
zimo, da je širina pasu takšna ali celo ožja kot pri SAE-H jeklih (podobne kemijske sestave).

To nam potrjuje uvodno trditev, da je potrebno spremljati kakovost jekla (v našem primeru kaljivost), čeprav se smatra, da je tehnologija je-

Tabela 1 — Primerjava širine pasu garantirane kaljivosti

Jominy oddaljenost (mm)	Č.4131 (VC-140)			Č.4731 (VCMo-135)			Č.4732 (VCMo-140)		
	ZEL. RAVNE		SAE 5140-H	ZEL. RAVNE		SAE 4134-H	ZEL. RAVNE		SAE 4140-H
	1969	1974		1969	1974		1969	1974	
2	9,0	6,0	7,0	8,5	6,0	7,0	8,5	6,0	7,5
6	10,0	9,0	11,0	11,0	7,5	10,0	10,0	9,0	9,0
10	18,5	14,5	18,0	18,5	14,0	13,0	13,5	13,0	12,0
20	20,5	16,5	16,5	19,5	16,5	16,0	20,0	20,5	19,0
30	24,0	16,5	14,5	16,0	12,5	15,0	21,0	16,5	20,0
40				15,0	12,0	14,5	19,0	15,5	20,5
50				15,0	12,0	14,0	18,0	14,5	19,5

PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS								
Č.4732	K	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	V %
	od	0,38	0,15	0,50	0,90		0,15	
VCMo 140	do	0,45	0,40	0,80	1,20		0,30	
	95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov							
Obdobje	JUS CBS.021	do 1969 leta	1974 leto					
Število šarž		188	165					
Kaljenje	820 - 850 °C	860 °C	840 °C					
Populacija								



Slika 7

Pas garantirane kaljivosti jekla Č.4732 (VCMo-140).

Fig. 7

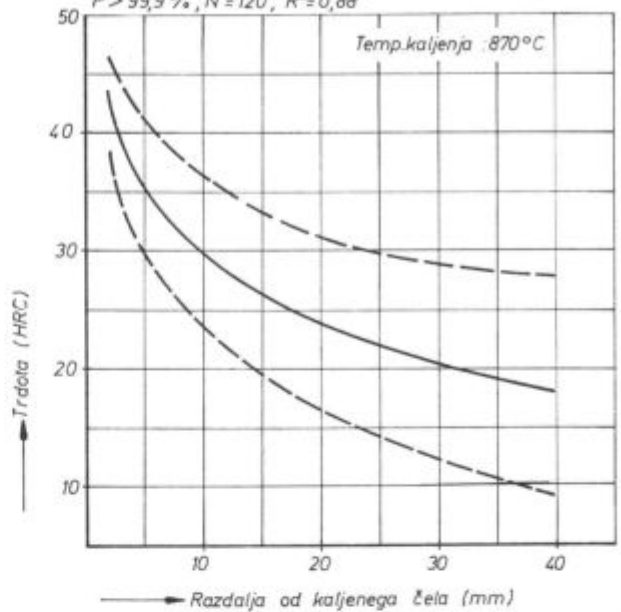
Band of guaranteed hardenability of Č.4732 (VCMo-140) steel.

kla osvojena. Še posebej je pomembno, da se preveri kaljivost jekla pri pomembnejši tehnološki spremembi. Le tako bomo imeli objektivno sliko o obstoječi kaljivosti določenega jekla.

Pas garantirane kaljivosti lahko opišemo tudi čisto matematično z ustreznimi enačbami. Na sliki 8 vidimo enačbe in tem enačbam pripadajoči diagram pasu garantirane kaljivosti za jeklo Č.4320 (EC-80). Enačbe dobimo s pomočjo analize regresije dejanskih podatkov. Že iz standardnih diagramov pasov garantirane kaljivosti vidimo, da je širina pasu pri različnih jeklih različna in da je pri nekaterih močno odvisna od razdalje od kaljenega čela. Zvezo med povprečno trdoto pri Jominy preizkusu jekla Č.4320 in širino pasu garantirane kaljivosti kaže slika 9.

Povečanje širine razsipanja trdot pri tem jeklu lahko pripišemo močnejšemu vplivu variacij kemijske sestave pri manjši hitrosti ohlajanja in temu, da so meritve trdot po Rockwellu pri spodnji meji ali celo pod spodnjo mejo uporabnosti te metode nenatančne in nezanesljive.

HRC = 49,51 - 8,536 · log (razdalje)
Širina pasu = 392 · (2,62 + 0,05 · (razdalja))
P > 99,9 %, N = 120, R² = 0,88

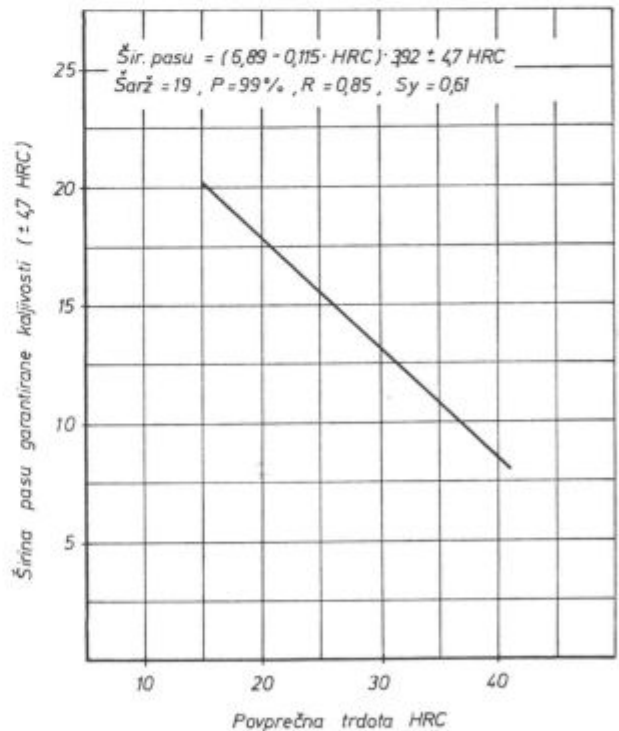


Slika 8

Regresijska zveza med trdoto in razdaljo od kaljenega čela pri jeklu Č.4320 (EC-80).

Fig. 8

Regression relationship between the hardness and the distance from the hardened face in Č.4320 (EC-80) steel.



Slika 9

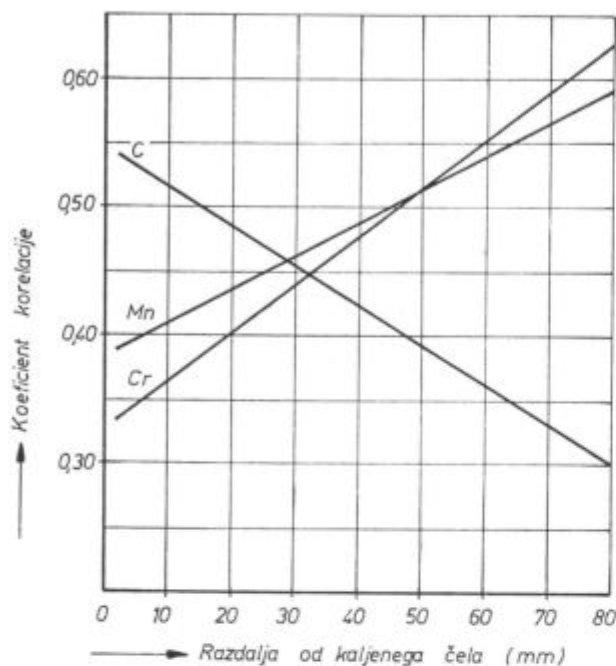
Zveza med povprečno trdoto pri Jominy preizkusu jekla Č.4320 in širine pasu garantirane kaljivosti.

Fig. 9

Relation between the mean hardness of Č.4320 steel by Jominy test and the width of the band of guaranteed hardenability.

4. Vpliv kemijske sestave na kaljivost jekla

V tem poglavju bomo obravnavali rezultate iskanja načina kvantitativne določitve vpliva pomembnejših elementov kemijske sestave na kaljivost jekla. Z metodo multiregresije bomo določili v obliki enačbe in regresijskih parametrov vpliv kemijske sestave na kaljivost jekla Č.4732 (VCMo-140).



Slika 10

Vpliv C, Mn in Cr na Jominy trdoto v odvisnosti od oddaljenosti od kaljenega čela za jeklo Č. 4732

Fig. 10

Influence of C, Mn and Cr on the Jominy hardness dependent of the distance from the quenched face for the steel Č. 4732

Na sliki 10 vidimo koeficiente korelacije med trdoto in ogljikom, manganom, oziroma kromom, ki se spreminja v odvisnosti od hitrosti ohlajanja. Pri manjših ohlajevalnih hitrostih je vpliv C manj-

ši kot pri večjih. Ravno obratno pa velja za Mn in Cr. Odvisnosti so premo sorazmerne.

Z analizo korelacije smo obdelali več vrst jekla. Korelacijski koeficient med določenim kemijskim elementom in določeno globino pri Jominy preizkusu se od jekla do jekla spreminja. Če primerjamo vpliv posameznih elementov na kaljivost jekla Č.4320 in Č.4732, vidimo, da so razlike (tabela 2). Te razlike lahko pripisujemo:

- različni povprečni vsebnosti kemijskega elementa,
- različni varianci kemijskega elementa in
- povečanju vpliva drugih kemijskih elementov.

Za boljše razumevanje rezultatov analize korelacije naj navedemo oceno koeficienta korelacije²: do 0,30 — negotova — neznatna medsebojna zveza

od 0,30—0,70 — pomembna zveza

od 0,70—0,90 — ozka zveza

nad 0,90 — zelo ozka zveza

Negativni korelacijski koeficient pomeni, da je zveza obratno sorazmerna.

Pri obravnavanih šaržah je neznatna medsebojna zveza med silicijem in kaljivostjo jekla Č.4732.

Kako pada ali narašča vpliv posameznih legirnih elementov z oddaljenostjo od kaljenega čela, vidimo tudi iz regresijskih enačb v tabeli 3. Za jeklo Č.4732 smo izdelali analizo vpliva kemijske sestave na trdoto pri sedmih različnih ohlajevalnih hitrostih, oziroma oddaljenostih od kaljenega čela. Zaradi velikega števila šarž (125) so odvisnosti zelo zanesljive (> 99,9 %). Koeficient določitve nam pove, da lahko okoli 50 % variacij trdote Jominy preizkusa pripišemo vplivu kemijske sestave. Ostala polovica variacij je pri tej analizi ostala nepojasnjena in jo lahko pripisujemo različni velikosti zrna, točnosti Jominy preizkusa, čistosti jekla, ostalim kemijskim elementom v jeklu itd.

Tabela 2 — Koeficienti korelacije med kemijsko sestavo in trdoto pri Jominy preizkusu za jeklo Č.4320 in Č.4732

Razdalja od kaljenega čela (mm)	Č.4320 (EC-80)				Č.4732 (VCMo-140)			
	C	Cr	Mn	Mo	C	Cr	Mn	Mo
	0,15—0,18 %	0,88—1,13 %	1,00—1,30 %	0,01—0,08 %	0,38—0,45 %	0,90—1,25 %	0,49—0,80 %	0,15—0,25 %
2	0,59	0,17	0,28	0,10	0,71	0,06	—0,03	—0,06
5	0,64	0,21	0,32	0,14	0,65	0,20	—0,12	—0,01
10	0,47	0,43	0,44	0,26	0,58	0,43	0,08	—0,06
20	0,37	0,59	0,52	0,36	0,57	0,51	0,30	0,03
40	0,35	0,64	0,55	0,31	0,55	0,46	0,32	—0,06
	19 šarž				125 šarž			

Tabela 3 — Regresijske enačbe kaljivosti jekla Č.4732 (VCMo-140) za kalilno temperaturo 840° C

Razdalja od kalje-nega čela (mm)	Ohlajeval-na hitrost pri 704° C (v °C/sek)	Regresijska enačba	Koeficient determinacije R ²
2	210	$HRC = 77,62 - 7,88 \cdot \frac{1}{C} - 1,80 \cdot \frac{1}{Mn} \pm 1,9$	0,40
5	46	$HRC = 78,52 - 8,58 \cdot \frac{1}{C} - 2,11 \cdot \frac{1}{Mn} \pm 1,8$	0,49
10	23	$HRC = 89,91 - 9,37 \cdot \frac{1}{C} - 3,52 \cdot \frac{1}{Mn} - 9,33 \cdot \frac{1}{Cr} \pm 2,9$	0,46
20	8,5	$HRC = 129,17 - 84,11 \cdot \frac{1}{Cr} - 0,97 \cdot \frac{Cr}{C} + 30,27 \cdot Mn - 31,04 \cdot Si \pm 7,0$	0,57
40	2,9	$HRC = 27,05 + 26,84 \cdot Cr - 10,99 \cdot \frac{1}{C} + 13,24 \cdot Mn^2 \pm 4,6$	0,58
60	2,2	$HRC = 87,41 - 18,99 \cdot \frac{1}{Cr} - 11,12 \cdot \frac{1}{C} - 7,17 \cdot \frac{1}{Mn} \pm 3,9$	0,58
80	2,15	$HRC = 87,94 - 8,41 \cdot \frac{1}{Mn} - 11,38 \cdot \frac{1}{C} - 18,92 \cdot \frac{1}{Cr} \pm 5,9$	0,41

Obravnavanih šarž: 125, P: 99,9 %

Dobljene enačbe lahko uporabimo za izdelavo nomogramov ali izdelavo računalniškega modela, s katerim lahko izračunamo Jominy krivuljo za posamezno šaržo. To v praksi pomeni, da bi lahko s pomočjo banke podatkov že na osnovi kemijske sestave šarže ingota ocenili, ali bo izdelek imel zahtevano kaljivost ali ne.

Raziskave, pri katerih smo želeli dobiti eno enačbo za izračun trdote pri poljubni Jominy razdalji in kemijski sestavi, so pokazale, da ima Jominy razdalja v primerjavi s kemijsko sestavo tako prevladujoč vpliv, da rezultati praktično niso uporabni in se bistveno razlikujejo od tistih, ki so navedeni v tabeli 3. Največja pomanjkljivost rezultatov je bila ta, da so bili mnogo manj zanesljivi in natančni.

Ce bi se omejili pri multiregresiji samo na linearne člene enačbe, bi lahko pri jeklih z nepravilno kaljivostjo le-to popravili s spremembo kemijske sestave na osnovi linearnega programa na računalniku.

5. Zaključek

Uporaba računalnika in matematično statističnih analiz pri obravnavanju garantiranih pasov kaljivosti in vpliva kemijske sestave jekla na tr-

dote pri Jominy preizkusu je del informacijskega sistema, ki je bil zgrajen v železarni Ravne za področje tehnične kontrole in raziskav. Nekatera dela na področju tehnične kontrole in raziskav pri obravnavanju informacij so čisto rutinska, zato je smotrno vključiti računalnik v to področje.

Zaradi raznih tehnoloških vplivnih faktorjev, ki so funkcija časa, je potrebno kontrolirati kaljivost tudi takšnih izdelkov, pri katerih menimo, da je tehnologija osvojena.

Vpliv legirnih elementov na kaljivost jekla lahko izrazimo z regresijskimi enačbami. S pomočjo analize korelacije in regresije lahko pristopimo h korigiranju problematične kaljivosti določenega jekla. Glede na željen pas kaljivosti lahko optimiziramo predpisano kemijsko sestavo na osnovi regresijskih enačb in linearnega programiranja.

Literatura

1. J. Segel: Avtomatska obdelava podatkov tehnične kontrole in raziskav, Železarski zbornik (Jesenice), 1975.
2. J. Rodič: Matematična statistika — METODE I, Metalburo, 1964.
3. J. Rodič: Kaljivost jekel — osnova za boljše ekonomiko, pravilnejšo in lažjo izbiro jekel, Železarski zbornik (Jesenice) 4 (1970) 1, str. 15—38.
4. J. Rodič: Izdelava in uporaba psavo kaljivosti, Nova proizvodnja (Ljubljana) 13 (1962) 2, str. 141—154.

ZUSAMMENFASSUNG

Wegen verschiedener technologischer, von der Zeit abhängiger Einflussfaktoren ist es nötig, die Härtebarkeit auch bei solchen Stählen zu kontrollieren, bei welchen

die Technologie als eingezogen betrachtet wird. Die Datenbearbeitung ist bei dieser Tätigkeit eine routinierte Sache und kann deshalb mit Hilfe des Computers ausge-

führt werden. Der Einfluss der Legierungselemente auf die Härtebarkeit kann mit dem Korrelationskoeffizient und der Regressionsgleichung ausgedrückt werden. Die Gleichungen werden für die Optimierung der Vorschriften für die chemische Zusammensetzung auf einem gewünschten Streuband der garantierten Härtebarkeit angewendet.

Die Bearbeitung der Daten des Jominy Versuches am Computer stellt nur einen Teil eines grösseren Informationssystemes der technischen Kontrolle und der Forschung dar, welcher im Hüttenwerk Ravne entwickelt worden ist.

SUMMARY

Because of influence of various technological parameters which are changing with time also hardenability of such steels must be controlled for which the technology is supposed to be elaborated. Data treatment in such a case is a routine work and it can be made by a computer.

Influence of alloying elements on the hardenability of steel can be expressed by a correlation coefficient and

a regression equation. The equation are used to optimize the prescription of chemical composition for a wanted band of guaranteed hardenability.

Treatment of Jominy test data by computer is only a part of greater information system of technical control and investigations which was developed in Ravne Steelworks.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствии разнообразных технологических факторов которые влияют на ход процесса и параллельно с временем изменяются, необходимо проверять закаляемость также тех сортов сталей при которых заключили, что их технология уже успешно освоена и закончена. Обработка данных этой деятельности можно выполнять счётчиком, так как представляет работу по установленному порядку.

Влияние легированных элементов можно выразить при употреблении коэффициента корреляции и уравнения регрессии. Уравнения применяем для оптимизации предписания химического состава за желательную полосу гарантированной прокаливаемости.

Рассмотренные данные исследования образца Жомини полученные счётчиком представляют собой только часть более обширной системы технического контроля и исследований которые были развиты в металлургическом заводе Равне.



Vsebina IX. letnika »Železarskega zbornika«

	stran		stran
Jezeršek Aleksander — Železarna Jesenice Nova hladna valjarna na Jesenicah	1	Zalar Bogdan — Metalurški inštitut Ljubljana Izkoriščanje sekundarnih virov kovin	119
Kejžar Rajko — Zavod za varjenje SRS, Ljubljana Prigor in odgor elementov silicija in mangana pri varjenju pod praškom EP 10 in EP 50	11	Wohinz Janez — Metalurški inštitut Ljubljana Laboratorijske študije možnosti briketiranja samohodnega vložka za proizvodnjo FeSi 75 %	129
Kejžar Rajko — Zavod za varjenje SRS, Ljubljana Vpliv dezoksidantov na vsebnost kisika v čistem varu in izkoristek Cr iz plašča pri elektroobločnem varjenju	19	Souvent Peter — Rudnik svinca in topilnice Mežica, Zalar Bogdan — Metalurški inštitut Ljubljana Optimizacija predelave svinčevih poletin	137
Štular Pavel — Zavod za varjenje SRS, Ljubljana Pod elektroprevodno žilindro pretaljena varilna žica za električna talilna varjenja	29	Kveder Aleksander — Metalurški inštitut Ljubljana Vpliv temperaturnega in deformacijskega režima simuliranega valjanja na lastnosti nekaterih jekel	145
Segel Jože — Železarna Ravne Avtomatska obdelava podatkov tehnične kontrole in raziskav	35	Paulin Andrej — Metalurški inštitut Ljubljana, Medved N. — Rudnik živega srebra Idrija, Pogačnik V. — Železarna Jesenice Možnost pridobivanja preostalega Hg iz dimnih plinov pred izstopom v atmosfero	157
Tehnične novice	45		
Mesec Ivan, Stojan Miha — Železarna Jesenice Dodajni material za varjenje konstrukcijskih jekel s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji, ki ga proizvaja železarna Jesenice	45	Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana, Arh Jože — Železarna Jesenice, Ralič B. — Metalurški inštitut Ljubljana O obliki in sestavi nekovinskih vključkov v jeklih za trakove	167
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana, Vlado Macur, Alenka Rodič — Železarna Ravne Rafinacija konstrukcijskih jekel s sintetičnimi žilindrami izven peči	49	Breskvar Bojan — Metalurški inštitut Ljubljana Razvoj ležajnega bronu CuSn8P za obdelavo na avtomatih	181
Arh Jože, Stocca Bogdan, Piščanec Miloš, Zupan Henrik — Železarna Jesenice, Vodopivec Franc, Lavrič Tea — Metalurški inštitut, Ljubljana Vpliv kemijske sestave in načina izdelave nepomirjenega jekla na čistočo pri toplo valjanih trakovih	57	Mlakar Franc — Železarna Štore Nodularna grafitna jeklena litina	189
Bruđar Božidar — Železarna Jesenice Ogrevanje vložka v potisni peči	75	Senčič Srečko — Železarna Štore Kontinuirno odlivanje jekla v Železarni Štore	199
Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana, Mežnar Srečko, Kelvišar Anton — Železarna Jesenice O vplivu mikrostrukture na vlečno sposobnost malogljivega jekla	81	Nikolič Miroslav — Jesenice Termično dekapiranje v visokem vakuumu	209
Rodič Jože — Železarna Ravne Kvantitativna metalografija ledeburitnih orodnih jekel	89	Rodič Jože — Železarna Ravne Praktične izkušnje pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel z uporabo kvantitativne metalografije	217
Društvene vesti	107	Bruđar Božidar — Železarna Ravne Matematični modell ogrevanja in ohlajanja za nekatere primere iz prakse	239
Prešern Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana 25 let metalurškega inštituta v Ljubljani	113	Segel Jože — Železarna Ravne Kontrola pasov garantirane kaljivosti in analiza vpliva kemijske sestave na kaljivost	253

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSŽ — Zelezarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-231
int. 385 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj