



METALURŠKEGA  
INSTITUTA  
v Ljubljani

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana 25 LET METALURŠKEGA INSTITUTA V LJUBLJANI . . . . .	113
Zalar Bogdan — Metalurški inštitut Ljubljana IZKORISČANJE SEKUNDARNIH VIROV KOVIN . . . . .	119
Wohinz Janez — Metalurški inštitut Ljubljana LABORATORIJSKE STUDIJE MOZNOSTI BRI- KETIRANJA SAMOHODNEGA VLOZKA ZA PROIZVODNJO FeSi 75 % . . . . .	129
Souvent Peter — Rudnik svinca in topilnice Mežica B. Zalar — Metalurški inštitut Ljubljana OPTIMIZACIJA PREDELAVE SVINCEVIH PO- LETIN . . . . .	137
Kveder Aleksander — Metalurški inštitut Ljubljana VPLIV TEMPERATURNEGA IN DEFORMACIJ- SKEGA REZIMA SIMULIRANEGA VALJANJA NA LASTNOSTI NEKATERIH JEKEL . . . . .	145
Paulin Andrej — Metalurški inštitut Ljubljana N. Medved — Rudnik živega srebra Idrija V. Pogačnik — Zelezarna Jesenice MOZNOST PRIDOBIVANJA PREOSTALEGA Hg IZ DIMNIH PLINOV PRED IZSTOPOM V ATMOSFERO . . . . .	157
Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana J. Arh — Zelezarna Jesenice B. Ralič — Metalurški inštitut Ljubljana O OBLIKI IN SESTAVI NEKOVINSKIH VKLJUČKOV V JEKLIH ZA TRAKOVE . . . . .	167
Breskvar Bojan — Metalurški inštitut Ljubljana RAZVOJ LEZAJNEGA BRONA CuSn8P ZA OB- DELAVO NA AVTOMATIH . . . . .	181

LETO 9 ŠT.3 1975  
ŽEZB BQ 9 (3) 113-188 (1975)

# VSEBINA

UDK: 669.054.8  
ASM/SLA: A11a

B. Zalar

**Izkoriščanje sekundarnih virov kovin**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 119—128

Članek obravnava pomen izkoriščanja sekundarnih surovin za gospodarstvo in za preprečitev onesnaževanja okolja. Pregled nastanka in vrst sekundarnih virov v toku proizvodnje, predelave in porabe kovin daje vpogled v osnovno klasifikacijo odpadkov. V primerjavi z razvitejšimi deželami smo v SFRJ na področju kompleksne izdelave vseh sekundarnih surovin še v precejšnjem zaostanku. Na osnovi danih kvantitativnih ocen odpadnih materialov v slovenskih metalurških podjetjih in zahtev po enotnejšem in bolj koordiniranem pristopu k reševanju možnosti izkoriščanja le-teh je izdelan osnovni raziskovalni projekt.

Avtorski izvleček

UDK: 620.1  
ASM/SLA: Q1

A. Kveder

**Vpliv temperaturnega in deformacijskega režima simuliranega valjanja na lastnosti nekaterih jekel**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 145—156

Opisani so trije načini določanja optimalnega temperaturnega intervala predelave nekaterih jekel s torzijskim načinom preizkušanja: na standarden način segrevanja preizkušancev na temperaturo preizkušanja in z deformiranjem v različnih temperaturnih intervalih po načinu simuliranega valjanja. Ugotovljeno je bilo, da se pri določanju optimalnega režima predelave ne smemo ozirati le na najboljšo predelavnost jekla, temveč tudi, ali predvsem, na strukturo in lastnosti jekla po predelavi.

Avtorski izvleček

UDK: 669.15—198:669.782  
ASM/SLA: B16d, ADr30

J. Wohinz

**Laboratorijske študije možnosti briketiranja samohodnega vložka za proizvodnjo FeSi 75 %**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 129—136

Opisan je način briketiranja samohodnega vložka, kjer vsebujejo briketi poleg kremenovega peska še reducent in potrebno količino škaja. Kot glavno sestavino smo uporabljali neizkoriščeno klaso kremenovega peska velikosti zrn 5 do 15 mm, domleto na velikosti 0 do 5 mm. Poskuse briketiranja smo naredili na laboratorijski preši. Analizirane so mehanske trdnosti zelenih, sušenih in utrjenih briketov in določene termostabilne lastnosti briketov dobljenih v posameznih poskusih.

Rezultati in ugotovljeni optimalni pogoji so osnova za nadaljnje polindustrijske poskuse.

Avtorski izvleček

UDK: 669.791.3  
ASM/SLA: Hg, A8a

A. Paulin, V. Pogačnik, N. Medved

**Možnost pridobivanja preostalega Hg iz dimnih plinov pred izstopom v atmosfero**

Zelezarski zbornik 9 (1975) str. 157—165

Po kratkem literaturnem pregledu obstoječih metod čiščenja živega srebra iz dimnih plinov, smo opisali lastne raziskave, kjer smo v napolnjenem čistilnem stolpu izpirali plin z 20 do 50 mg/m<sup>3</sup> najprej z vodo, nato z razredčeno raztopino Ca(OH)<sub>2</sub>, nato z raztopino KMnO<sub>4</sub> in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, končno pa še z manganovo rudo in razredčeno žvepleno kislino. Primerjali smo posamezne metode in njihovo gospodarnost.

Avtorski izvleček

UDK: 669.431.6  
ASM/SLA: Pb, B16b

P. Souvent, B. Zalar

**Optimizacija predelave svinečevih poletin**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 137—143

Laboratorijski in industrijski poskusi peletiziranja svinečevih poletin iz metalurških obratov Rudnika Mežica in pirinitnih ogorkov ter poskusi ponašanja teh peletov pri določenih mehanskih in toplotnih obremenitvah so dali pozitivne rezultate. Tehnološke prednosti praženja peletiziranih poletin in prednosti uporabe cenejših pirinitnih ogorkov že pri peletizaciji namesto dosedanjih Fe-talil za visoko peč bodo predvidoma toliko znižali predelovalne proizvodne stroške, da bo možno pokriti relativno visoke investicijske stroške novih peletizacijskih naprav.

Avtorski izvleček

UDK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: M21e

F. Vodopivec, J. Arh, B. Ralič

**O obliki in sestavi nekovinskih vključkov v jeklih za trakove**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 167—179

Opis morfoloških značilnosti in nastajanja nekovinskih vključkov v elektrojeklih za trakove. Vključke Al oksida, Ca aluminata, špinela, galaksita, Ca sulfida Mn alumosilikata in Mn sulfida smo našli v jeklu, ki je bilo v različnih trenutkih vzeto iz peči, v izvahljenih trakovih pa vključke Al oksida, Ca aluminata, Ca sulfida, Mn alumosilikata in Mn sulfida. Pri isti količini žvepla je v jeklu z manj ogljika več nekovinskih vključkov. Razmerje med lastnostmi jekla pravokotno na smer valjanja in v smeri valjanja se zmanjšuje z naraščanjem količine sulfidnih vključkov.

Avtorski izvleček

# INHALT

<p>UDK: 620.1 ASM/SLA: Q1</p> <p>A. Kveder <b>Einfluss des Temperatur und deformations Regimes der simmullierten Walzung auf die Eigenschaften einiger Stahlsorten</b> Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 145—156</p> <p>Drei Verfahren zum Bestimmung des optimalen Temperaturintervales bei der Warmumformung einiger Stahlsorten im Torsionsversuch sind beschrieben: auf die Standarde Weise mit der Aufwärmung der Proben auf die Temperatur, mit der Abkühlung der Proben aus höheren Temperaturen auf die Versuchstemperatur und mit der Verformung der Proben in verschiedenen Temperaturintervallen nach der Art der simmullierten Walzung. Es ist festgestellt worden, dass bei der Bestimmung des optimalen Warmformungsregimes nicht nur auf beste Verformbarkeit Rücksicht genommen werden darf, sondern auch oder vorallem auf das Gefüge und die Stahleigenschaften nach der Warmumformung.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Verfassers</p>	<p>UDK: 669.054.8 ASM/SLA: A11a</p> <p>B. Zalar <b>Ausbeutung der sekundären Metallrohstoffe</b> Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 119—128</p> <p>Die Wichtigkeit der Ausbeutung der sekundären Rohstoffe für die Wirtschaft und für die Verhütung der Umweltverschmutzung. Übersicht über die Entstehung und die Art der Sekundärquellen im Verlauf der Erzeugung der Verarbeitung und Verwendung der Metalle gibt einen Einblick in die Grundklassifikation der Abfälle. Im Vergleich mit den entwickelten Ländern sind wir in der SFRJ auf dem Gebiet der komplexen Verarbeitung aller sekundären Rohstoffe noch ziemlich ausständig. Auf Grund der gegebenen quantitativen Schätzungen der Abfallenden Materialien in den slowenischen Hüttenwerken und der Forderung nach einen einheitlichen und koordinierten Zutritt zu der Lösung der Ausbeutung dieser Abfälle ist ein Forschungsprojekt ausgearbeitet worden.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Verfassers</p>
<p>UDK: 669.791.3 ASM/SLA: Hg, A8a</p> <p>A. Paulin, V. Pogačnik, N. Medved <b>Die Möglichkeit der Gewinnung des überlebenden Hg aus den Abgasen vor dem Austritt in die Atmosphäre.</b> Zelezarski zbornik 9 (1975) str. 157—165</p> <p>Nach einem kurzen Literaturüberblick der bestehenden Methoden für die Entfernung von Quecksilber aus den Abgasen sind eigene Untersuchungen beschrieben, bei welchen im gefüllten Spülturm die Abgase mit 20 bis 50 mg/Hg/m<sup>3</sup> mit Wasser, dann mit verdünnter Ca(OH)<sub>2</sub> Lösung, mit der KMnO<sub>4</sub> Lösung und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und noch mit Manganerz und verdünnter Schwefelsäure behandelt worden sind. Die einzelnen Methoden und deren Wirtschaftlichkeit ist untereinander verglichen.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Verfassers</p>	<p>UDK: 669.15—198:669.782 ASM/SLA: B16d, ADr30</p> <p>J. Wohinz <b>Laboratorische Studie der möglichen Briketierung eines selbstgehenden Einsatzes für die Produktion von 75 % FeSi</b> Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 129—136</p> <p>Das Briketierungsverfahren eines selbstgehenden Einsatzes bestehend aus Quarzsand Reduzent und Walzsinter ist beschrieben. Der Hauptrohstoff war eine nichtausgenutzte Fraktion des Quarzsandes von 5 bis 15 mm, zermahlen auf 0 bis 5 mm. Die Briketierungsversuche sind an einer laboratorischen Presse durchgeführt worden. Die mechanischen Eigenschaften von den grünen, getrockneten, und verfestigten Pellets sowie die thermostabilen Eigenschaften in den einzelnen Versuchen erhaltenen Briketen sind festgestellt worden.</p> <p>Die Ergebnisse und die festgestellten optimalen Bedingungen sind der Grund für die weiteren halbindustriellen Versuche.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Verfassers</p>
<p>UDK: 669.14.018.463; 669.187 ASM/SLA: M21e</p> <p>F. Vodopivec, J. Arh, B. Ralić <b>Einiges über die Form und Zusammensetzung der nichtmetallischen Einschlüsse im Bandstahl</b> Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 167—179</p> <p>Die Beschreibung der morphologischen Eigenheiten und der Entstehung der nichtmetallischen Einschlüsse im Elektrostahl für Bänder. Die Einschlüsse von Al Oxyd, Ca Aluminat, Spinel, Galaksit, Ca Sulfid, Mn Alumosilikat und Mn Sulfid sind im Stahl gefunden worden, welcher zu verschiedenen Zeitpunkten aus dem Ofen entnommen worden ist und im ausgewalzten Stahlband die Einschlüsse von Al Oxyd, Ca Aluminat, Ca Sulfid, Mn Alumosilikat und Mn Sulfid. Bei demselben Schwefelgehalt enthält der niedriggekohlte Stahl mehr nichtmetallische Einschlüsse. Das Verhältnis der Stahleigenschaften quer auf die Walzrichtung und in der Walzrichtung vermindert sich mit der Menge der sulfidischen Einschlüsse im Band.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Verfassers</p>	<p>UDK: 669.431.6 ASM/SLA: Pb, B16b</p> <p>P. Souvent, B. Zalar <b>Die Optimierung der Verarbeitung des Bleiflugstaubes</b> Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 137—143</p> <p>Die im laboratorischen und im industriellen Ausmass ausgeführten Versuche der Pelletisierung des Bleiflugstaubes aus den Hüttenbetrieb des Bergwerkes Mežica und der Schwefelkiesabbrände, und die Untersuchungen über das Verhalten dieser Pellets bei den bestimmten mechanischen und Wärmebeanspruchungen hatten positive Resultate ergeben. Technologische Vorteile der Röstung der pelletisierten Flugasche und die Vorteile der Anwendung der billigeren Schwefelkiesabbrände schon bei der Pelletisierung, anstatt der bisher angewendeten Fe-Flussmittel für den Hochofen werden voraussichtlich die Verarbeitungs- und Produktionskosten in solchem Ausmass erniedrigen, dass die relativ hohen Investitionskosten für die neuen Pelletisierungsanlagen damit gedeckt werden.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Verfassers</p>

# CONTENTS

UDK: 669.054.8  
ASM/SLA: A11a

**B. Zalar**  
**Exploitation of secondary metallic sources**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 119—128

Importance of exploitation of secondary raw materials for national economy and prevention of pollution is treated in the paper. Review of origin and types of secondary sources during the production, working, and consumption of metals gives an insight into basic classification of scrap. Compared with the more developed countries, complex treatment of secondary raw materials in Yugoslavia is still outstanding. According to the given quantitative characteristics of scrap materials in Slovene metallurgical companies and according to the demands for more uniform and better coordinated solutions for possible exploitation, a basic research project was proposed.

Author's Abstract

UDK: 620.1  
ASM/SLA: Q1

**A. Kveder**  
**Influence of Temperature and Deformation Conditions on Properties of Some Steel in a Simulated Rolling Test**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 145—156

Three ways of determining optimal temperature interval of working four various steel by torsion testing are described: standard method of heating the samples to the desired temperature, cooling of samples from higher temperatures to the testing temperature, and deformation in various temperature intervals by the method of simulated rolling test. Experiments show that not only the best workability but also, or above all, the structure and properties of steel after working must be taken in account when the optimal conditions of working are to be determined.

Author's Abstract

UDK: 669.15—198:669.782  
ASM/SLA: B16d, ADr30

**J. Wohinz**  
**Laboratory studies of Possible Briquetting Self-fluxing Feed for 75 % FeSi Production**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 129—136

The method of briquetting self-fluxing feed containing the reducing agent and the necessary amount of scale beside the quartz sand is described in the paper. Unexploited quartz sand fraction of grain size 5 to 15 mm and additionally ground to 0 to 5 mm was used as the basic constituent. Experimental briquetting was performed in a laboratory press. Mechanical properties of green, dried and consolidated briquettes were analyzed besides the thermostability tests of briquettes obtained in single experiments. Results and the determined optimal conditions can be basis for further pilot plant experiments.

Author's Abstract

UDK: 669.791.3  
ASM/SLA: Hg, A8a

**A. Paulin, V. Pogačnik, N. Medved**  
**Possibility of Recovering the Remnant Hg from Flue Gases before Exit into Atmosphere**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) str. 157—165

After short review of existing methods for mercury removal from flue gases own experiments were described. In the packed bed column the gas with 20 to 50 mg Hg/m<sup>3</sup> was washed at first by water, then by a diluted solution of Ca(OH)<sub>2</sub>, further by a solution of KMnO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, and finally by diluted sulphuric acid in a column packed with manganese ore. Efficiency and profitability of single methods were compared.

Author's Abstract

UDK: 669.431.6  
ASM/SLA: Pb, B16b

**P. Souvent, B. Zalar**  
**Optimisation of Treating Lead Flue Dusts**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 137—143

Laboratory and industrial tests of pelletising lead flue dusts from Mežica Lead Mine and pyrite cinder, and behaviour of these pellets, at certain mechanical and thermal loads gave positive results. Technological advantages in roasting pelletized flue dusts and advantages of application of cheaper pyrite cinder already in pelletising instead of the present iron fluxes for blast furnace will probably reduce production costs to such an extent that relatively high investments for new pelletising equipment will pay.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: M21e

**F. Vodopivec, J. Arh, B. Ralič**  
**On Shape and Composition of Non-metallic Inclusions in Steel for Strips**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 167—179

Description of morphologic characteristics and of formation of non-metallic inclusions in electrical steel for strips. Inclusions of Al oxide, Ca aluminate, spinel, galaxite, Ca sulphide, Mn aluminosilicate, and Mn sulphide were found in steel taken out of the furnace at various times, while inclusions of Al oxide, Ca aluminate, Ca sulphide, Mn aluminosilicate, and Mn sulphide were found in the rolled strips. At the same sulphur content in steel, the lower carbon the higher amount of non-metallic inclusions. Difference between the steel properties in transversal and longitudinal direction of rolling reduces with the increased amount of sulphide inclusions.

Author's Abstract

# СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 620.1  
ASM/SLA: Q1

A. Kveder

**Влияние теплового режима и режима деформирования имитированной прокатки на свойства некоторых сортов сталей.**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 145—156

Дано описание трёх способов определения оптимального теплового интервала переработки некоторых сортов сталей испытанием на прочность при кручении, испытание обхватывало: стандартный способ при нагреве пробных образцов на определённую температуру, с охлаждением образцов из более высоких температур на температуру испытания и деформированием в различных температурных интервалах способом имитированной прокатки. Определено, что при установлении оптимального режима переработки нельзя брать во внимание только самую лучшую пригодность для переработки стали, но также, и в главном образом на структуру и на свойства стали после переработки.

Авторский экстракт

UDK: 669.054.8  
ASM/SLA: A11a

B. Zalar

**Использование вторичных источников металлов.**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 119—128

В статье рассмотрено значение использования вторичного сырья в хозяйстве и предупреждение загрязнения окружающей среды. Просмотр образования и сортов вторичных источников во время производства, переработки и расхода металлов, даёт возможность представления в основную классификацию отходов.

В сравнении с более развитыми странами, наша страна Югославия в области комплексной обработки всего вторичного сырья, находится ещё в значительном запоздании.

На основании данных качественной оценке отходов материалов в словенских металлургических заводах а также и на основании требования выработки более унифицированного способа и координации использования вторичного сырья, автор предложил основной проект исследования.

Авторский экстракт

UDK: 669.791.3  
ASM/SLA: Hg, A8a

A. Paulin, V. Pogačnik, N. Medved

**Возможность получения остаточного Hg из дымовых газов до выхода в атмосферу.**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) str. 157—165

После короткого пересмотра существующих по литературе способов очищения ртути из дымовых газов, дано описание собственных исследований. Опыты выполнялись в очистительной башне наполненной с дымовым газом который содержал 20—50 мг Hg/м<sup>3</sup>. Газ промывали с водой, разбавленным раствором Са(OH)<sub>2</sub>, после этого с раствором KMnO<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и, наконец, ещё с марганцевой рудой и разбавленной серной кислотой. Отдельные способы сравнены на их рентабельность.

Авторский экстракт

UDK: 669.15—198:669.782  
ASM/SLA: B16d, ADr30

J. Wohinz

**Лабораторный анализ работ о возможности брикетирования самотечного всада для производства 75 % FeSi.**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 129—136

Дано описание и способ брикетирования самотечного всада брикетов которые кроме кварцевого песка содержат также ещё восстановительное средство и необходимое количество окислителя. Как главная составная часть употреблён неиспользованный отходной кварцевый песок грануляции 5—15 мм, смолот на величину 0—5 мм. Опытное брикетирование выполнено с лабораторным прессом. Определена и проведена механическая прочность зелёных, осушенных и упреоченных брикетов полученных отдельными способами. Полученные результаты и оптимальные условия могут послужить для дальнейших опытов на уровне полупромышленности.

Авторский экстракт

UDK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: M21e

F. Vodopivec, J. Arh, B. Ralić

**О форме и о составе неметаллических включений в ленточной стали.**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 167—179

Описаны морфологические характеристики и образование неметаллических включений в электросталах для изготовления полос. Включения окиси-Al, Са-алюмината, шпинеля, сульфида Са, Мп-алюмосиликата и Мп-сульфида обнаружены в сталях, пробы которых взяты из печи в разных промежутках времени. В прокатаной же ленточной стали обнаружены включения окиси Al, Са-алюмината, Са-сульфида, Мп-алюмосиликата и Мп-сульфида. Также обнаружено, что при одном и том же содержании серы сталь с меньшим содержанием углерода имеет больше неметаллических включений. Отношение между свойствами стали под прямым углом на направление прокатки и в прямом направлении прокатывания уменьшается с увеличением включений сульфидов.

Авторский экстракт

UDK: 669.431.6  
ASM/SLA: Pb, B16b

P. Souvent, B. Zalar

**Оптимизация переработки свинцовых окатышей.**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 137—143

Лабораторные и промышленные опыты о комкования свинцовых окатышей из металлургических цехах рудокopa Межница вместе с пиритными огарками, а также опыты поведения этих окатышей при определенных механических и тепловых напряжениях дали положительные результаты. Технологические преимущества отжига окомкованных окатышей и преимущества употребления более дешёвых пиритных огарков уже при процессе окомкования, взамен употребления флюсов при доменной печи возможно настолько снизить расходы переработки производства, что можно будет покрыть сравнительно большие вложения для новых установок окомкования.

Авторский экстракт

# VSEBINA

# CONTENTS

UDK: 669.35.6  
ASM/SLA: SGA-C

B. Breskvar

**Razvoj ležajnega bronu CuSn8P za obdelavo na avtomatih**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 181—188

Razvoj je grajen na analizah ustreznega vzorca, laboratorijski in polindustrijski izdelavi, predelavi in obdelavi ležajnih bronov z dodatkom žvepla. Analiza in ugotovitve glavnih metalurških parametrov omogočajo pristop k industrijski izdelavi nove ležajne zlitine. Posebno je obdelan eden od glavnih parametrov obdelave — obdelovalnost pri srednjih in velikih hitrostih struženja.

Avtorski izvleček

UDK: 669.35.6  
ASM/SLA: SGA-C

B. Breskvar

**Development of CuSn8P Free-cutting Bearing Bronze**  
Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 181—188

The development is based on analyses of a corresponding sample, on laboratory and pilot plant production, and on the working and machining of the bearing bronze with sulphur additions. Analysis and determination of basic metallurgical parameters enable possibility of industrial production of the new bearing alloy. Especially analyzed is one of the important machining parameters — machinability at medium and high turning speeds.

Author's Abstract

# СОДЕРЖАНИЕ

# INHALT

UDK: 669.35.6  
ASM/SLA: SGA-C

**В. Breskvar**

**Развитие подшипниковой бронзы CuSn8P для обработки на автоматах.**

*Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 181—188*

Развитие построено на анализе соответствующего образца, лабораторного и полупромышленного изготовления, переработки и обработки подшипниковых бронз с добавкой серы. Анализ и полученные данные главных металлургических параметров позволяют приступить к промышленному изготовлению нового сплава для подшипников. Особое внимание посвящено одному из главных параметров обработки — обрабатываемость при средних и больших скоростях обточки.

**Авторский экстракт**

UDK: 669.35.6  
ASM/SLA: SGA-C

**В. Breskvar**

**Entwicklung einer Lagerbronze CuSn8P für die Bearbeitung an Automaten**

*Zelezarski zbornik 9 (1975) 3 str. 181—188*

Die Entwicklung beruht auf der Analyse einer Probe, der laboratorischen und halbindustriellen Erzeugung, Verarbeitung und Bearbeitung der Lagerbronze mit Schwefelzusatz. Die Analyse und die Feststellungen der metallurgischen Hauptparametern ermöglichen die industrielle Erzeugung der neuen Lagerbronze. Die Bearbeitbarkeit bei mittleren und höheren Bearbeitungsgeschwindigkeiten als einer der wichtigsten Parameter ist besonders sorgfältig bearbeitet.

**Auszug des Verfassers**

## 25 let metalurškega inštituta v Ljubljani

Alojz Prešeren

### UVOD

Letos praznujemo 30-letnico osvoboditve in sočasno praznovanje 25-letnice delovanja MI je dokaz, da je naša socialistična družba že v začetku spoznala pomen metalurgije in raziskovalnega dela na metalurškem področju pri izgradnji sodobne industrije. Takoj ko so razmere dopuščale, je dal prof. ing. Ciril Rekar pobudo našim najvišjim voditeljem, da pristopimo h gradnji metalurškega inštituta z nalogo, da razvija raziskovalni potencial in pomaga pri vzgoji strokovnih kadrov za potrebe metalurškega gospodarstva. V 25 letih se je razvil v osrednjo raziskovalno organizacijo za slovensko metalurgijo; po doseženih rezultatih je znan tudi v drugih republikah in izven naših meja.

Že v letu 1964 so slovenske železarne in metalurški inštitut analizirali okvirno tehnološko problematiko in kot osnovo za nadaljnje delo postavili program, ki naj bi kljub popolni tehnološki in ekonomski samostojnosti posameznih podjetij vendarle nudil pozitivne rezultate vsem trem železarnam, kar naj bi preprečilo podvajanje raziskav in neučinkovito uporabo vloženi finančnih sredstev.

V letu 1966, ko so se pojavile prve ideje po potrebi integracije slovenskih železarn, smo sprejeli sklep, da se raziskovalno delo s področja tehnologije izdelave in predelave jekla prične reševati čim bolj kompleksno in izražena je bila želja, da se specializirajo raziskave v posameznih raziskovalnih oddelkih na inštitutu in v podjetjih. Tedaj izdelani program okvirne specializacije upravičeno štejemo za osnovo usmerjenega raziskovalnega dela na metalurškem področju.

V letu 1973 se je formirala sestavljena organizacija združenega dela Slovenske železarne. K njej je poleg treh slovenskih železarn in štirih podjetij

predelovalcev žice pristopil s samoupravnim sporazumom tudi metalurški inštitut in s tem sprejel naslednje obveznosti:

— raziskovalni potencial moramo posvetiti interesom metalurškega gospodarstva in pomoči pri vzgoji visoko kvalificiranega strokovnega kadra,

— izgrajujemo tako kadrovsko strukturo raziskovalcev, ki bo lahko razvijala uporabne raziskave kot samostojno rešitev ali kot fragmente v kompleksnih raziskavah metalurških problemov,

— metalurški javnosti in raziskovalni skupnosti Slovenije je treba predložiti raziskovalni program z metalurškega področja, v katerem mora priti do izraza dejavnost in specializacija raziskovalnih, oziroma razvojnih oddelkov železarn, podjetij barvne metalurgije in livarstva, metalurškega inštituta in metalurškega odseka pri FNT.

S samoupravnimi dogovori med metalurškim inštitutom, metalurškim odsekom pri FNT in 26 metalurškimi podjetji, uporabniki raziskav, smo definirali naslednje:

— Metalurški inštitut je osrednja raziskovalna institucija za slovensko metalurgijo, ki skupaj z raziskovalnimi enotami podpisnikov sporazuma, oz. dogovora tvori celoto raziskovalnega potenciala. Inštitut integralno povezuje celotno raziskovalno dejavnost, na inštitutu se združujejo tiste raziskovalne storitve in oprema, ki se lahko najbolj optimalno izkoriščajo na enem mestu.

— MI ohranja do širše družbene skupnosti vse pravice in dolžnosti, ki izvirajo iz njegovega položaja raziskovalne organizacije, dolžan je sodelovati z odsekom FNT pri vzgoji študentov, diplomantov in pri organizaciji podiplomskega študija.

— MI je dolžan delati predvsem za podpisnike, ti pa so ob enakih pogojih predvsem dolžni uporabljati njegove zmogljivosti.

— Raziskovalno delo na metalurškem inštitutu in v raziskovalnih oddelkih posameznih podjetij je

Alojz Prešeren, dipl. ing. metalurgije, direktor Metalurškega inštituta v Ljubljani



potrebno organizirati tako, da se bo lahko izvršila specializacija raziskovalnega dela v posameznih raziskovalnih centrih.

## DRUŽBENO EKONOMSKI POGOJI

Če hočemo pravilno razumeti momente, ki so odločujoči za razvoj in usmeritev raziskovalnega dela na MI, moramo analizirati družbena dogajanja, ki so ravno v preteklih nekaj letih odločilno posegla v srednje in dolgoročne programe razvoja slovenske metalurgije. Ti momenti so zelo jasno začrtali sedanjo ter perspektivno politiko znanstveno-tehnološkega napredka kot faktorja razvoja gospodarstva v sodobnih družbeno ekonomskih pogojih, ki jo je nakazal zvezni svet za koordinacijo znanstvene dejavnosti v materialih za pripravo družbenega programa.

Znanstveno-raziskovalno delo je danes v svetu proizvodna sila, v katero vedno več in vse hitreje vlagamo finančna sredstva. Rezultati znanstveno-raziskovalnega dela postajajo produkt, ki se kapitalizira in spreminja v rentabilni podjetniški kapital. Torej se tudi znanstveno-raziskovalno delo komercializira in ni več samo infrastrukturna obremenitev družbe.

Znanstveno-raziskovalno delo je eden od najvažnejših faktorjev razvoja, s pomočjo katerega se more jugoslovansko gospodarstvo vključiti v mednarodno delitev dela na osnovi konkurenčne sposobnosti in ekonomske uspešnosti. Znanost se direktno vključuje v skupni napredek; v kolikor se zmanjšuje delovna sila v proizvodnem ciklusu ali se opleniti izdelek, toliko je večji učinek znanosti. Znanost vedno bolj prevzema vodilno mesto v industriji; v kolikšnem obsegu ji to mesto pripada, je odvisno od stopnje razvoja. Čim večji je industrijski potencial in socialni napredek, tem večja je odvisnost od raziskovalnega potenciala, torej od umskih sposobnosti.

Politika znanstveno-raziskovalnega dela je integralni del splošne politike razvoja in politike vzgoje kadrov.

Osnovna načela znanstvene politike, kot jih postavlja svet za koordinacijo znanstvene dejavnosti, morajo upoštevati predvsem:

- usklajenost pogojev za znanstveno-raziskovalno delo s potrebami gospodarstva in družbe,
- povezanost osnovnih, uporabnih in razvojnih raziskav s srednjeročnimi in dolgoročnimi gospodarskimi programi,
- sistematsko razvijanje znanstvenih disciplin, oz. znanstveno-raziskovalnih organizacij, ki so posebno važne za družbeno ekonomski razvoj,
- konstruktivno sodelovanje z gospodarsko zbornico, univerzo in drugimi znanstvenimi ustanovami, ki naj samoiniciativno ali pa v medsebojnem sodelovanju nakazujejo predloge za napredek znanstveno-raziskovalnega dela.

Politika razvoja znanstvenega dela mora biti usklajena s proizvodno usmeritvijo. Za njen razvoj

je potrebno ustvariti pogoje, ki omogočajo koncentracijo znanstveno-raziskovalnega dela za določena raziskovalna področja, ki so odločujoča v sodobni proizvodnji. Potrebno je opredeliti prednosti izkoriščanja umskega potenciala in pri tem upoštevati delno konkurenčnost v mednarodnih razmerah, predvsem pa specifičnost razvoja gospodarstva v deželi.

Priznati moramo, da pri sestavljanju 5 in 10-letnih gospodarskih programov vse premalo upoštevamo nekatere negativne posledice tehnološkega razvoja, tako pri nas kot v svetu, npr. pomanjkanje energije, pomanjkanje surovin, onesnaženje okolja, zastarelost tehnologije, stalno odvisnost od uvoza surovin, premalo preštudirana tržišča, neskladnost med asortimentom proizvajalca in potrebo v kovinsko predelovalni industriji itd. Današnja stopnja razvoja naše družbe in gospodarstva nujno zahteva, da združeno delo definira naloge znanstveno-raziskovalne in razvojne dejavnosti s prav tolikšno odgovornostjo, kot je definiralo program perspektivnega asortimenta in prodaje. Programiranje razvoja podjetja in raziskovalnega dela mora postati stalni in skupni interes vseh zainteresiranih faktorjev združenega dela.

Osnovne misli programiranja gospodarstva v republiki Sloveniji so zajete v naslednjem:

- z intenzifikacijo gospodarskega razvoja, ki ga še hromijo strukturna neskladja, je nujno potrebno doseči višjo produktivnost;
- umski potencial je potrebno usmeriti v uporabo znanosti in tehnologije v gospodarske koristi;
- uvozne surovine resno zmanjšujejo akumulativnost gospodarstva. Prioriteta naše razvojne politike je v hitrejšem razvoju tehnoloških možnosti za izkoriščanje domače surovinske osnove;
- v črni metalurgiji bo realizacija razvojnih programov jugoslovanskih železarn, zlasti pa novi obrati za hladno valjane trakove na Jesenicah, pretežno pokrila potrebe hitro razvijajoče se industrije gospodinjskih aparatov. Povečane bodo tudi livarske zmogljivosti za potrebe strojne industrije. Vse to bo sicer olajšalo oskrbo kovinskopredelovalne in elektro industrije, vendar pa je razvoj slednje premalo usmerjen na tako proizvodnjo, ki bi temeljila na večji porabi kvalitetnejših in plemenitih jekel, s katerimi bi jih lahko zadovoljivo oskrbovale slovenske železarne, ki jim le taka usmeritev zagotavlja uspešen razvoj. V tej smeri bo treba v prihodnje aktivneje medsebojno usklajevati razvojne in proizvodne programe;
- na področju nekovin, kjer so na razpolago razne surovine, je še veliko neizkoriščenih možnosti. Potrebno bo proučevati tehnologijo njihove predelave in v ta namen izdelati ustrezne tehnološke programe. Potrebno je intenzivirati raziskovalne programe, usmerjene v izkoriščanje domače surovinske osnove;
- zaradi povečanja rezerv živosrebrne in svinčevo-cinkove rude bo potrebno razširiti raziskovalno področje na tiste dejavnike, ki prispevajo

k povečanju izkoristka, k učinkovitejši in popolnejši tehnologiji ekstrakcije in k večji stopnji finalizacije;

— več dela je potrebno vložiti v reševanje problemov v zaščito okolja. Na osnovi raziskav virov onesnaženja v krajih, ki so že prizadeti, je potrebno pristopiti k hitremu ukrepanju za njegovo omejevanje.

### **SPECIFICNOSTI SREDNJEROČNEGA PROGRAMA RAZVOJA METALURGIJE V SLOVENIJI**

Osnovna značilnost razvoja v slovenski črni metalurgiji je povečanje proizvodnje jekla in spreminjanje strukture z zmanjševanjem deleža SM-jekel in povečanjem deleža elektro jekel.

Proizvodni program slovenskih železarn lahko glede na kakovost izdelkov in njihov pomen ter glede na smer nadaljnjega razvoja opredelimo po naslednjih kriterijih:

- po vrstah osnovnega materiala izdelkov,
- po vrstah izdelkov z omejitvami dimenzijskih območij in tež, po oblikah in tehnološki izvedbi,
- po gotovih izdelkih,
- po področjih uporabe.

Na področju grodljev, sive litine, specialnih vrst litine in proizvodnje specialnega grodlja je omogočena povečana proizvodnja nodularne litine, ulivanja izdelkov iz nodularne in strojne litine, kar je za slovenski in jugoslovanski trg izrednega pomena. Proizvodnja jekla je usmerjena v kvalitetna ogljikova, srednje legirana konstrukcijska ter visoko legirana nerjavna in ognjeodporna jekla v obliki ploščatih in okroglih profilov, žice paličastega jekla in ulitkov. Količina hladno valjane pločevine in trakov bo z novo hladno valjarno na Jesenicah pretežno pokrila potrebe hitro razvijajoče se industrije gospodinjskih aparatov. Povečane bodo tudi livarske zmogljivosti za potrebe strojne industrije. S tem bo oskrba kovinsko predelovalne in elektro industrije olajšana. Obstaja pa še vedno znaten razkorak med predvidenimi potrebami te industrije in proizvodnjo kvalitetnih in plemenitih jekel osnovne industrije.

S proizvodnjo vseh vrst oplášenih elektrod, žic za varjenje v zaščitnih atmosferah, žic in praškov za varjenje pod žlindro bo črna metalurgija znatno prispevala k večji ekspanziji varjenja v predelovalni industriji.

S kompletnim asortimentom orodnih jekel in specialnih jekel za posebne namene odpira črna metalurgija Slovenije možnost za večjo osamosvojitve slovenske predelovalne industrije z osnovnim materialom.

Z najnovejšimi tehnološkimi postopki za proizvodnjo najčistejših jekel (posebne zahteve vojne industrije in raketne tehnike) posegamo tudi v preskrbo z najobčutljivejšimi materiali.

V barvni metalurgiji ne moremo govoriti o enotnem konceptu skupnega razvoja, ker je dejavnost razvejana zaradi dosedanjih razvojnih specifičnosti. Na področju nekovnih je še veliko neizkoriščenih možnosti, raziskovalne programe je potrebno usmeriti v izkoriščanje domače surovinske osnove.

V mariborski livarni je perspektivni proizvodni program obsežen v proizvodnji blokov, polizdelkov in gotovih izdelkov, pri čemer vse tri osnovne skupine povezuje potreba po isti surovinski osnovi.

Ker v celoti primanjkuje primarnega bakra, je ena od osnovnih zahtev perspektivne usmeritve obsežena v raziskavah proizvodnje sekundarnega bakra in tehnološke možnosti uporabe tega v primarnem tehnološkem ciklusu. Z modernimi postopki predelave, kot so kontinuirno in tlačno ulivanje in nove metode selektivne rafinacije s klorom, ustvarja mariborska livarna solidno bazo za realizacijo perspektivnega programa. V tem smislu razvija tudi tehnologijo predelave sekundarnega aluminija.

Na področju aluminija ni usklajenosti med zelo številnimi proizvajalci v jugoslovanskem merilu. To povzroča tudi težave slovenske aluminijske industrije, ki se mora zaradi navedenega usmerjati pretežno na izvoz. Perspektivne porabe aluminija so obsežene v valjanih, stiskanih in vlečenih proizvodih, kar bo s povečano stopnjo finalizacije z novim valjarniškim ogrodjem v Impolu precej realizirano. Specifičnost nadaljnjega razvoja je še v osvajanju raznih Al zlitin, v izotermnem stiskanju lahkih kovin ter valjanju in termični obdelavi kaljavih zlitin.

V Kidričevem je predvideno povečanje predelave surovih produktov, poleg gnetilnih zlitin bodo razširili program livarskih zlitin na bazi Al, AlSi itd. Z modernizacijo obstoječih agregatov se bo povečala proizvodnja glinice in Al. Posebno mesto v perspektivnem razvoju imajo postopki za izdelavo specialnih glin in postopki za ponovno vrednotenje odpadnih surovin.

Specifičnost razvoja Idrije je zaradi stalnega upadanja količine Hg v rudi v stalnem povečanju kapacitet predelave rude in izpopolnjevanju postopkov za boljše izkoriščanje in mehanizacijo proizvodnih naprav. V programu bodočega razvoja je iskanje nove tehnologije za druge vrste rud in povečana finalizacija produktov živega srebra.

V Mežici zavzemajo poleg že ustavljenih svinčevih proizvodov vidno mesto proizvodnja akumulatorjev, povečanje izkoristka s ponovno uporabo odpadnih materialov in sekundarnih surovin, predelava revnih surovin v visoki peči, intenzifikacija metalurških postopkov in izdelava akumulatorskih plošč iz disperzijsko utrjenega svinca.

V Tovarni dušika Ruše je metalurški del razvojnega programa obsežen predvsem v uporabi kremenjaka iz Prevalj, možnosti briketiranja peska iz Puconcev, proizvodnji kompleksnih dezoksidantov, proizvodnji FeSi z nizkim Al ter razvoju tehnologije za proizvodnjo specialnih zlitin.

Metalurška proizvodnja v cinkarni Celje je usmerjena v tehnologijo valjanja cinka in njegovih zlitin s sodobnimi načini preoblikovanja. Pri vrednotenju piritnih ogorkov so bili doseženi veliki uspehi, v bodočem razvoju pa moramo pristopiti k industrijskemu vrednotenju piritnih ogorkov.

## USMERJENOST METALURŠKEGA INŠTITUTA

Družbeno gospodarske zahteve in glavne specifičnosti srednjeročnega razvojnega programa slovenske metalurgije jasno opredeljujejo usmeritev raziskovalnega dela metalurškega inštituta in raziskovalnih oddelkov v gospodarskih organizacijah. Spričo točno definiranih zahtev bi bilo odstopanje od njih nedopustno, škodljivo in bi predstavljalo breme za družbeno skupnost.

Na metalurškem inštitutu smo v želji, da bi delo inštituta čim bolj približali potrebam gospodarstva, izvedli nekatere širše akcije in dosegli naslednje:

— v letu 1972 smo s posebnim elaboratom: »Razvoj metalurgije v Sloveniji« pri raziskovalni skupnosti dosegli priznanje, da tudi področje metalurških raziskav spada med propulzivne dejavnosti;

— v letu 1973 smo pristopili v SOZD Slovenske železarne, odnos je točno definiran s členi št. 53, 54 in 55 samoupravnega sporazuma;

— v letu 1973 smo predložili raziskovalni skupnosti večletni raziskovalni program slovenske metalurgije, MI in metalurškega oddelka pri FNT. Posebna komisija pri RSS je raziskovalni program potrdila in s tem pred javnostjo začrtala usmeritev raziskovalnega dela za metalurške potrebe Slovenije. Povedati je potrebno, da smo prvi inštitut z verificiranim večletnim raziskovalnim programom;

— v letu 1974 smo nadaljevali s samoupravnim dogovarjanjem in aktivno sodelovali v pripravah za oblikovanje raziskovalne skupnosti.

Letos pa smo sodelovali pri ustanovitvi področne raziskovalne skupnosti ter podpisali sporazum o ustanovitvi in delovanju republiške in občinske raziskovalne skupnosti ter področne raziskovalne skupnosti za geologijo, rudarstvo in metalurgijo.

Na temelju družbeno verificiranega raziskovalnega programa ima metalurški inštitut jasno perspektivno sliko o razvoju posameznih raziskovalnih oddelkov, o kadrovanju v te oddelke in o specializaciji za posamezna raziskovalna področja in, kar je bistvene važnosti, v razdelitev raziskovalnega dela med raziskovalnimi oddelki v slovenskih metalurških podjetjih in MI, oz. metalurškim oddelkom pri FNT. Zavedamo se, da je raziskovalno delo eden bistvenih elementov, ki prispeva k izbolj-

šanju dela v metalurgiji in vodi do novih proizvodov ter boljše ekonomike proizvodnje. Ta dejavnost postaja tem bolj pomembna prav sedaj, ko povsod obravnavamo problem pomanjkanja surovin, tako za bazično kot kovinsko predelovalno industrijo.

Taka usmeritev dela je neposredno vezana tudi na novo obliko finansiranja raziskovalnega dela, ki jo bomo raziskovalci na MI dosledno podpirali in ki združuje sredstva za raziskovalno dejavnost s samoupravnim sporazumevanjem.

Samoupravni sporazum je obojestranska obveznost. Na eni strani obvezuje podpisnike, da iz dohodka posameznih TOZD odvajajo sredstva za raziskave, na drugi strani obvezuje raziskovalce, da ta sredstva koristno uporabijo. Ni mogoče več gojiti čiste znanosti, ki je večkrat sama sebi namen, s sredstvi, ki jih neposredni proizvajalci odvajajo iz svojega dohodka. Ta sredstva moramo raziskovalci v oplemeniteni obliki vrniti tistemu, ki nam jih je dal. Pričakujemo, da bodo družbeno-politični forumi zavzeli do vrednotenja raziskovalnega dela enako stališče in bodo to pokazali z usmerjanjem sredstev v panoge, katerih cilj so raziskave za neposredno industrijsko uporabo.

Področno interesno skupnost sestavljajo tudi potrošniki in raziskovalci z metalurškega področja. Oboji morajo imeti enak cilj in usmerjati raziskovalno delo v nadaljno rast metalurgije kot pomembne veje za nadaljni razvoj kovinsko predelovalnega kompleksa Slovenije in Jugoslavije.

MI je s svojimi sodelavci in v koordinaciji s strokovnim kadrom v podjetjih reševal problematiko na zelo širokem področju. Rezultati tega dela so prispevali:

— k izboljšanju in dopolnjevanju obstoječe tehnologije izdelave in predelave kovin,

— k razširitvi proizvodnega asortimenta in povečani stopnji finalizacije,

— k racionalizaciji proizvodnje, torej znižanju proizvodnih stroškov,

— k sistematičnemu pristopu ugotavljanja in študiranja tehnoloških možnosti ponovne uporabe odpadnih in sekundarnih surovin.

Raziskave v verificiranem programu so torej namenjene taki finalizaciji proizvodov črne in barvne metalurgije ter livarstva, ki bi potrošnikom kovinsko predelovalne industrije, elektro in strojni industriji, avtomobilski industriji in industriji bele tehnike dale možnost oskrbovanja in proizvajanja s surovinami domačih metalurških podjetij. Cilj raziskav je končni finalni proizvod višje vrednosti.

Raziskovalni problemi so realni in jasni, dosežki se kontinuirno vgrajujejo v redno metalurško proizvodnjo.

V letu 1974 smo uspešno zaključili 102 raziskovalni nalogi, od tega 92 s poročili, 10 nalog pa je bilo iz področja specialnih zlitin in tehničnih storitev.

## SREDNJEROČNI PROGRAM RAZISKOVALNEGA DELA METALURGIJE IN METALURŠKEGA INSTITUTA

Verificiran raziskovalni program že vsebuje specifičnosti, ki so tesno povezane s srednjeročnim programom razvoja slovenske metalurgije. Glavne značilnosti raziskovalnega programa so:

a) Proizvodnja in predelavna tehnologija je obsežna z naslednjimi okvirnimi raziskavami:

— kovinske in nekovinske surovine, tehnološke možnosti ovrednotenja odpadnih surovin za ponovno uporabo v primarnem proizvodnem ciklusu, razvoj tehnologije za proizvodnjo sekundarnega bakra in aluminija itd.;

— zakonitosti in optimizacija vsipa za TH in visoke peči, študij reduktivnosti rud in metalizacije obogatenih koncentratov, preiskave žlinder itd.;

— tehnologija izdelave jekla v peči, intenzifikacija procesa, ponovna metalurgija in sekundarno žilavenje, standardni in modificirani postopki, specialni postopki za ultračista visoko kvaliteta jekla, ulivanje in strjevanje, proizvodni postopki za specialne glinice, tehnološki postopki za razne kovine, pretaljevanje, selektivna rafinacija s klorom, praženje HgS in kondenzacija Hg par, tehnologije in finalizacija produktov iz Hg, pridobivanje Hg iz karbonskega škrlcovca itd.;

— vroča in hladna predejava, fizikalne in metalurške zakonitosti plastične deformacije, hitrost deformacije, fizikalni procesi med deformacijo in po njej, specialni predelavni postopki, superplastičnost kovin, primerjalne študije med normalno ulitimi, kontinuirno ulitimi in po EPŽ-postopku pretaljenimi visoko legiranimi jekli, tehnologija valjanja cinka in njegovih zlitin, študij izdelave cinkove žice itd.;

— nadaljna predelava in površinska obdelava jekla z vlečenjem, brušenjem, luženjem, površinsko utrditvijo, študij vpliva sestave in deformacije na rekristalizacijo, vpliv svınca v avtomatskih jeklih, valjanje in termična obdelava kaljivih zlitin, izotermno stiskanje lahkih kovin itd.;

— optimizacija energetskega gospodarstva v metalurških podjetjih, toplotna tehnika, gradnja industrijskih peči, ugotavljanje konstrukcijskih pogojev v posameznih projektih proizvodnih agregatov, študij karakteristik gorilnikov na tekoča in plinasta goriva, študij in uvajanje novih gorilnikov za mešani plin butan-propan-zrak, toplotna prevodnost ognjestalnega gradiva, itd.

b) Raziskave izdelkov:

— uporabne lastnosti,

— vpliv različnih fizikalnih ter mikrostrukturnih lastnosti na lastnosti kovin, premene, volumska in interkristalna difuzija, izločanje, reaktivna difuzija, fazni diagrami itd.

— (Osnovne raziskave s tega področja so obsežne v kvantitativni metalografiji, elektronski mi-

kroskopiji, elektronski mikroanalizi, spektrometriji, z njimi posegamo v razvoj disperzijsko utrjenih jekel in mikrolegiranih jekel, raziskujemo probleme deformacije, fenomene napetostne, utrjenostne in obrabne korozije, morfologije tvorbe oksidnih plasti na površini, mehanizem vpliva oligoelementov na kvaliteto raznih zlitin, fenomene superplastičnosti itd.)

## OPREMA METALURŠKEGA INSTITUTA

Inštitut ima pomanjkljivo raziskovalno opremo. Zaradi stalnega pomanjkanja finančnih sredstev nabavljamo le najnujnejšo opremo, oz. koordiniramo nabavo med inštitutom, metalurškim odsekom pri FNT in raziskovalnimi oddelki slovenskih železarn. Izredne težave pri nabavljanju opreme povzročajo predvsem nelikvidnost. Toliko bolj pomembno je zato sofinansiranje raziskovalne skupnosti pri nabavi raziskovalne opreme. V preteklih 4 letih smo investirali v večje laboratorijske in polindustrijske raziskovalne agregate okrog 7.500.000 din. Od tega smo okrog 46 % prejeli od raziskovalne skupnosti, 54 % pa je sofinansirala interna banka pri SZ.

## ORGANIZACIJA METALURŠKEGA RAZISKOVALNEGA DELA V SLOVENIJI IN VLOGA MI PRI POVEZOVANJU TE DEJAVNOSTI

Nekdanji raziskovalni timi, sedaj projektni sveti za raziskovalna področja črne in barvne metalurgije, livarstva in ferozlitin, nekovin ter možnega materiala, so zadolženi za zasledovanje problematike pri uporabnikih in za pripravo programov za usmerjeno raziskovalno delo v smislu verificiranega programa. Tu se predloženi programi vsklajujejo in določa se prioriteta z ozirom na važnost in aktualnost problematike. Člani svetov v izvršilnem odboru področne raziskovalne skupnosti za geologijo, rudarstvo in metalurgijo so delegati in nedelegati. Obdržali smo še komisije za jeklarstvo, kemijo, energetiko, pripravljamo komisijo za predelavo in ekstraktivno. Dolžnost teh komisij je, da v tekočem letu zasledujejo tehnološko problematiko, analizirajo raziskovalne dosežke, zasledujejo realizacijo v proizvodnji, posredujejo probleme drugim komisijam na podlagi večkratnih medsebojnih kontaktov in na ta način pripomorejo k pravilni izbiri pereče problematike, ki predstavlja izhodišče za raziskovalne naloge.

Pri združenem podjetju Slovenske železarne obstaja posebno koordinacijsko telo, v katerem so predstavniki slovenskih železarn, MI in predelovalcev žice, ki skrbi za koordinacijo raziskovalnega dela v črni metalurgiji. Zaradi specifične razvejavnosti v barvni metalurgiji nimamo enotnega koor-

dinacijskega telesa. S podjetji barvne metalurgije in livarstva je MI direktno vključen v njihove večletne raziskovalno razvojne programe.

V sklopu raziskovalnega dela v jugoslovanskem merilu je MI povezan z Odborom za naučno istraživački rad pri UJŽ v Beogradu in tako vključen v skupni program raziskovalnega dela vseh jugoslovenskih železarn.

### VIRI FINANSIRANJA

Z glavnimi naročniki, to je večino metalurških podjetij v Sloveniji in z naročniki preko UJŽ Beograd, sklepamo pogodbe o raziskovalnih nalogah običajno v prvem kvartalu tekočega leta, z naročniki pri rudnikih in peskokopih ter z manj števil-

nimi naročniki izven Slovenije pa preko celega leta.

V letu 1974 je znašal finančni delež industrije v naši realizaciji 64 %, delež družbenih skladov kot sofinansiranje raziskovalnega dela za industrijo pa 36 %. Z zadovoljstvom ugotavljamo, da delež raziskovalne skupnosti pri sofinansiranju narašča, želeli bi pa, da bi glede na večkrat deklarirane cilje raziskovalnega dela v naši družbi namenila raziskovalna skupnost Slovenije več sredstev za uporabne raziskave, ki imajo sofinansiranje v industriji, s čemer je utemeljena njihova koristnost.

Slovenska pa tudi jugoslovanska industrija izredno hitro raste, to pa pomeni, da se bodo finančna sredstva, vložena v raziskave, hitro oplemenitila in vračala kot rezultat boljše ekonomičnosti proizvodnje.

# Izkoriščanje sekundarnih virov kovin

UDK: 669.054.8  
ASM/SLA: Ana

Bogdan Zalar

*Članek obravnava pomen izkoriščanja sekundarnih surovin za gospodarstvo in za preprečitev onesnaževanja okolja. Pregled nastanka in vrst sekundarnih virov v toku proizvodnje, predelave in porabe kovin daje vpogled v osnovno klasifikacijo odpadkov. V primerjavi z razvitejšimi deželami smo v SFRJ na področju kompleksne uporabe vseh sekundarnih surovin še v precejšnjem zastanku. Na osnovi danih kvantitativnih ocen odpadnih materialov v slovenskih metalurških podjetjih in zahtev po enotnejšem in bolj koordiniranem pristopu k reševanju možnosti izkoriščanja le-teh je izdelan osnovni raziskovalni projekt.*

## I. POMEN SEKUNDARNIH VIROV KOVIN

Gospodarski in družbeni razvoj na vseh področjih življenja in dela povečuje potrošnjo surovin za izdelavo vse večjih količin in vse večjega števila vrst potrošnih dobrin. S povečevanjem predelave surovin se vzporedno povečujejo razni industrijski odpadki, povečujejo se predelovalni odpadki in odpadki izrabljenih dobrin. Dejstvo danes je, da je naraščanje bruto narodnega dohodka v posameznih deželah v neposredni zvezi z naraščanjem odpadkov in lahko smatramo količino odpadkov za merilo standarda in civilizacije neke dežele.

Sodobnemu razvoju sedanje tehnizirane dobe je osnova vse širša uporaba kovin, tako na področju strojegradnje, gradbeništva, prometa, veliko kemijske industrije, medicine itd. in ne nazadnje na področju vojne tehnike, zaradi česar je vrsta kovin tudi strateškega pomena. Surovinski viri kovin so se povečevali vzporedno z naraščajočo proizvodnjo in porabo. Izpopolnjevanje tehnologije izkoriščanja rudnin je sicer sproti dajalo možnosti povečevanja surovinskih virov, vendar je danes že znano dejstvo, da za vse večje potrebe po kovinah sedaj znane rudne rezerve ne bodo več dolgo zadoščale. Tudi veliki napor visoko razvitih dežel, da bi nekatere kovinske materiale substituirali z drugimi nekovinskimi, imajo omejene možnosti.

Smo v obdobju, ko postaja vse bolj neogibna potreba po popolnem racionalnem izkoriščanju kovinskih surovin. Tehnologije ekstrakcije še vedno dajejo medprodukte in odpadke, iz katerih je možno z nadaljno predelavo izkoristiti preostale vredne kovine in druge še uporabne snovi. Kovinski produkti imajo na svojih področjih določen čas trajanja porabe in po preteku tega niso več uporabni. Zato se v razvitih deželah, kjer so ti odpadki skoraj izključno koncentrirani, hitro izpopolnjujejo tehnologije najoptimalnejših možnosti ponovnega izkoriščanja. Takšni viri pridobivanja takoimenovanih sekundarnih kovin predstavljajo neizčrpen surovinski vir, ki se s povečevanjem izkoriščanja ne izrablja, temveč se obnavlja in povečuje.

Izkoriščanje in predelava odpadkov ne sega tako daleč nazaj kot začetki razvoja industrijskega načina pridobivanja dobrin. Razvijati se je začelo znatno kasneje, kot so se odpadki pojavili in začeli kopičiti. Na splošno lahko razvoj izkoriščanja odpadkov razdelimo na štiri značilnejša obdobja.

— Prvo obdobje izkoriščanja samo vrednih in predvsem nekaterih redkih kovin je trajalo od začetka industrijske ekspanzije do konca prejšnjega stoletja.

— Za drugo obdobje, približno od leta 1900 do konca druge svetovne vojne, je že karakterističen bolj tehnološko organiziran pristop k regeneraciji kovin in recikliranju kovinskih materialov. Značilno za to dobo je tudi že izkoriščanje starega papirja, tekstila, gume in stekla.

— Začetek tretjega obdobja lahko postavimo v čas okoli leta 1950, ko so industrijsko razvitejše dežele začele široke akcije proti onesnaženju okolja in kopičenju industrijskih in drugih odpadkov.

— Zadnje obdobje se začne s pojavom energetske krize v svetu in z vzporedno bojaznijšo predpomanjkanjem primarnih surovin. To najnovejše obdobje traja šele nekaj let in so zanj značilne izredno intenzivne akcije zbiranja, regeneracije in kompleksnega izkoriščanja vseh odpadkov in drugih starih neuporabnih materialov.

Zbiranje in predelava takšnih materialov se danes v večini razvitih dežel ne obravnava več samo

Mag. Bogdan Zalar, dipl. ing. metalurgije, samostojni raziskovalec Metalurškega inštituta v Ljubljani

s komercialno-ekonomskega vidika, temveč tudi v okviru uzakonjene politike ureditve in varstva človekovega okolja. Zato lahko trdimo, da v sedanjem času narekujejo napore k popolnemu izkoriščanju vseh odpadnih materialov dva osnovna namena:

— namen povečevanja sekundarnih surovinskih virov in

— namen preprečevanja onesnaževanja in zadrževanja naravnega okolja.

Oba namena sta si z ekonomskega stališča med seboj nasprotna, vendar je potrebno najti med obema najoptimalnejše rešitve.

Vzporedno naraščanju proizvodnje in porabe kovin raste tudi proizvodnja kovin iz sekundarnih virov, t. j. odpadnih materialov. Slednja je izrazito skoncentrirana v deželah, kjer je razvita predelovalna industrija in je tudi velika potrošnja kovinskih izdelkov. Tako nastajajo sekundarni viri skoraj izključno v razvitih deželah. Nerazvite dežele-izvoznice surovin, kakor tudi kovin in kovinskih polproizvodov, izvažajo s tem takorekoč tudi svoje sekundarne surovinske vire.

Vzporednost naraščanja porabe odpadnega starega železa in jekla z naraščanjem proizvodnje je

kla za nekatere dežele v času zadnjih 15 let je naslednja:

	Zah. Evropa	ZDA	Japonska	SFRJ
— povečanje proizv. jekla v %	97	21	763	173
— povečanje porabe starega Fe-materiala v %	67	16	460	165

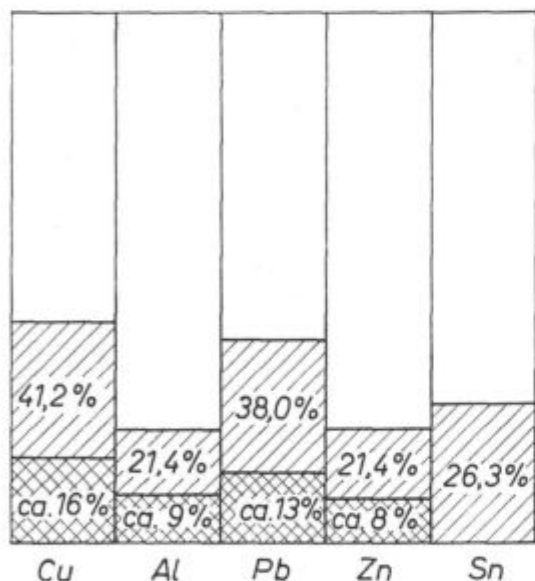
Značilne so relativno nizke procentne vrednosti za ZDA, ki ima že dalj časa najbolj razvito industrijo in splošno potrošnjo, v primerjavi z Japonsko, ki zadnjih nekaj desetletij izkazuje izredno visoko rast industrializacije. Ustrezno temu je tudi relativno nižja poraba odpadnih starih železovih materialov, ker se lastni v tako kratkem času še ne vračajo, uvoz pa je večkrat otežkočen.

Vzporednost uporabe sekundarnih surovin v primerjavi s primarnimi pri proizvodnji neželeznih kovin je iz statističnih podatkov ravno tako potrjena. Le pri cinku se je v zadnjih 15 letih v zahodnoevropskih deželah del sekundarne proizvodnje od celotne znižal za ca. 2 %, pri kositrju pa za ca. 3,5 %. Odnos med količino proizvedenih kovin iz sekundarnih surovinskih virov v primerjavi s celotno proizvodnjo, je razviden iz slike 1. Upoštevane so vse dežele, razen socialističnih, za katere so razpoložljivi podatki zelo nezanesljivi. Podatki so povprečni in veljajo za zadnjih 15 let; le podatki za SFRJ se nanašajo na zadnja leta. (Pri tem naj že sedaj omenimo, da je vsaj približno točne podatke pri nas nerazumljivo težko zbrati).

Iz slike 1 lahko za primer bakra trdimo, da vsaj za 40 % svetovne potrebe po tej kovini lahko pridobimo iz sekundarnih surovin. Povzamemo lahko tudi, da je pri nas t.i. sekundarna proizvodnja bakra skoraj trikrat nižja od proizvodnje v ostalih deželah. Vzroki temu so 3 do 4 krat nižja finalna potrošnja bakra na prebivalca v odnosu do razvitejših dežel, kakor tudi dejstvo, da se preko 50 % bakrenih polproizvodov izvažajo. To pomeni, da je finalna potrošnja te količine bakra v inozemstvu, kjer ostanejo tudi izrabljeni odpadki bakrenih izdelkov, kot tudi odpadki pri končni izdelavi izdelkov. Podobne so situacije tudi pri ostalih težkih neželeznih kovinah. Tako npr. pri svincu, kjer izvažamo precejšnje količine akumulatorjev, in tudi pri cinku, kjer izvažamo večji del proizvedene pločvine.

## II. VRSTE SEKUNDARNIH VIROV KOVIN V EKSTRAKTIVNI IN PREDELOVALNI INDUSTRIJI

V področje sekundarnih virov surovin spadajo odpadki porabljenih kovinskih proizvodov in vse vrste odpadkov, ki nastajajo v procesih proizvodnje in predelave kovin. V prvi vrsti so obseženi



- - kovine iz primarnih surovin  
 ▨ - kovine iz sekundarnih surovin  
 ▩ - kovine iz sekundarnih surovin v SFRJ

Slika 1

Proizvodnja kovin iz sekundarnih virov v primerjavi s celokupno proizvodnjo

Fig. 1

Recovery of metals from secondary sources in comparison with total production

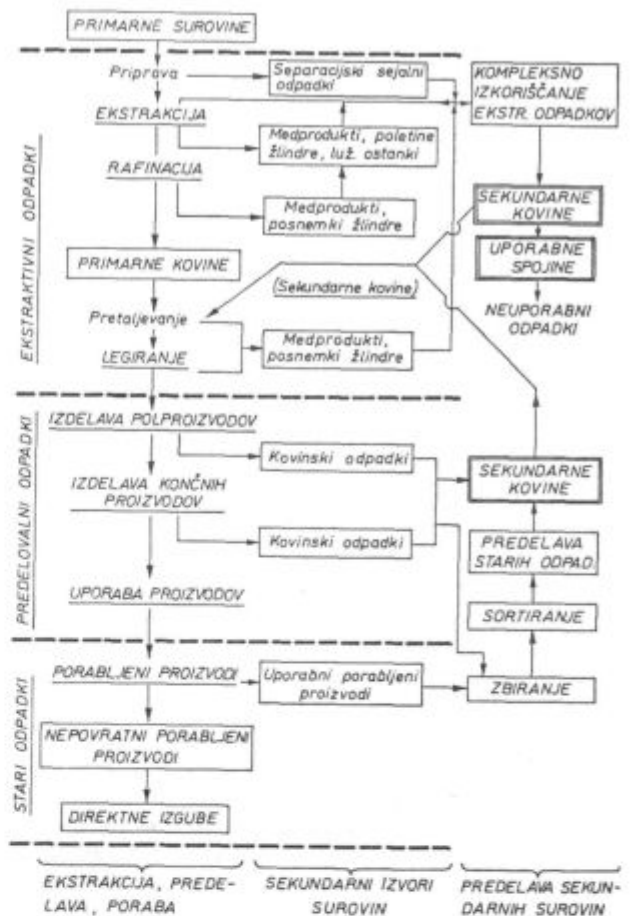
stari kovinski odpadki, v katerih je kovina tako rekoč že »amortizirana«. Količina tega je odvisna od uporabe posameznih kovin za finalno proizvodnjo, kakor tudi od strukture in vrste kovinskih izdelkov. Predelovalni odpadki nastajajo v predelovalni in finalni industriji kovin in je njihova količina tudi odvisna od stopnje te industrije in stopnje potrošnje finalnih izdelkov. Pri procesih pridobivanja iz primarnih rudninskih surovin in rafiniranja kovin nastajajo t.i. ekstraktivni odpadki, ki so največkrat predmet ostrih kritik »čuvajev« naravnega okolja. Te je večkrat potrebno zato predelovati tudi iz tega vidika. Shematični prikaz nastanka posameznih omenjenih vrst odpadnih materialov prikazuje slika 2.

Ekstraktivni odpadki (separacijski in sejalni odpadki, poletine, žlindre, medprodukti, ogorki, posnemki, lužilni ostanki itd.) so predvsem odvisni od načina in tehnološke ekonomičnosti pridobivanja kovin. Z vse večjimi izpopolnjevanji procesnih tehnologij se sicer količine in kvalitete teh odpadkov znižujejo, vendar to zmanjševanje nadomesti vse večje povečevanje proizvodnje. Vse bolj »siromašni« ekstraktivni odpadki zahtevajo vedno dražje tehnologije izkoriščanja. Bolj ostri postajajo tudi zakoni zaščite naravnega okolja, kar zahteva predelavo »za vsako ceno«. To so negativne perspektive izkoriščanja te vrste odpadkov. Vendar istočasno skoraj do skrajnosti napredujeta tehnologija in ekonomika kompleksnega izkoriščanja vseh takšnih in podobnih materialov.

Predelovalni odpadki, ki nastajajo pri izdelavi polproizvodov in končnih izdelkov (odrezki, odlivik, ostružki itd.), se ali vračajo v isti proces ali pa se priključijo procesu predelave in priprave starih odpadkov do t.i. sekundarnih kovin.

Del uporabljenih kovin, predvsem v kemijski industriji, industriji barv in pigmentov ter nekaterih drugih, je nepovraten. Cink se npr. največ uporablja za proizvode, iz katerih ga ne moremo več ponovno izkoristiti (galvanizirani izdelki, barve na osnovi cinka, korozijski premazi itd.). Kovine, uporabljene v strojni industriji, gradbeništvu, elektroindustriji in prometu pa se lahko z manjšimi izgubami stalno obnavljajo. Posebno kratek čas uporabnosti imajo kovine v strojni, predvsem avtomobilski industriji, medtem ko je v gradbeništvu doba trajanja mnogo večja (do 80 let in več — npr. betonsko železo). Svinec ima zaradi relativno kratke življenjske dobe akumulatorjev precejšnje količine sekundarnih surovinskih virov. Podobno je tudi z bakrom. Za odpadke železa računamo, da daje ena tona porabljenega jekla na leto v zelo razvitih deželah nazaj okoli 200 kilogramov odpadnega železa in tudi več, v manj razvitih pa okoli 120 kg (pri nas v zadnjih 10 letih ca 150 kg). Vsekakor so ti t.i. stari kovinski odpadki najpomembnejša sekundarna surovina.

Klasifikacija in uvrščanje odpadnih materialov po kemijskih in fizikalnih kvalitativnih lastnostih



Slika 2

Pregled nastanka in vrst sekundarnih virov kovin v toku proizvodnje, predelave in porabe

Fig. 2

Review of origin and types of secondary sources of metals during production, manufacturing, and consumption

je važno tako za formiranje cene kot za organiziran in hitrejši pristop k tehnološkim predelavam izkoriščanja. Temu posvečajo v razvitih deželah največjo pozornost; zadnja leta tudi pri nas na tem področju začenjamo aktivneje delati, čeprav v bolj skromnih oblikah.

### III. EKONOMIKA IZKORIŠČANJA SEKUNDARNIH VIROV KOVIN

Ekonomičnost tehnologije predelave je potrebno vselej aplicirati za vsak razpoložljivi odpadni material posebej, kar je tudi sicer karakteristično za vse tehnološko-ekonomske raziskave o uporabnosti odpadnih surovin. Problematična je včasih lahko ekonomika izkoriščanja odpadnih materialov iz ekstraktivne predelave surovin, ki zahteva optimalno vsebnost še vrednih kovin ali spojin v njih, optimalne razpoložljive letne količine in so tehnološke naprave za predelovanje relativno drage. Pridobivanje kovin iz odpadkov predelovalne indu-



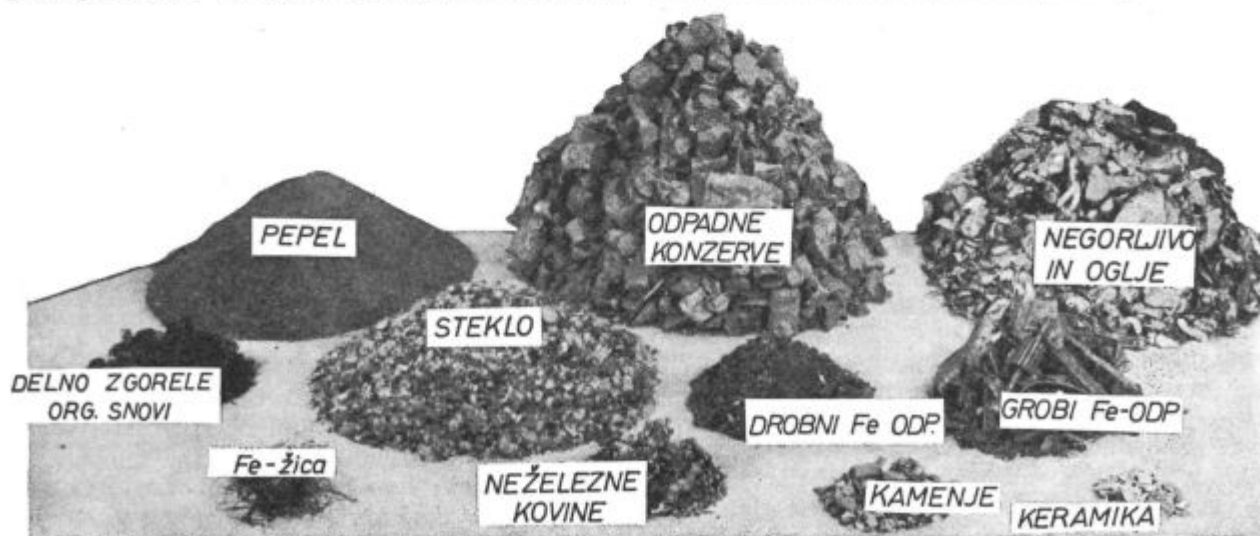
strije in starih odpadkov pa mora biti praviloma znatno ceneje od pridobivanja kovin iz primarnih surovin.

Pri ekstraktivnih odpadkih je faktor onesnaženja okolja lahko tako velik, da je z ozirom na ostre zakonske predpise kljub neekonomičnosti potrebno pristopiti k reševanju problema. V teh primerih je seveda racionalno vključiti v tehnologijo tudi vse možnosti izkoriščanja posameznih še vrednih komponent, oziroma možnosti predelave odpadkov v še uporabno obliko. Izrazito nazorni prikaz takšnega primera so moderni termični postopki predelave komunalnih odpadkov, predvsem v ZDA, Franciji in ZRN. Tako dobijo v Franciji npr. od ca. 3 milijone ton predelanih odpadkov letno (samo v 50 mestih!) ca. 700000 ton materiala (25 %), ki vsebuje še koristne kovinske, keramične, steklene in druge materiale, katere je možno ponovno izkoristiti. Razmerje med tako pridobljenimi materiali iz komunalnih odpadkov je nazorno prikazano na sliki 3.

V ekstraktivni industriji so znani primeri odstranjevanja  $SO_2$  v dimnih plinih, čeprav koncentracije niso zadostne za proizvodnjo žveplene kisline ali za druge namene. V Ameriki npr. odpadni ferosulfat v puščavskih pokrajinah (Arizona, Čile v Južni Ameriki) predvsem zaradi velikih stroškov še ne izkoriščajo, sicer pa bo v kratkem tudi v teh predelih to strogo prepovedano. Velike količine lužilnih ostankov pri hidrometalurških postopkih pridobivanja kovin so do nedavna tudi v ZRN in v Italiji spuščali v morje, kar je v zadnjih letih že prepovedano. Čeprav je postopek predelave že znan in je tudi rentabilen (pridobivati je možno poleg železa in nekaterih težkih neželeznih kovin še vrsto redkih in plemenitih kovin!) so morali še pred pričetkom predelave urediti zbirne bazene,

obložene s posebno vrsto pločevine, katere cena za kvadratni meter je znašala takrat ca. 25 DM. Uspešno so rešene tudi raziskave izkoriščanja žlindre proizvodnje bakra z ustreznimi mokrimi postopki. Iz poletin in ogorkov ekstraktivne predelave neželeznih kovin je že možno uspešno pridobivati vrsto še minimalno prisotnih plemenitih kovin, s čimer se poveča rentabilnost tudi osnovnim tehnološkim postopkom. Zlindre iz topilnic bakra so vse bolj pomembni surovinski vir železa in tudi germanija, telurja, vanadija, galija, molibdena itd. Tudi piriti so že nekaj let surovine za žvepleno kislino in železo, rentabilnost predelave pa povečuje možnosti vzporednega pridobivanja bakra, cinka, srebra in zlata ter še nekaterih uporabnih spojin. Poletine iz jeklarn vsebujejo poleg železa še relativno precejšnje količine cinka in svinca. Ena izmed zadnjih študij ameriškega Bureau of Mines ponovno potrjuje možnost pridobivanja neželeznih kovin iz njih, kakor tudi predreduciranih železovih peletov. Našteti je samo nekaj možnosti izkoriščanja masovnejših ekstraktivnih odpadkov, obstaja pa še množica količinsko manj pomembnejših materialov, ki pa vsak za sebe pomeni najoptimalnejšo tehnološko-ekonomsko rešitev.

Poraba starega odpadnega železa v železarskih obratih je predvsem odvisna od vrste topilniških agregatov. Tako porabi LD proces 200—300 kg/t jekla, elektro proces 950—1100 kg/t, SM proces 550—700 kg/t in Thomas postopek 50—100 kg/t jekla. Nerazvite dežele, ki imajo temu ustrezno manjše količine odpadnega železa, so prisiljene ali uvajati agregate z manjšo porabo starega železa ali ga uvažati. Jasno pa je dejstvo, da so kakorkoli pridobljeni železovi odpadki za vsako deželo neprecenljivo koristna sekundarna surovina za proizvodnjo jekla, in to predvsem zaradi številnih tehnično-ekonomskih prednosti, kot npr.:



Slika 3

Razmerje med preostalimi še koristnimi materiali po termični predelavi komunalnih odpadkov

Fractions of usable raw materials after thermal treatment of urban refuse.

Fig. 3

— uporaba odpadkov železa pri proizvodnji jekla zahteva le ca. 17—20 % stroškov v primerjavi proizvodnje jekla iz surovega železa, oziroma rude;

— uporaba odpadkov železa pri proizvodnji jekla zahteva manjše investicije, ker se surovina predeluje direktno v jeklarskih obratih brez primarne predelave v visokih pečeh;

— z uporabo odpadkov železa je možno povečati produktivnost dela v proizvodnji jekla (tako je npr. za proizvodnjo ene tone surovega železa, ki ga vlagamo v jeklarske agregate, potrebno približno 80 ur dela, za tono zbiranja in priprave odpadkov železa pa samo 5—10 ur; ali namesto ene tone železnih odpadkov bi bilo potrebno v topilnici predelati 3—4 tone osnovnih surovin);

— dobro pripravljeni odpadki železa skrajšujejo cikel proizvodnje jekla, povečujejo produktivnost peči in zmanjšujejo izdatke za osebne dohodke;

— uporaba odpadkov železa prispeva končno tudi k varčevanju primarnih surovin.

V splošnem veljajo omenjene osnovne prednosti uporabe odpadkov železa pri uporabi vseh drugih kovinskih odpadkov. Tako so npr. stroški predelave sekundarnih surovin bakra in svinca v povprečju za 2 do 3 krat nižji in stroški predelave sekundarnega aluminija celo 7 krat nižji v odnosu na stroške predelave omenjenih kovin iz primarnih surovin. Poraba električne energije za proizvodnjo ene tone sekundarnega aluminija je več desekrat manjša kot pri proizvodnji aluminija iz primarnih surovin. Poraba goriva pri pridobivanju bakra iz sekundarnih surovin je trikrat manjša kot pri proizvodnji iz primarnih surovin. Za proizvodnjo ene tone aluminija iz sekundarnih surovin je potrebno ca. 1400 kg izhodnih materialov, za proizvodnjo ene tone primarnega aluminija pa ca. 7200 kg. Investicijska vlaganja v naprave za sekundarno predelavo neželeznih kovin so na enoto pridobljenih kovin za 5 do 8 krat nižje od vlaganj v naprave za primarno proizvodnjo.

Vsa ta dejstva o nesporno ugodni rentabilnosti predelave starih kovinskih odpadkov so vzrok velikemu razvoju tehnologije priprave in predelave. Posebno se posvečajo problemu kompleksnega izkoriščanja v izdelkih, ki so izdelani iz več vrst kovin. V ZDA se nahaja letno v komunalnih smeteh okoli 12 milijonov ton starega železa, predvsem v obliki konzerv. Rešen je problem odstranjevanja kositrnih prevlek iz njih s primarno oksidacijo in drobljenjem ali pa z oksidacijo v tekoči raztopini in nadaljnjem procesu jedkanja, s čimer se zniža kositer na vrednost pod 0,1 %. Znani so tudi postopki za znižanje bakra na enake vrednosti. Precejšnje težave so z ločitvijo aluminijastih pokrovov iz sicer jeklenih konzervnih posod, zato priporočajo proizvajalcem, da izdelujejo te posode samo iz ene vrste kovin. Veliki naporji so potrebni pri izkoriščanju vseh sestavnih komponent v starih avtomobilih, ki so konglomerat jekla, železa, litine, bakra, bron, aluminija, nerjavnega jekla, kroma, cinka, svinca,

kakor tudi stekla, gume, plastike, tekstila in drugih materialov. V razvitih deželah so že vidne tendence, oziroma obstajajo celo zakonski predlogi in predpisi, ki narekujejo proizvajalcem (konkretno v Angliji avtomobilski industriji) že pri izdelovanju misliti na možnosti kasnejše regeneracije vseh sestavnih komponent. V ZDA se vse bolj utrjuje mnenje, da sama avtomobilska industrija prevzame skrb za izkoriščanje kovin in še drugih uporabnih snovi iz starih avtomobilov.

#### IV. ZBIranJE SEKUNDARNIH VIROV KOVIN

Osnovne komponente v ciklusu zbiranja, priprave in predelave sekundarnih virov surovin so:

— navada, zavest in prepričanje prebivalstva o prednostih zbiranja koristnih odpadkov in preprečevanja njihovega nadaljnjega propadanja;

— smotrno in pravilno sortiranje odpadkov — predvsem pri izvorih nastanka — kar omogoča večje in racionalnejše izkoriščanje;

— pripravljenost tehnologov, da se aktivno angažirajo v klasificiranje in pripravo odpadkov ter da, kjer se le da primarne surovine zamenjujejo s sekundarnimi;

— pripravljenost družbe, da z institucionalnimi posegi pozitivno vpliva na poslovanje s sekundarnimi surovinami.

Dejstvo je, da sta kvaliteta in kvantiteta omenjenih komponent, ki vplivajo na stopnjo uporabe sekundarnih surovin, izključno odvisni od stopnje industrijskega in družbenega razvoja dežele. V visoko razvitih deželah je zbiranje, predelava in uporaba sekundarnih surovin ne samo domena trgovcev, temveč tudi domena tehnologov — raziskovalcev, kakor tudi družbenih institucij. Aktivnost enih samih od omenjenih, kakor tudi samo dveh, danes ni več zadostna za maksimalno intenziviranje sekundarne proizvodnje.

Problematiko zbiranja in uporabe ekstraktivnih odpadkov, ki pretežno nastajajo in se nabirajo ob industrijskih obratih, morajo reševati predvsem tehnologji. Trgovska mreža je pri tem skoraj nepomembna. Tudi za predelovalne odpadke so v največji meri odgovorni tehnologji, vendar zanje tudi kažejo močan interes trgovci, ki pa pri tem iščejo predvsem svoj lastni dobiček. Stari odpadki, oziroma izrabljeni kovinski izdelki pa zahtevajo pri akcijah za čim večjo ponovno uporabnost zelo široko aktivnost.

Kakor v drugih razvitejših deželah je bil tudi pri nas potreben višji nivo gospodarske razvitosti, da so tako prebivalci sami kot posamezni proizvajalni procesi zavrgli dovolj starih izrabljenih stvari in materiala, zadostnega za razvijanje stalne dejavnosti zbiranja, predelave in ponovne uporabe. Razpoložljivi statistični podatki kažejo, da je gospodarstvo Jugoslavije prekoračilo ta spodnji nivo, nad katerim se začena razvoj ekonomike in tehnologije izkoriščanja starih odpadkov. Od leta

1969 do 1973 je promet odpadkov v trgovini na veliko raste hitreje od celotnega prometa trgovine. Od leta 1966 do 1970 je poraba starega materiala v industriji naraščala hitreje od družbenega proizvoda, vendar z enako stopnjo rasti kot tudi ostali materialni stroški. Po teh podatkih je to področje pri nas v precejšnji ekspanziji.

Takšen idealni statistični prikaz razvoja sekundarne proizvodnje pri nas pa precej degradira detajlniji vpogled v realno stanje. Predvsem smo, v odnosu na razvojno stopnjo industrije, pozno začeli z organiziranjem pristopa k problemu sekundarnih surovin. Od tod tudi omenjena relativno velika rast porabe starih materialov v zadnjih letih v primerjavi s rastjo družbenega proizvoda. V SFRJ so bile že pred leti formirane delovne organizacije za odkup in promet odpadkov, ki pa so bile takrat bolj stranskega in začasnega pomena za gospodarstvo. Zaradi takšnega pojmovanja so te životarile iz dneva v dan, delale v začasnih in neurejenih prostorih, praktično brez potrebnih osnovnih sredstev. Predvsem so se formirale v industrijskih predelih, kjer odpadkov ni bilo težko zbirati. Takšna želja po lahkem zaslužkih je rodila veliko število majhnih organizacij za promet z odpadki. Še danes jih je v SFRJ 71, kar je odločno preveč z ozirom na potrebe po dobri organizaciji, dobri tehnologiji in prepotrebni sodobni opremljenosti priprav in predelave. V Sloveniji imamo dve delovni organizaciji s 65 odkupnimi mesti, torej 32 odkupnih mest na eno organizacijo. V ostalih republikah je 69 delovnih organizacij s 409 odkupnimi mesti, ali samo ca. 6 na eno organizacijo! Ker smo v Sloveniji pravzaprav šele sredi poti k normalizaciji poslovanja s sekundarnimi viri surovin, je v merilu SFRJ situacija izredno neugodna.

Zahteva po sodobni tehnični opremljenosti delovnih organizacij z odpadki, po možnostih točnega in preciznega analiziranja odpadkov ter ustreznega uvrščanja in klasificiranja je tudi pri nas že tako vprijoča, da bomo morali čimprej pristopiti k združevanju sredstev v manjše število delovnih enot. Pred 25 leti je imel npr. ocenjevalec odpadkov neželeznih kovin opravka z večkrat manjšim številom vrst zlitin, ki jih je lahko razporedil tudi po zunanjih značilnostih (barva, trdota, specifična teža, itd.). Danes je v razvitih deželah v rabi več tisoč vrst zlitin in se zato pri razvrščanju vse več uporablja spektralna analiza in druge modernejše analitske metode. Ker tudi te že več ne zadoščajo, se postavlja zahteva po markiranju odpadnih surovin z določenimi šiframi, ki bi detajlneje nakazovale vrste materiala, iz katerega so bili izdelki narejeni. Vse to zahteva enoten in organiziran nastop ne samo »pri zbiralcih«, temveč tudi pri »proizvajalcih« sekundarnih surovin.

Enaka je problematika tudi pri razvrščanju raznih vrst jekel in drugih zlitin na osnovi železa. Pri teh starih odpadkih je še poseben problem odstranjevanje, oziroma ločenje vključkov nekaterih drugih kovin, ki jih odvrženi predmeti vsebu-

jejo. Poleg potrebnih kvalitativnih klasifikacij so pri odpadkih železa precejšnje zahteve tudi po fizikalni pripravi odpadkov. Pri tem je potrebno rezanje, razvrščanje po debelini, paketiranje s ciljem dobiti čim večjo težo na enoto volumna ( $2,2-3,5 \text{ t/m}^3$ ), tehnološko zahtevno separiranje mešanih ostružkov itd. Za to so potrebne relativno zahtevne strojne naprave, ki jih majhne in razdrobljene delovne organizacije vsekakor ne morejo nabaviti.

Z ozirom na tehnološke zahteve razpoložljivih jeklarskih agregatov v SFRJ smo prisiljeni določeno količino starega železa uvažati. V letu 1965 je bilo razmerje med uporabljenimi lastnimi odpadki, zbranimi v SFRJ, in uvoženimi 57:29:14; v letu 1971 je bilo to razmerje 52:22:26, kar pomeni za to leto 289.220 ton uvožene količine odpadnega železa (v letu 1972 je bilo v SFRJ uvoženo 312.000 ton ali 29 % od skupno porabljenih odpadkov železa). Nekatero uvožene količine drugih kovinskih odpadnih materialov so razvidne iz prikazanega tabelarnega pregleda. Vsekakor je za naše gospodarstvo ugodno, če uvozimo — seveda z dobrimi finančnimi pogoji — čimveč odpadnih materialov. Zato je tudi uvoz neželeznih odpadnih materialov pod »svobodnim režimom LB«. Vendar pri tem ni ekonomskega opravičila za še vedno veljavne maksimalne uvozne takse (10 %) za uvoz odpadkov, medtem ko so za primarne kovine takse nižje (taksa za uvoz primarnega bakra je npr. 4 %, efektivna uvozna taksa za bakrove odpadke in odpadke njegovih zlitin pa znaša 10 %!). S tem je včasih onemogočen, seveda v okviru položaja na svetovnem tržišču, uvoz primarnih kovin substituirati z uvozom ustreznih odpadkov.

*Pregled uvoza in izvoza nekaterih kovinskih odpadnih materialov za SFRJ (»Statistika spoljne trgovine SFRJ« za navedena leta\*)*

(v tonah)	1964		1969		1974	
	Uvoz	Izvoz	Uvoz	Izvoz	Uvoz	Izvoz
Mineralni pepeli	—	—	851	3.320	—	1.826
Zlindre, pepeli	—	—	—	—	8.150	2.996
Stara litina	120.475	219	78.150	1.219	427.296	398
Stari deli stroja	—	—	—	441	—	684
Odp. bele pločevine	—	7.495	—	10.712	—	13.900
Odp. ostružki železa	—	67	20	2.260	485	9.246
Zlindre nežel. kovin	—	—	31	7.851	606	7.002
Pepeli nežel. kovin	—	—	—	—	—	1.227
Odpadki bakra	3.140	169	1.882	146	57	44
Odpadki medenine	—	89	35	196	—	11
Odpadki brona	—	74	—	287	—	15
Odpadki niklja	—	—	167	47	—	270
Odpadki aluminija	—	1.663	22	5.049	40	4.936
Odpadki svinca	2.229	3	467	—	2.088	—
Odp. in oksidi cinka	—	—	—	—	—	32
Odpadki kositra	—	—	—	18	—	—

\* Podatki se večinoma ne skladajo, tako po številkah kot po nomenklaturi, s podatki, ki jih dajejo razna poslovna združenja ali druge organiza-

cije. (Ta karakteristični pojav za našo deželo bo v prvi vrsti treba urediti, če hočemo enotno pristopiti k večjim in težjim problemom sekundarne proizvodnje!)

V tabelarnem pregledu so navedeni tudi podatki o izvoznih količinah nekaterih odpadnih kovinskih surovin. Pri tem lahko ugotavljamo, da izvažamo precejšnje količine dragocenih odpadkov zaradi nezadostne tehnološke opremljenosti obratov za predelavo. Tako gre regularno v izvoz večji del aluminijevih ostružkov in žlinder, aluminijaska embalaža, dragoceni odpadki bele pločevine, pocinkana pločevina, železni ostružki, odpadna emajlirana pločevina itd. Po drugi strani pa npr. tudi ni interesa za uporabo starih legiranih jekel, ker je lažje delati takšna jekla znova, saj so pogoji uvoza zlitinskih elementov večkrat precej enostavni.

V želji, da čimbolj angažira vse merodajne družbene faktorje v proces razvoja uporabe sekundarnih surovin, je zvezni izvršni svet na začetku letošnjega leta predlagal vrsto odločitev, kot npr.:

— da priporoča zvezni gospodarski zbornici, da s pomočjo socialistične zveze, sindikata, stalne konference mest in mladinske organizacije začne v okviru vsesplošnega varčevanja široko akcijo zbiranja vseh vrst odpadkov;

— da jugoslovanski zavod za standardizacijo ob primerjavi z evropskimi in ameriškimi normami pospeši delo pri izdelavi standardov in klasiifikacij, kakor tudi potrošnih normativov za predelavo odpadkov;

— da zvezni sekretariat za zunanjo trgovino revidira režim uvoza in izvoza sekundarnih surovin s tem, da ukine premije za izvoz in poveča carinsko stopnjo za uvoz tistih odpadkov in sekundarnih surovin, ki pri nas niso deficitarne;

— da zvezni sekretariat za finance zniža carinsko stopnjo na uvoz opreme za predelavo odpadkov, ki se ne izdeluje pri nas, da revidira davčno stopnjo pri prometu z odpadki in da ukine davek na promet individualnih zbiralcev odpadkov;

— da predlaga republikam in pokrajinam preureditev predpisov tako, da delovnim organizacijam, ki se bavijo s sekundarnimi surovinami, ne bi bilo potrebno polagati 30 % depozita na vrednost investicijskih vlaganj za izgradnjo skladišč, modernizacijo opreme za predelavo, razvrščanje in kvalificiranje odpadnih surovin itd.;

— da priporoči republiškimi in avtonomnim izvršnim svetom, da pri skrajnih občin dosežejo posebne olajšave pri odobravanju lokacij delovnim organizacijam z odpadnimi surovinami, ki bi z novimi prostori lahko povečale obseg poslovanja.

Ce bodo ti deklarativni ukrepi institucionalnih družbenih organizacij tudi realizirani, potem bo glavno breme razvoja sekundarne proizvodnje kovin ostalo na tehnologih, da izkoriščanje sekundarnih virov razvijajo do skrajnih ekonomskih možnosti.

## V. SEKUNDARNI VIRI KOVIN V SR SLOVENIJI IN USTREZNI PROJEKT RAZISKOVALNIH DEL

Eden od zelo vplivnih kriterijev za realno sliko o gospodarnosti in konkurentne zmožnosti neke dežele je v uporabi domačih regionalnih surovin. To predvsem, če surovine v osnovni tehnologiji predstavljajo velik delež materialnih stroškov, kot je to primer v metalurški industriji. Če izhajamo iz dejstva, da so stroški osnovnih surovin npr. za proizvodnjo grodlja, tj. premog, koks, ruda, pri nas okrog 50—60 % stroškov skupnega vložka in da Slovenija nima svoje naravne surovinske baze, je skrb za čimpopolnejše izkoriščanje vseh vrst regionalnih osnovnih dobrin še toliko bolj upravičena. Pomanjkanje koksa za visoke peči in starega odpadnega železa za elektrojeklarske postopke (slovenska proizvodnja jekla temelji 54 % na elektrojeklarskih postopkih s tendenco razvoja na 100 % proizvodnjo elektrojekla) je že postavilo nujnost raziskovati nova pota, da bi bili v osnovni tehnologiji in proizvodnji grodlja ter jekla čimbolj neodvisni. Iz srednjeročnega programa razvoja slovenske metalurgije sledi, da potrebujemo v letu 1975 za proizvodnjo grodlja 365.000 ton železove rude, oziroma da znaša delež uvozne količine Fe substance okoli 65.000 ton letno. V letu 1980 bo znašal ta primanjkljaj že 73.000 ton. Za okrog 800.000 ton jekla letno potrebujemo v letu 1975 skupno 556.000 ton starega železa, od tega 283.000 ton iz uvoza. V letu 1980 bo potreba iz uvoza že 318.000 ton. Skupni primanjkljaj Fe substance v letu 1975 znaša torej okrog 348.000 ton, v letu 1980 pa okrog 391.000 ton. Slovenska metalurgija neželeznih kovin je razen pri proizvodnji živega srebra in delno svinca v celoti deficitarna s primarnimi rudnimi surovinami. Razen s svincom in aluminijem smo v Sloveniji tudi v predelovalni industriji z bakrom in cinkom v absolutnem deficitu, kakor tudi z drugimi količinsko manj uporabnimi kovinami. Pri tem pa smo na področju predelave cinka v okviru SFRJ zaenkrat še daleč na prvem mestu in je v planu modernizacija in ca. 50 % povečanje predelovalnih kapacitet. Razvojni program metalurgije SR Slovenije predvideva do 1985. leta tudi približno enkratno povečanje kovinskih izdelkov na osnovi zlitin bakra, cinka in aluminija, kakor tudi enkratno povečanje aluminijevih polizdelkov. S tega vidika je potrebno tudi na področju neželeznih kovin do skrajnosti optimizirati tehnologije predelav ter komercialnim akcijam pridobivanja sekundarnih kovinskih surovin pritegniti še raziskovalno-tehnološke akcije. Slovenske livarne bodo v letošnjem letu porabile ca. 120.000 ton livarskih peskov; od slovenskih proizvajalcev peskov bodo lahko dobile le 60 % te količine, kar pomeni, da smo v Sloveniji za ca. 50.000 ton livarskih peskov v deficitu.

Posamezne metalurške delovne organizacije so skupno z metalurškim inštitutom in tudi same že

več let aktivno raziskovale možnosti izkoriščanja odpadnih materialov. Tako v topilnici svinca v Mežici konstantno delajo na optimizaciji predelave številnih vrst sekundarnih svinčevih virov, tako nesortiranih in sortiranih akumulatorskih odpadkov, kovinskih odpadkov in pepelov, ki jih v skupni količini letno predelajo 11.000 ton. Eksperimentalno laboratorijsko in polindustrijsko je rešen problem optimizacije predelave svinčevih poletin. Za tovarno dušika Ruše je zelo pozitivno rešeno briketiranje odpadnega kremenčevega peska za proizvodnjo FeSi 75. Mariborska livarna ima precej dobro organizirano tehnologijo predelave kovinskih odpadkov; letno predelajo ca. 2.000 ton Al odpadkov, ca. 200 ton Zn odpadkov in ca. 8000 ton Cu odpadkov. V teku je tudi študija možnosti izdelave zlitine AlSi8Cu3 izključno iz sekundarnega aluminija. Uspešno je v laboratorijih in polindustrijskih napravah rešena možnost regeneracije kriolita iz odpadnih kriolitnih pen iz TGA Kidričevo, s čemer je z izredno majhnimi predelovalnimi stroški možno pridobiti relativno velike vrednosti. Več let potekajo laboratorijske in industrijske raziskave o možnostih izkoriščanja piritnih ogorkov v železarnah, cementarnah in visoki peči za svinec. Žlindro jeseniške visoke peči uspešno uporabljajo cementarne in delovne organizacije izolacijskih materialov; raziskujejo možnost uporabe žlindre SM peči v gradbeništvu. V teku so raziskave o uporabnosti žlinder jeseniških elektropeči pri proizvodnji umetnih gnojil, kakor tudi odpadnega ferosulfata z Jesenic in iz nove proizvodnje titanovega belila v Celju. Za slednjega potekajo raziskave o možnostih vključitve v tehnologijo priprave piritnih ogorkov za potrebe železarske industrije. Izdelane so tudi raziskave o možnostih izkoriščanja živega srebra iz odpadnih prazilnih plinov v Idriji.

Gotovo je, da v teh kratkih obrisih niso navedena vsa raziskovalna in praktično aplikativna dela, ki so bila izvajana v posameznih metalurških delovnih organizacijah, metalurškem inštitutu ali drugih institucijah. Značilno za dosedanje delo na področju izkoriščanja sekundarnih surovin je parcialnost raziskav, oziroma da so raziskave izvajane preveč z vidika ožjega interesa posamezne delovne organizacije, bodisi »proizvajalca« ali uporabnika odpadkov. Med več t. i. »proizvajalci« odpadkov ali med več uporabniki pa ni bilo oziroma ni povezave s ciljem enotnega pristopa k reševanju problematike. Metalurški inštitut je v začetku letošnjega leta dal zato iniciativo za izdelavo kompleksnega raziskovalnega projekta, ki naj bi celovito zajel problematiko sekundarnih surovin v metalurških delovnih organizacijah v SR Sloveniji, predvsem pa koordinacijo tako med raziskavami sorodnih materialov kot možnimi uporabniki na področju metalurške in druge industrije. Vse metalurške ter tudi livarske delovne organizacije v Sloveniji in FNT — odsek za metalurgijo so iniciativo upoštevali in postali aktivni člani predlaganega raziskovalnega projekta.

Brez podpore vseh zainteresiranih ne bi mogli tako široko zajeti problematike sekundarnih surovin in je tudi ne bi mogli v bodoče enotno in koordinirano reševati. Projekt nosi naslov: »Kompleksna ekstrakcija kovinske substance iz sekundarnih surovin za potrebe črne in barvne metalurgije ter livarstva v SR Sloveniji«. Svet republiškega projekta »Sekundarne surovine«, katerega član je tudi nosilec predlaganega projekta, je v celoti upošteval iniciativo metalurškega inštituta za raziskave na področju metalurške industrije.

Pri izdelavi projekta smo samo ob preliminarnem pregledu količin razpoložljivih odpadnih materialov v slovenski metalurški industriji dobili presenetljive rezultate. Na starih odlagališčih leži ca. 2,8 milijona ton odpadnih materialov, predvsem z znatnimi vsebnostmi železa, kakor tudi bakra, cinka, aluminija, svinca. Podatki o vsebnosti drugih kovin še niso na razpolago. Letno »proizvaja« slovenska metalurška industrija skupno ca. 1,14 milijona ton raznih odpadkov, in to ca. 300.000 ton odpadkov s potencialno možnostjo izkoriščanja še vsebujočega železa, bakra, cinka, svinca, aluminija in drugih kovin, ca. 1500 ton ogljikovih odpadnih materialov, ca. 75.000 ton materialov, ki jih je možno regenerirati v ustrezne livarske peske, ca. 740.000 ton odpadnih materialov, verjetno še uporabnih v gradbeništvu in kemijski industriji, ter ca. 25.000 ton odpadkov iz proizvodnje ferolegur. Ob podrobnejši kvantitativni in kvalitativni analizi bi bile te ocenjene količine lahko samo še večje.

Projekt obsega 46 posameznih raziskovalnih tem, v katerih so obsežene vse zgoraj omenjene količine odpadnih materialov. Predvsem je pomembnih več raziskovalnih tem, ki obravnavajo izkoriščanje Fe substance iz regionalnih razpoložljivih odpadnih materialov, ki vsebujejo železo. V 72.000 ton letne količine piritnih ogorkov in ogorkov praženega ferosulfata ter v letni količini ca. 100.000 ton rdečega blata imamo letno okrog 75.000 ton Fe substance, pri čemer niso upoštevani materiali s starih odlagališč. Z določenimi tehnološkimi posegi in raziskavami s polindustrijskim in industrijskim vrednotenjem bi mogli s to količino Fe substance delno zmanjšati že obravnavano deficitarnost surovin slovenskih železarn. Usmeritev proizvodnega asortimana slovenske osnovne črne metalurgije v visokokvalitetna in plemenita jekla je nujno vezana na kvaliteten vložek starega železa. Temu ustrezno so predvidene raziskave (ki delno že potekajo) popolnega čiščenja, predreduciranja in metaliziranja peletov iz omenjenih odpadnih železo vsebujočih materialov. Več raziskovalnih tem obravnava predelavo cinkovih odpadnih materialov, tako nabavljenih kot raznih ciklonskih in filtrskih pepelov ustreznih kvalitet iz več delovnih organizacij s ciljem ponovne vpeljave proizvodnje kovinskega cinka. V temah so obsežene razne aluminjske žlindre in posnemki, odpadki iz proizvodnje ferolegur ta-

ko za proučitev možnosti uporabe v gradbeništvu kot za možnost pridobivanja še nekaterih kovinskih spojin, študije o optimizaciji predelave vseh kovinskih starih odpadkov itd. V gradbene name-ne bi bilo možno uporabiti velike količine t. i. žganih ostankov pri praženju dolomitnih živosrebrnih rud. Vsekakor so v projektu zelo široko in precej natančno zajeti vsi sekundarni viri kovin, niso pa zajete študije o mehanskih postopkih poboljšanja fizikalnih kvalitet starih kovinskih odpadkov. To tudi pomembno področje bo potrebno v obravnavani raziskovalni projekt še dodati.

#### IV. ZAKLJUČEK

Iz vseh obširno obdelanih poglavij lahko zaključimo, da smo pri nas relativno pozno doje-li pomembnost zbiranja, klasificiranja in izkorišča-nja odpadnih materialov — potencialnega sekun-darnega vira surovin. Ustrezno temu je pri nas zato še vedno nerazumljiv nered tako pri stati-stično-organizacijskih akcijah kvantitativnega oc-njevanja sekundarnih virov surovin kakor pri akcijah koordiniranja enotnih pristopov k tehno-loško-ekonomskim reševanjem izkoriščanja teh virov. Gospodarnost izkoriščanja surovin in nezadržno napredovanje onesnaževanja okolja bosta slej ko prej morala tudi pri nas postati neogibno vodilo sekundarne proizvodnje industrijskih in splošnih dobrin.

#### Literatura

1. Economic Commission for Europe, Problems relating to iron and steel scrap, New York, 1971

2. De Cuyper, Valorization des résidus de l'industrie métallurgique, Industrie Mineral, jul., 1972
3. Melin, Physikalische Aufbereitungsverfahren für sekundäre Rohstoffe, Erzmetall, 6, 1972
4. Abfall-Wiedergewinnung und -Nutzung, Aufbereitungs-technik, 5, 1974
5. Brown, Block, Copper removal from steel scrap by thermal treatment, B. of Mines, RI 7218, 1968
6. Fukubayashi, Higley, Recovery of zinc and lead from brass smelter dust, B. of Mines, RI 7880, 1974
7. Montagna, Ruppert, Refining zinc-base die-cast scrap using low-cost fluxes, B. of Mines, RI 7315, 1969
8. Dressel, Barnard, Removal of lead and zinc and the production of prerduced pellets from iron and steel-making wastes, B. of Mines, RI 7927, 1974
9. Akerlow, Economical uses of steel plant wastes, I. and Steel Eng., feb., 1975
10. Barnard, Starliper, Recycling of steelmaking dusts, B. of Mines solid waste program, TPR 52, feb., 1972
11. Merkel, Gülland, Zu einigen, Entstaubungsproblemen in der Stahlindustrie, Neue Hütte, 5, 1972
12. Meyer, Wetzel, Erfahrungen mit der Direktreduktion bei Krupp, Technische Mitteilungen Krupp, 1, 1972
13. Guccione, Red mud, a solid waste, can now be converted to high-quality steel, Eng. and Min. J., sept., 1971
14. Utkov, Upročnenie aglomerata krasnim šlamom, Stal, 5, 1974
15. Fursman, Mauser, Utilisation of red mud residues from alumina production, B. of Mines, RI 1745, 1970
16. Jovanović, Koriščenje metalnih odpadaka u industriji obojenih metala, Rud. i met., 3, 1971
17. Razna poročila UJZ
18. Zbornik referatov seminarja »Tehnologija iskoriščavanja i manipulacije otpacima u svetu i u nas«, Beograd, april 1975
19. Projekt »Kompleksna ekstrakcija kovinske substance iz odpadnih in sekundarnih surovin za potrebe črne in barvaste metalurije ter livarstva v SR Sloveniji«, Metalurški inštitut 1975, Ljubljana
20. Poročila Metalurškega inštituta, št. 69, 96, 244, 251, 321, 323, 901, 906.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel wird die Wichtigkeit der Ausbeutung der sekundären Metallrohstoffe behandelt, sowohl vom ökonomischen Standpunkt, wie auch vom Standpunkt der Umweltverschmutzung. Die Übersicht über die Empfehlung und die Art der Sekundärquellen im Verlauf der Erzeugung der Verarbeitung und der Verwendung der Metalle gibt einen Einblick in die Grundklassifikation der Abfälle.

Im Vergleich mit den entwickelten Ländern haben wir relativ spät mit der entsprechenden Propaganda und der Organisation eines einheitlichen Zutrittes zu der Lösung der Problematik der sekundärrohstoffe angefangen. Nur in Slovenien liegt auf den Halden der Hüttenindustrie rund 2.8 Mill. Tonn verschiedener Abfallmaterialien mit erheblichen Gehalten an Eisen und anderer Metalle. Jährlich erzeugt die slowenische Hüttenindustrie 1.14 Mill. Tonn verschiedener Abfälle davon rund 300.000 Tonn Ab-

fälle mit einem Metallgehalt, dass potentiell ausgebeutet werden kann, rund 1.500 Tonn verschiedener Kohlenstoff-abfälle, rund 75.000 Tonn Abfälle welche zum Giessand verarbeitet werden können, rund 740.000 Tonn Abfälle, welche in der Bauindustrie Anwendung finden können und rund 25.000 Tonn Abfälle von der Erzeugung der Ferrolegierungen. Nur die Eisenenthaltenden Abfälle könnten der slowenischen Eisenhüttenindustrie rund 75.000 Tonn Eisen-substanz liefern.

Diesem Stand in Slowenien entsprechend hat das Metallurische Institut in Ljubljana zusammen mit der slowenischen Hütten und Giessereiindustrie einen komplexen Forschungsprojekt ausgearbeitet auf dessen Grund in den nächsten Jahren systematische und koordinierte Forschungen für die optimalmögliche Ausbeutung der entstehenden Abfälle verlaufen werden.

#### SUMMARY

Importance of exploitation of secondary raw materials for national economy and prevention of pollution is treated in the paper. Review of origin and types of secondary sources during production, working, and consumption of metals gives an insight into basic classification of scrap.

Compared with the more developed countries the necessary stimulation and organized coordinated solving of exploitation of secondary raw material in Yugoslavia was initiated relatively late. Only in Slovenia on dumping-places of metallurgical companies there lie about 2.8 million ton

of various scrap with considerable content of iron and other non-ferrous metals. Slovene metallurgical industry «produces» yearly about 1.14 million ton of various scrap. About 300.000 ton of scrap has potential possibility for recovery of metals; the rest of scrap is distributed into: 1.500 ton of various carbon scrap, 75.000 ton of scrap applicable as the foundry sand, about 740.000 ton of scrap which can be applied in building industry, and about

25.000 ton of scrap from ferro-alloy production. Only ferrous scrap could give about 75.000 t Fe substance Slovene ironworks.

According to such conditions in Slovenia, Metallurgical Institute together with metallurgical and foundry industry elaborated a complex research project which will represent the basis for future systematic and coordinated investigations for optimal possibilities of exploitation of the scrap.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено значение использования вторичного сырья при производстве металлов с точки зрения экономики а также и борьбы против загрязнения окружающей среды. Обзор образования и сорт вторичных источников во время производства, переработки и расхода металлов даёт представление на основную классификацию отходов. В сравнении с более развитыми странами, С. Ф. Р. Югославия сравнительно поздно приступила с ответствующей пропагандой и организации к унифицированному решению вопроса вторичного сырья. Только в Словении лежит на отвалах металлургических предприятий прибл. 2,8 милл. т. разных отходов большим содержанием железа и прочих цветных металлов. Годовое «производство» словенской металлургической промышленности составляет 1,14 милл. т. разных отходов, что представляет; прибл. 300.000 т. от-

бросов с потенциальной возможностью использования содержащих в них металлов; прибл. 1.500 т. отходов с содержанием углерода; прибл. 75.000 т. отходов которые бы можно было употребить для формовочных песков, прибл. 740.000 т. отходов для употребления в строительстве и, наконец, прибл. 25.000 т. отходов от производства ферросплавов. Только отходы которые содержат железо могли бы дать словенским металлургическим заводам прибл. 75.000 т. железа. Соответственно такому состоянию в Словении, Металлургический институт в Любляне, вместе с металлургической и литейной промышленностью приготовил комплексный проект исследования на основании которого в течении последующих нескольких лет будут систематически и координационно исполняться исследования для наиболее оптимальной возможности использования этих отходов.

# Laboratorijske študije možnosti briketiranja samohodnega vložka za proizvodnjo FeSi 75

UDK: 669.15-198:669.782  
ASM/SLA: B16d, ADR30

Janez Wohinz

*Neizkoriščeno odpadno vrsto kremenovega peska velikosti 5 do 15 mm želimo uporabiti kot glavno sestavino izdelanih samohodnih briketov. Opisan je samo način briketiranja samohodnega vložka, kjer vsebujejo briketi poleg kremenovega peska še reducent in potrebno količino škaje. Poskuse briketiranja smo naredili na laboratorijski preši. Analizirane so mehanske trdnosti zelenih in utrjenih briketov in določene termostabilne lastnosti briketov, dobljenih v posameznih poskusih.*

*Pozitivna rešitev problema briketiranja teh, do sedaj neuporabljenih vrst kremenovega peska, bo izboljšala produktivnost, rešila problem izkoriščanja zavržene surovinske baze, dala vložke enakomerne velikosti in kemične sestave, poenostavila obratovanje in pripomogla k večji storilnosti.*

## I. UVOD IN OSNOVE BRIKETIRANJA

Tovarna dušika Ruše uporablja za izdelavo FeSi 75 % zlitine poleg ostalih kot glavno surovino kremenov pesek iz Puconcev, velikosti zrn nad 20 mm. Vrsta 5 do 15 mm je odpadna surovina, ki je ne morejo uporabljati niti metalurgi niti gradbeniki. Ker je ta vrsta kremenovega peska tako po kemični sestavi kot po fizikalnih lastnostih enaka bolj grobim vrstam in ne vsebuje nikakih škodljivih primesi (gline), sta TDR kot tudi peskokop v Puconcih zelo zavzeta koristno uporabljati tudi ta, do sedaj zavržen pesek, v metalurške namene.

Prvotna raziskava je imela namen ugotoviti najboljši način in pogoje izdelovanja dovolj trdnih briketov, ki naj bi jih stiskali samo iz kremenovega peska na pod 5 mm zdrobljene odpadne vrste 5 do 15 mm in z dodatkom ustreznega veziva. Izdelane brikete bi kot dovolj trden aglomeriran vložek enake sestave in velikosti šaržirali v elektropeč in na ta način porabili zaloge še neizkoriščene surovine.<sup>1</sup>

Izdelani poskusi so dokazali, da se iz samega kremenovega peska in dodanih različnih veziv ne dajo izdelati termostabilni briketi. Njihovih mehanskih trdnosti ne moremo izboljšati niti s povečanimi količinami dodanih veziv niti z močnejšimi pritiski stiskanja. Te ugotovitve so nas napolile k drugačni metodi raziskave.

Poleg kremenovega peska se pri proizvodnji FeSi zlitine uporabljata še dve surovini, in sicer redukcijsko sredstvo in dodatek železove surovine. Če ti dve surovini, zmleti na enako velikost zrn, kot jo ima kremenov pesek, pomešamo z njim, lahko ob dodatku ustreznega veziva in vode izdelamo samohodne brikete. Pri pravilni izbiri veziva in pri optimalnem pritisku prešanja dobimo zelene brikete, ki jim v fazi utrjevanja (300° C) močno izboljšamo mehanske trdnosti. Take brikete bi v elektropeči pri nizkih temperaturah spajalo vezivo, pri višjih temperaturah (nad 1000° Celzija) pa bi dodano redukcijsko sredstvo z naknadno tvorjenim koksni skeletom dajalo briketom tako visoke trdnosti, da bi vzdržali vse faze segrevanja do taljenja in termokemičnih pretvorb v FeSi zlitino.

## Osnove briketiranja in mehanizmi vezave

Pod pojmom briketiranja ali vezave briketov razumemo strjevanje oziroma zgoščevanje razsute snovi v ustreznem modelu s pomočjo stiskanja<sup>2,3</sup>. Stisnjena snov je mešanica različno velikih delcev, ki jih pri briketiranju spremenimo v zeleno novo obliko. Če zdrobljeno snov, ki jo sestavljajo zrna, velikosti npr. od 0 do 5 mm, spravimo v oblikovano formo in jih stisnemo, zmanjšamo s tem volumen te snovi toliko, kolikor potisnemo bat v model. Volumen med delci prisotnih por, ki predstavljajo prazen prostor, postaja vse manjši, dokler postopoma iz njih ne odstranimo vsega zraka. S komprimiranjem delcev je gostota prešanca vedno večja. Površine posameznih zrn se pri stiskanju čedalje bolj zblizujejo in postanejo na koncu tako stisnjene, da začno med delci delovati vezivne sile.

Poznamo dve vrsti vezivnih sil, ki delujejo v briketih:

1. molekularne sile, ki izhajajo iz površine zrn in jim pravimo tudi Van der Waalsove sile ali zaostale valenčne sile;

2. lepilne ali vezivne sile, ki jih ustvarijo filmi veziva. Tvorjena tanka lepilna površina obda zrna in drži skupaj stisnjene delce.

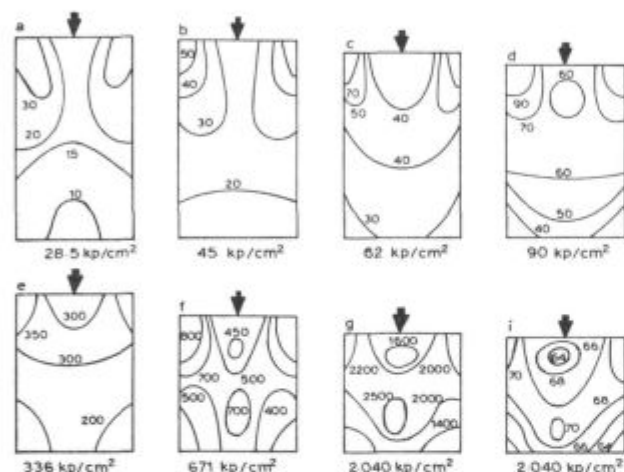
V prvem primeru govorimo o briketiranju brez dodatka, v drugem pa o briketiranju z dodatkom veziva. Pri prvem načinu briketiranja so zrna med seboj speta s privlačnimi silami, pri drugem načinu pa se zrna med seboj zlepijo. Iz tega sledi, da potrebujemo pri briketiranju brez dodatka ve-



ziva precej višje pritiske na stiskalnici — najmanj 600 kp/cm<sup>2</sup>, medtem ko zadostujejo pri briketiranju z dodatkom veziv že pritiski od 150 do 300 kp/cm<sup>2</sup>. Med procesom stiskanja nastopajo v notranjosti briketov zaradi različnih pogojev in sil stiskanja različni pritiski. Če stiskamo neko snov primerne trdote v cilindričnem modelu pri različnih pritiskih, potekajo notranje sile v briketu tako, kot jih kaže slika 1.

Krivulje enakih pritiskov imenujemo izobare. Pri spremembi zunanjih pritiskov nastopi vedno v briketu drugačna razporeditev notranjih pritiskov. Najvišje vrednosti so v bližini kontaktnih mest bata, ki pritiska na briket in mu večja gostoto.

Matematični odnos med pritiskom stiskanja in zgoščevanjem prikazuje spodnja enačba:



Slika 1

Potek izobar v briketih stisnjenih pod različnimi pritiski

Fig. 1

Isobars in the briquettes pressed at various pressures.

$$\log p = C \frac{V}{V_t} + K$$

kar pomeni:

$p$  = pritisk stiskanja

$V$  = volumen snovi pred stiskanjem

$V_t$  = volumen briкета brez por po stiskanju

$C, K$  = konstanti, odvisni od snovi briketiranja

Posledica stiskanja je naraščanje trdnosti v briketu. Ta narašča z večanjem zgoščevanja, oziroma z večanjem pritiska. Trdnosti v briketu določamo z meritvami na pritisk, na upogib, na obrabno odpornost in na pad.

## II. SUROVINE IN NAČIN RAZISKOVANJA

### 1. Uporabljene surovine pri briketiranju

Osnovne surovine, ki smo jih uporabljali v poskusih briketiranja, so bile odpadna vrsta kremenovega peska Puconci, črni premog kot redukcijsko sredstvo in škaja kot železova surovina. Vse

tri uporabljene surovine smo predhodno zdrobili na velikost zrn od 0 do 5 mm. Konstantna stehiometrična zmes vseh treh surovin nam je služila kot vložek za briketiranje. Poleg teh treh surovin smo dodajali pred briketiranjem v zmes še ustrezno vezivo (do 4 ut. %) in potrebno količino vode (6 ut. %).<sup>4</sup> V tabeli 1 navajamo granulacijske sestave uporabljenih surovin.

Tabela 1: Granulacijske analize kremenovega peska, redukcijskih sredstev in škaje

Klasa mm		Kremenov pesek	Črni premog	Petrolkoks*	Škaja
		Utežni odstotek			
+ 3	— 5	18,7	12,3	7,1	11,8
+ 1	— 3	41,2	28,6	23,6	22,8
+ 0,5	— 1	13,1	14,1	16,4	12,9
+ 0,2	— 0,5	13,6	19,2	23,3	20,8
+ 0,1	— 0,2	5,1	7,7	10,0	11,9
+ 0,063	— 0,1	3,2	5,4	7,0	7,6
+ 0,040	— 0,063	1,7	3,3	5,0	4,1
— 0,040		3,4	9,4	7,6	8,1
Skupaj		100,0	100,0	100,0	100,0

\* S petrolkoksom so izdelani samo informativno primerjalni poskusi.

Iz granulacijskih analiz vidimo, da je v vseh uporabljenih surovinah količinsko največ vrst + 1 do — 3 mm. Posebno velika količina te vrste v kremenovem pesku ni kvarila mehanskih lastnosti pozneje izdelanih briketov. Trdnosti briketov, ki so bili izdelani iz finejših vrst kremenovega peska, npr. od 0 do 3 mm, ali pa ob povečanem dodatku vrste 0 do 0,3 mm so bile precej slabše od tistih, v katerih so bila zrna do 5 mm in so briketi pokali po osnovnicam vzporednih ploskvah.

Kemične analize redukcijskih surovin in škaje so prikazane v tabelah 2 in 3.

Uporabljeno redukcijsko surovino — črni premog — smo dodajali zdrobljeno v zmes kar v prirodni obliki, brez predhodnega koksanja.<sup>5</sup> S tem smo proces skrajšali za eno fazo. Kljub višji vsebnosti pepela v premogu (12,14 %), kot pa ga vsebuje petrolkoks (0,31 %), niso zato na 1000° C žgani briketi kazali nič slabših fizikalnih lastnosti. Ker je cena črnega premoga nižja od cene petrolkokska, smo večino poskusov opravili samo s črnim premogom.

Razen škaje bi lahko uporabljali tudi staro železo ali pa kakšno visokoprocentno železovo rudo, ki vsebuje nizek procent fosforja in žvepla. Pri izbiri te surovine moramo biti zelo previdni, ker prehajajo vse prisotne nečistoče v končni produkt.

Poleg prej omenjenih surovin spadajo pri proizvodnji samohodnih briketov med dodatke tudi uporabljena in dodana veziva. V informativnih poskusih stiskanja samohodnih briketov smo upo-

Tabela 2: Kemične analize redukcijjskih surovin

Redukcijske surovine	Vlaga	Hlapne snovi	Pepel	C <sub>fix</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>2</sub>
	%										
Petrol koks	0,58	10,86	0,31	88,25	45,26	6,45	21,75	6,66	5,32	1,21	—
Črni premog	2,38	32,76	12,14	52,72	12,17	12,89	57,08	5,82	1,74	0,57	8,64

Tabela 3: Kemična analiza škake

Železova surovina	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>tot</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
	%								
Škaja	56,75	40,84	72,70	0,54	0,13	0,44	0,11	0,11	0,04

rabljali naslednja veziva: dekstrin, vodno steklo, sulfitno lužino pinotan, keradur in melaso. Od naštetih veziv smo končno kot najbolj uporabni in ustrezni izbrali dve vezivi — pinotan in vodno steklo.

Ostalih omenjenih veziv ne smemo prezreti, vendar ne pridejo v poštev zaradi neustrezne kemične sestave oziroma previsoke cene.

Sulfitna lužina je odpadni produkt pri proizvodnji sulfitne celuloze, posušeni lignosulfonati na bazi sulfitne lužnice s sladkorjem so pa pinotani. Oba produkta izdeluje tovarna celuloze v Medvodah.

Vodno steklo ali natrijev silikat nastaja pri taljenju kremenca s sodo. Natrijev silikat se tali pri 1088°C in je zelo lahko topen v vodi. Uporabljali smo 36 % Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> z gostoto 1,34 g/cm<sup>3</sup>.

## 2. Opis eksperimentalnega dela in uporabljenih poskusnih naprav

Iz osnovnih surovin pripravljene zmlatke smo v konstantnem utežnem razmerju 66,0 % kremenovega peska : 21,4 % črnega premoga : 12,6 % škake zmešali v homogeno zmes. V to smo dodajali različne količine prej naštetih veziv in optimalno količino vode. Tako pripravljeno mešanico potrebnih komponent smo v enakih, predhodno stehtanih količinah stresali v model in pri enakih pritiskih dobili brikete enakih višin 45 mm in enakih premerov 50 mm.

Brikete smo stiskali z ročno hidravlično laboratorijsko prešo, na kateri lahko dosežemo pritiske od 0 do 500 atm. Vse poskuse briketiranja smo izvršili s hladnim vložkom in v istem modelu premera 50 mm. Brikete smo stiskali pri različnih pritiskih od 50 do 300 atm, vendar največkrat pri pritiskih med 200 do 300 atm.

Izdelanim briketom, bodisi zelenim, utrjenim ali žganim, smo izmerili mehanske trdnosti na Amslerjevi 30-tonski stiskalnici, ki jo lahko poljubno priredimo za meritve nizkih, srednjih in visokih pritiskov. Na dobljene rezultate meritev mehanskih trdnosti briketov vplivajo poleg ostalih faktorjev (granulacija, vlaga, vezivo itd.) tudi

hitrost stiskanja, ki se lahko spreminja od  $v = 1,8 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$  do  $20 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ . Poskusi so pokazali, da pod enakimi pogoji izdelani briketi kažejo različne mehanske trdnosti, odvisno od hitrosti stiskanja pri merjenju. Tako kažejo briketi pri zelo počasnem stiskanju  $v = 0,125$  do  $0,5 \text{ kp/cm}^2$  trdnosti med 32,8 do 33,1  $\text{kp/cm}^2$ , medtem ko enaki briketi pri zelo hitrem stiskanju  $v = 3$  do  $20 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$  kažejo navidezno največje mehanske trdnosti do 39,27  $\text{kp/cm}^2$ .

Briketi, stisnjeni pri počasnem merjenju, samo razpokajo, medtem ko oni, ki jih hitro stisnemo takoj, razpadejo v drobne komade. Ker za tak material, kakršnega predstavljajo samohodni briketi, pri stiskanju in preizkušanju mehanskih trdnosti ni znan standard, smo izbrali kot najprimernejšo brzino srednje hitro stiskanje, tj.  $2,0 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{s}$ . Tega normativa smo se držali pri vseh naslednjih meritvah.

Naslednja naprava, ki nam je služila za ugotavljanje termostabilnosti izdelanih in pri višjih temperaturah žganih samohodnih briketov, je bila uporovna grafitna peč. Izdelan briket lahko v njej žgemo pri različnih temperaturah do 1750°C, s pritiski, ki jih lahko spreminjamo od 0 do 2  $\text{kp/cm}^2$ . Manjša krčenja registrirala kazalo na uri, večja pa imajo za posledico porušitev (razpad briketa).

S poskusi v uporovni peči smo dokazali, da pravilno izdelani samohodni briketi vzdržijo pritiske, ki so večji, kot jih bodo morali vzdržati v nizko jaškati peči, preden se bodo stalili.

## III. REZULTATI RAZISKAV

### 1. Rezultati serije I. — zeleni briketi

Kot dobre in v praksi uporabne zelene brikete lahko upoštevamo take, ki pri optimalnem stiskanju postanejo toliko trdni, da v fazi izpadanja iz modela ne pokajo, oziroma razpadajo. Če kažejo laboratorijsko izdelani zeleni briketi tako zadovoljive trdnosti, potem lahko pričakujemo, da bodo tudi v industrijski praksi zeleni briketi vzdržali

Tabela 4: Mehanske trdnosti različnih samohodnih zelenih briketov

Sestava ut. %	Dodano vezivo ut. %	Stisnjeni pri atm	Trdnosti zelenih briketov kp/cm <sup>2</sup>	Opomba
Vodno steklo				
66 % krem. peska 21,4 % č. premoga 12,6 % škaje	1 %	200	2,85	Vsi briketi izdelani iz vrste 0—5 mm
		250	3,75	
		300	3,95	
	2 %	200	3,27	
		250	4,33	
		300	—	
	3 %	200	3,4	
		250	4,1	
		300	4,26	
	pinotan 3 %	50	0,468	
		100	0,714	
		200	1,53	
4 %	300	2,29		
	50	1,53		
	100	2,80		
	200	4,80		
		300	6,60	

padce s preše na transportni trak. Z naknadnim potrebnim segrevanjem lahko trdnosti zelenih briketov precej povečamo.

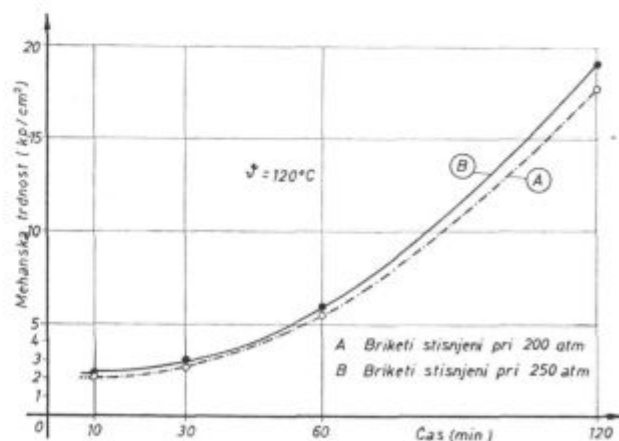
Za primerjavo mehanskih trdnosti zelenih briketov, izdelanih iz dveh različnih veziv — vodno steklo in pinotan — ob standardni sestavi ostalih surovin, smo izdelali pri različnih pritiskih stiskanja serijo briketov in jim takoj po stiskanju izmerili mehanske trdnosti. Rezultate podajamo v tabeli 4.

Poskusi kažejo, da trdnosti zelenih briketov naraščajo z večanjem dodanega veziva kot tudi z višanjem pritiskov stiskanja do faze, ko zmanjšamo volumen por na minimum. Ko dosežejo notranji pritiski maksimum, se mehanske trdnosti slabšajo in zeleni briketi začno pokati. Potreben je optimalen pritisk, da se zeleni briketi zaradi nizkih mehanskih trdnosti pri nadaljnjih fazah dela preveč ne drobijo. V našem primeru, ko velikosti briketov nismo spreminjali, menimo, da je ta med 200 atm do 300 atm.

## 2. Rezultati serije II — pri 120° C sušeni briketi

V seriji II so opisani poskusi utrjevanja zelenih briketov pri temperaturi 120° C in iskanja optimalno potrebnega časa za dosego čim boljših mehanskih trdnosti. Izbrana temperatura 120° C naj bi pripomogla samo toliko, da bi iz zelenih briketov izhlapela voda, ki v primeru najmanjšega pri-

tiska močno zmanjšuje trdnosti zelenih briketov. Pričakovali smo, da se bodo mehanske trdnosti z nižanjem vlage občutno izboljšale, česar pa praksa ni potrdila. Posebno to velja za kratke čase sušenja, npr. 10 min, 30 min. Zadovoljive mehanske trdnosti dosežemo šele po 2 urah (19,12 kp/cm<sup>2</sup>), maksimalne pa po 24 urah (36,1—38,2 kp/cm<sup>2</sup>). Rezultate prikazujemo v tabeli 5.



Slika 2  
Mehanske trdnosti samohodnih briketov sušenih pri 120° C v odvisnosti od časa

Fig. 2  
Mechanical properties of self fluxing briquettes dried at 120° C depending on time.

Tabela 5: Mehanske trdnosti pri 120° C sušenih samohodnih briketih

Sestava ut. %	Briketi stisnjeni pri atm	Čas sušenja pri 120° C	Trdnosti sušenih briketov kp/cm <sup>2</sup>	Opomba
	200	10 min	2,6	Vsi briketi izdelani iz vrste 0—5 mm
	250		2,75	
66 % krem. peska	200	30 min	2,70	
	250		3,16	
21,4 % č. premoga	200	60 min	5,25	
	250		5,70	
12,6 % škaje	200	120 min	17,9	
	250		19,12	
+3 % vod. st.	200	24 ur	36,1	
	250		38,2	

Iz tabele 5, še bolj pa iz slike 2 vidimo, da mehanske trdnosti sušenih briketov na 120° C v časovnem intervalu od 10 do 60 min. narastejo malenkostno. V začetku poteka proces samo na površini in se briket zelo počasi suši proti notranjosti. Kdaj doseže briket pri tej temperaturi minimalno možno vlago, nismo zasledovali, ker je temperatura 120° C očitno za utrjevanje briketov prenizka. Praktično jih ne bi mogli pri tej temperaturi osušiti in utrditi na nobenem, še tako počasi premikajočem se traku.

### 3. Rezultati serije III — pri 300° C utrjeni briketi

Z namenom, da pospešimo naraščanje trdnosti samohodnih briketov, smo v naslednji seriji izbrali za sušenje in utrjevanje višjo temperaturo. Pri temperaturi 300° C izhlapi iz briketa hitreje vsa voda in žveplo. Premog v briketu še nič ne menja svoje sestave glede na hlapnost v njem prisotnih ogljikovodikov in ostalih katranskih olj. Hitreje se v briketih spremenijo le mehanske lastnosti in

ti postanejo pri tej temperaturi že dovolj trdni in sposobni nadaljnjih mehanskih postopkov.

Rezultate mehanskih trdnosti briketov, utrjenih pri 300° C in izdelanih z dodatkom dveh različnih veziv, tj. vodno steklo in pinotan, prikazujemo v tabelah 6 in 7.

Rezultate v tabelah 6 in 7 prikazujemo grafično v sliki 3. Vse štiri krivulje smo prikazali v eni sliki zato, da nazorno prikažemo razliko med briketi, vezanimi z vodnim steklom, oziroma pinotanom.

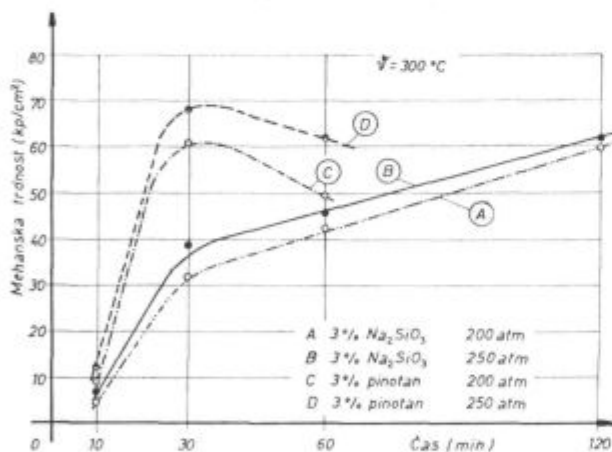
Trdnosti briketov, izdelanih z dodatkom vodnega stekla, z daljšanjem utrjevanja naraščajo, medtem ko trdnosti briketov z dodatkom pinotana dosežejo najboljše trdnosti že po 30 minutah, nakar se začno manjšati. Podoben potek krivulje opazimo tudi pri briketih, izdelanih z 2 % ali 4 % dodatkom pinotana. Iz tega zaključujemo, da je čas utrjevanja 30 min. za brikete s pinotanom maksimalen, ker po daljšem času pri tej temperaturi ta že delno zgori, pri čemer se začno manjšati briketom mehanske trdnosti.

Tabela 6: Mehanske trdnosti pri 300° C utrjenih briketov — vezivo vodno steklo

Sestava ut. %	Briketi stisnjeni pri atm	Čas utrjevanja min	Trdnosti utrjenih briketov kp/cm <sup>2</sup>	Opombe
	200	10	5,6	Vsi briketi izdelani iz vrste 0—5 mm
	250		7,4	
66 % krem. p.	200	30	32,6	
	250		38,9	
21,4 % č. prem.	200	60	42,7	
	250		45,5	
12,6 % škaje	200	120	60,8	
	250		62,7	
+3 % vod. st.	200			
	250			

Tabela 7: Mehanske trdnosti pri 300° C utrjenih briketov — vezivo pinotan

Sestava ut. %	Vezivo pinotan ut. %	Briketi stisnjeni pri atm	Čas utrjevanja min	Trdnost utrjenih briketov kp/cm <sup>2</sup>
66 % krem. p. 21,4 % č. prem. 12,6 % škaže	2	200	10	9,07
		250		7,29
	2	200	30	46,65
		250		46,70
	2	200	60	37,70
		250		40,6
		300		35,5
	3	200	10	8,97
		250		12,75
	3	200	30	61,1
		250		68,8
	3	200	60	62,47
		250		49,52
	4	200	10	15,5
		250		23,2
	4	200	30	86,7
250		95,5		
4	200	60	73,3	
	250		80,6	



Slika 3

Trdnosti utrjenih briketov pri 300° C odvisne od veziva in časa utrjevanja

Fig. 3

Strengths of consolidated briquettes at 300° C depending on the binding agent and time of consolidation.

#### 4. Rezultati serije IV — poskusi termostabilnosti

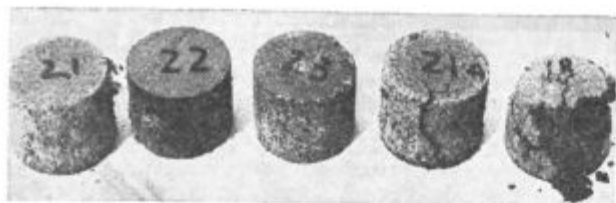
Poleg trdnosti, ki jo zeleni briketi morajo imeti v trenutku, ko padajo iz preše na transportni trak, in tiste, ki jo zahtevamo od utrjenih briketov,

da se med prevozom in prekladanjem ne zdrobijo, je odločilna še mehanska trdnost, ki jo morajo imeti briketi zaradi pritiskov pod lastno obremenitvijo in visokimi temperaturami po šaržiranju v elektropeč. Če teh trdnosti nimajo, pod pritiskom pri višjih temperaturah razpokajo in se zdrobijo v osnovne surovine finih granulacij, ki zaradi svoje prašne oblike zadržijo normalno delovanje peči. Koliko je briket trden in kako bo prenašal obremenitve, ki ga čakajo v elektropeči, nam pokažejo poskusi termostabilnosti, izdelani v uporovno grafitni peči v reduktivni atmosferi.

Poskuse lahko delimo v tri serije:

- pri pritisku 0,63 kp/cm<sup>2</sup> in temperaturah 680 in 1200° C,
- pri pritisku 1,00 kp/cm<sup>2</sup> in temperaturah 800, 1000, 1200 in 1400° C,
- pri pritisku 2,00 kp/cm<sup>2</sup> in temperaturah 1000, 1100, 1300 in 1500° C.

a) V prvi seriji smo izdelali brikete z dodatkom različnih posameznih in kombiniranih veziv. Nižjo in višjo temperaturo smo izbrali zato, ker v peči nimamo možnosti istočasno spreminjati pritiska bata in temperature. V sliki 4 prikazujemo brikete po žganju. Od različnih vrst, izdelanih pod pogoji, kot so zgoraj označeni, in pri 680° C in 1200° C žganih briketov so ohranili po žganju najboljši videz in ustrezno trdnost briketi št. 22 (vod-



Slika 4

Izgled briketov po žganju izdelanih z dodatkom različnih veziv

Fig. 4

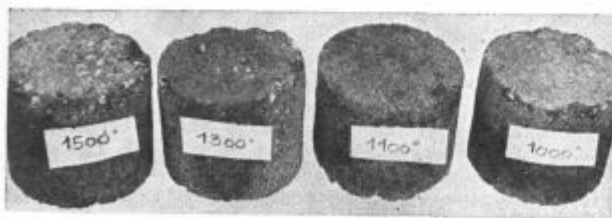
Appearance of briquettes after firing, using various binding agents.

no steklo), 21 (keradur) in 23 (pinotan). Briketa 21 A (keradur-dekstrin) in 18 (dekstrin) sta pod obtežitvijo na obeh temperaturah razpokala ali se sesula. Na osnovi teh poskusov smo izločili slaba veziva in se odločili, da v naslednjih poskusih uporabljamo samo pinotan. Briketi, izdelani z dodatkom vodnega stekla, niso bili problematični niti glede obtežitve niti temperature žganja. Vprašljivi so pa še danes, kar zadeva obnašanje hlapnega natrija in njegove vsebnosti v končnem produktu.

b) V naslednji seriji smo ugotavljali termostabilne lastnosti minimalno utrjenih samohodnih briketov — 10 min. pri 300°C z dodatkom pinotana (krivulja C sl. 3). Nižji pritisk stiskanja in minimalno trdnost utrjenih briketov smo izbrali namenoma zato, da smo poskus naredili v slabših pogojih. Pri različnih delovnih temperaturah (800, 1000, 1200, 1400°C) smo žgali brikete pod konstantnim pritiskom 1 kp/cm<sup>2</sup>. Vsi briketi so z rahlimi deformacijami prestali pritiske pri visokih temperaturah, vendar so nekoliko slabši kot oni, ki smo jih vezali z vodnim steklom.

c) Samohodne brikete smo izdelali pod najboljšimi pogoji in jih vezali s 3 % dodatka pinotana. Izdelani zeleni in naknadno pri 300°C v času 30 minut utrjeni briketi, kažejo maksimalne mehanske trdnosti med 61,1—68,8 kp/cm<sup>2</sup>. Tako utrjene brikete smo pod maksimalnim pritiskom 2 kp/cm<sup>2</sup> v uporovni grafitni peči žgali po 30 min. na različnih temperaturah, in to od 1000°C do 1500°C. Slika 5 prikazuje brikete po žganju.

Vsi briketi so ostali celi in skoraj nespremenjeni. Rahlo deformacijo opazimo edino na robovih,



Slika 5

Izgled briketov po žganju v uporovni peči pri različnih temperaturah (pinotan)

Fig. 5

Appearance of briquettes after firing in electric resistance furnace at various temperatures (pinotane).

ki so pri briketih vezanih s pinotanom, nekoliko bolj krušljivi kot oni, ki so vezani z vodnim steklom. Višina briketa se je pri maksimalni obtežitvi zmanjšala za okoli 5 do 6 %.

#### IV. SKLEPI

Z opisanimi opravljenimi poskusi lahko povzamemo sklepe, ki so za izdelavo samohodnih briketov pri praktični proizvodnji bistveno važni:

a) Za dobre in po mehanskih trdnostih dovolj trdne brikete morajo imeti osnovne surovine optimalno granulacijsko sestavo v mejah zrnatosti med 0 do 5 mm. Dodatek fine vrste znižuje briketom trdnost.

b) Optimalna kvaliteta briketov je odvisna od pravilno izbrane vlage. Najboljše brikete dobimo pri okoli 6 % dodatku vode s trdnostjo 73,38 kp/cm<sup>2</sup>. Samo za 1 % povečana vlaga zmanjša istim briketom trdnost za več kot 50 %.

c) Dimenzijam opisanih briketov ustreza optimalen pritisk med 250 in 300 atm. Pri briketih, izdelanih iz pravilne granulacijske sestave, krivulja mehanskih trdnosti počasi narašča, medtem ko pri finih vrstah že pri teh pritiskih pada.

d) Zelenim briketom ne moremo dovolj povečati mehanskih trdnosti samo s sušenjem pri 120°C Celzija, ampak jih je potrebno utrjevati vsaj 20 do 30 minut na temperaturi 300°C. Višja temperatura in daljši čas nista priporočljiva pri briketih iz pinotana, ker začneta odgorevati vezivo in premog.

e) Od uspešnih poskusov termostabilnosti je bil odvisen končni rezultat vsega dela. Od vseh uporabljenih veziv sta dala najboljše brikete vodno steklo in pinotan. Ti briketi so prenesli v uporovno grafitni peči maksimalne pritiske (2 kp/cm<sup>2</sup>) in najvišje temperature (1500°C).

f) Izdelani poskusi in dobljeni parametri dajejo dovolj zadovoljivih rezultatov, na osnovi katerih bi lahko izdelali polindustrijsko večjo količino samohodnih briketov, ki bi služili za nadaljno metalurško izdelavo FeSi 75 % zlitine.

Avtor se najlepše zahvaljuje Tovarni dušika Ruše in Skladu Borisa Kidriča, ki sta s finančno podporo omogočila izvedbo tega dela.

#### Literatura

1. J. Wohinz: Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, 329, december 1974
2. H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, VEB Deutsches Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1972
3. K. Kegel/E. Rammler, Briketieren für Bergleute und Aufbereiter, Bergakademie Freiberg Fernstudium 1957
4. J. Neuhäuser, Laboratorversuche zur Herstellung von Monomöller Briketts für hochprozentiges FeSi Neue Hütte 13. Jg. Heft 6, 1968
5. P. Dillmann, Briketieren und Verkoken von Xylit. Freiburgerforsch. II. Reihe A 355, 1965

## ZUSAMMENFASSUNG

Eine aplikative Studie zur möglichen Anwendung des abfallenden Quarzsandes in der Körnung von 0 bis 5 mm zur Produktion von Briketten für die Erzeugung von 75 % Ferrosilizium ist gefertigt worden. Da das Brikettieren des reinen Quarzsandes keine positiven Ergebnisse gegeben hat, haben wir in weiteren Versuchen mit selbstgehenden Briketten gute Erfolge erzielt, so dass die Möglichkeit gegeben ist feste Brikette zu erzeugen, welche in der Produktion des Ferrosiliziums Anwendung finden könnten.

Für gute und genügend feste Brikette müssen die Grundrohstoffe eine optimale Granulationszusammensetzung in den Grenzen von 0 bis 5 mm Körnung aufweisen. Ein zu grosser Anteil der feinen Fraktion des Quarzsandes von 0 bis 0,3 mm erniedrigt erheblich die Festigkeit der Briketten.

Die Qualität der Briketten ist von der richtig ausgewählter Feuchtigkeit und der zugegebenen Bindemittel abhängig. Die besten Brikette werden erzeugt bei einem Zusatz von 5 bis 7 % Wasser und 2 bis 5 % Bindemittel. Wenn solchen Briketten der Wasseranteil nur um 1 % erhöht wird, fällt die Festigkeit um 50 %. Ein erhöhter Bindemittel-zusatz ist nicht schädlich, jedoch werden die

Selbstkosten höher. Den Briketten mit 45 mm Höhe und 50 mm Durchmesser entspricht ein optimaler Druck zwischen 250 und 300 atm. Bei den Briketten der richtigen Granulations und stehiometrischen Zusammensetzung der Rohstoffe — Quarzsand, Steinkohle und Walzzunder — steigt langsam die Festigkeitskurve während bei den Briketten aus feineren Fraktionen die Festigkeit schon bei diesen Drücken fällt.

Den grünen Briketten kann die Festigkeit nur durch das Trocknen bei 120° C nicht genügend erhöht werden, es ist erforderlich diese 20 bis 30 Minuten bei 250 bis 300° C zu verfestigen. Eine höhere Temperatur und längere Zeit sind nicht empfehlbar bei den mit Pinotan gebundenen Briketten, da bei diesen Bedingungen das Bindemittel und die Steinkohle schon zu brennen beginnen. Von den erfolgreichen Versuchen der Thermostabilität war das Ergebnis der ganzen Arbeit abhängig. Auf Grund der mannigfaltigen laboratorischen Versuche haben von den verwendeten Bindemittel Pinotan und Wasserglas die besten Ergebnisse gegeben. Diese Briketten sind im Kohlen-griesswiderstandsofen den maximalen Drücken von 2 kg/cm<sup>2</sup> und den höchsten Temperaturen von 1500° C gut widerstanden.

## SUMMARY

An applicative research was made in order to find the possibility of using waste quartz sand ground to fraction 0 to 5 mm for production of briquettes in manufacturing 75 % FeSi alloy. Since briquetting of quartz sand alone did not give positive results, further investigations were orientated towards self-fluxing briquettes which gave satisfactory results showing the possibility for manufacturing strong briquettes which can be practically used in manufacturing the mentioned ferro-alloy.

In order to obtain good and mechanically sufficient strong briquettes the basic raw materials must have optimal grain composition in the region between 0 and 5 mm. Too high amount of fine fraction of quartz sand between 0 and 0.3 mm considerably reduces the strength of briquettes.

Optimal quality of briquettes depends on the correctly chosen moisture content and amount of binding agents. The best briquettes were obtained with 5 to 7 % addition of water and with 2 to 5 % of binding agent. If moisture in such briquettes is increased only for 1 % the strength is

reduced for more than 50 %. Increased amount of binding agent is not harmful, only production costs are increased. Optimal pressure for briquettes 45 mm high and 50 mm in diameter was 250 to 300 atm. Curve of mechanical strength of briquettes made from the correct grain and stochiometric composition of raw materials — quartz sand, pit coal, and scale — slowly increases with the pressure while the curve for briquettes made of finer fractions turns at these pressures downwards.

Strength of green briquettes cannot be increased sufficiently only by drying at 120° C but they must be consolidated at least 20 to 30 minutes at 250 to 300° C. Higher temperature and longer times are not recommendable for briquettes bound by pirotane since the binding agent and pit coal needed as the reducing agent start to combust. Successful thermostability tests represent final result of the research. Based on many laboratory experiments the best results were obtained by pinotane and water glass as binding agents. These briquettes sustained in the resistance graphite furnace maximal pressures 2 kp/cm<sup>2</sup> and the highest temperature 1500° C.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализом работы дан итог исследований возможности применения отходного кварцевого песка измельченного на величину 0—5 мм для производства брикетов при продукции 75 % FeSi сплава. Так как брикетирование одного кварцевого песка не дало положительных результатов, приступили в последующих исследованиях к приготовлению самотечных брикетов с которыми получены хорошие результаты; оказалось что эти брикеты пригодны для производства 75 % FeSi сплава.

Чтобы получить брикеты с хорошей механической прочностью, необходимо чтобы гранулометрический состав зерен находился в границах между 0 до 5 мм. Слишком высокое содержание мелкой фракции величина зерен 0—0,3 мм существенно уменьшает прочность брикетов.

Оптимальное качество брикетов зависит от выбранного количества влаги и от добавленного вяжущего вещества. Самые лучшие брикеты получены при добавке 5—7 % воды и 2—5 % вяжущего вещества. Если увеличить содержание воды то у этих брикетов уменьшится прочность больше чем на 50 %. Увеличение содержания вяжущего вещества не вредно, но это увеличивает расходы производства. Брикетам высоты 45 мм и диаметра 50 мм отвечает

оптимальное давление т. е. сжатие 250 и 300 атм. При брикетах приготовленных с правильным гранулометрическим составом и стехиометрического состава сырья — кварцевой песок — каменный уголь и окалина — кривая механической прочности медленно подымается, между как приготовленные из песка грануляции мелких класс при этих давлениях падает. Механическую прочность зеленых брикетов не удастся повысить лишь сушением при 120° Ц, их необходимо подвергнуть упрочению в течение не менее 20—30 минут при темп-рах 250—300° Ц. Повышение этой темп-ры а также и времени отжига не рекомендуется при брикетах с пинотаном как связующим средством, так как начинается выгорание связующего средства и каменного угля, который додан как восстановительное средство. Конечный результат всей работы зависел от успеха опытов что касается тепловой устойчивости. На основании многочисленных лабораторных опытов с разными связующими средствами самые хорошие результаты получены с пинотаном и водяным стеклом. Эти брикеты выдержали в графитной печи на сопротивление (Kohlen-griesswiderstandsofen) 2 kp/cm<sup>2</sup>, т. е. максимальное возможное давление и максимальную температуру 1500° Ц.

# Optimizacija predelave svinčevih poletin

UDK: 669.431.6  
ASM/SLA: Pb, B 16 b

Peter SOUVENT, Bogdan ZALAR

Laboratorijski in industrijski poskusi peletiziranja mešanic svinčevih poletin in piritnih ogorkov ter poskusi ponašanja teh peletov pri mehanskih in toplotnih obremenitvah so dali pozitivne rezultate. Članek podaja eksperimentalno tehnološke podatke ter predvidene ustrezne ekonomske proizvodne učinke. Opisuje tudi industrijske naprave, ki se bodo predvidoma izgradile v topilniških obratih rudnika Mežica.

## I. UVOD

V obratih topilnice rudnika svinca in cinka v Mežici razpolagajo z relativno velikimi količinami medproduktov, ki se morajo zaradi precejšnjih vsebnosti še vrednih kovin vračati v ustrezne proizvodne procese. Kot se sedaj delno zbira že v starih, se bo tudi še z novimi filtrskimi napravami letno zbiralo približno 5400 ton svinčevih poletin. Zaradi visoke vsebnosti svinca se te vračajo v pražarno v predelavo na pražilnem traku. Izredno fina zrnatost poletin omejuje kapacitativne zmogljivosti proizvodnje sintrnega praženca. Zato je bil cilj opisanih raziskav najti najoptimalnejše tehnološke možnosti predelave in uporabe omenjenih razpoložljivih poletin in tudi drugih fino zrnatih materialov.

## II. KVALITATIVNE LASTNOSTI SVINČEVIH POLETIN

Zbirna mesta poletin obrata pražarne ostanejo tudi z izgraditvijo novega filtrskega sistema ista: iz vsipnih mešalnih, drobilnih in sejalnih mest se zbira poletina v 6-poljnem filtru (FA 6), oziroma 7-poljnem filtru (FA 7), iz pražilnih plinov pa se zbira v ciklonu (CA) in filtrskem sistemu tipa Lurgi (Fa). Poletine iz dimnih plinov visoke peči in bobnastih peči ter prostorskega odpraševanja bobnastih peči in rafinacijskih agregatov pa se bodo po novem sistemu vključevale v novi filter. Za določitev lastnosti teh novih poletin (NF) smo improvizirali vzorec iz ustreznih delov poletin, ki se usedajo v sedanjem topilniškem dimovodu in obstoječem 9-poljnem filtru (9 PF), kar precej

ustreza realni sestavi bodočih novih poletin. Pregled nekaterih kvalitativnih lastnosti omenjenih poletin je podan v tabeli 1.

Tabela 1: Pregled nekaterih kvalitativnih lastnosti svinčevih poletin

	CA	FA	FA6	FA7	NF
Ut.del od letne količine (%)	8,0	24,0	2,0	1,0	65,0
Zrnatost (%)					
— nad 1,0 mm	5,2	—	—	—	2,1
— 0,075 do 1,0 mm	36,8	32,8	13,8	21,6	58,7
— pod 0,075 mm	58,0	67,2	86,2	78,4	39,1
Spec. teža (g/cm <sup>3</sup> )	6,02	5,97	6,02	6,22	4,39
Spec. površina (cm <sup>2</sup> /g)	460	13.000 do 20.000	ca. 5.200	ca. 2.600	5.000 do 10.000
Kemijske analize					
— Pb (%)	69,95	62,80	64,65	69,85	42,2
— Zn (%)	3,95	2,20	3,25	3,04	8,35
— Cu (%)	—	—	0,35	0,58	—
— Sb (%)	2,44	5,90	1,04	1,15	3,12
— As (%)	0,14	0,29	0,19	0,18	0,12
— Cd (%)	0,12	0,42	0,05	0,05	0,16
— S sulf.	20,54	15,60	23,60	19,30	23,10

Razen količine prisotnega svinca v poletinah imajo količine ostalih še prisotnih kovin manjši pomen. Ustrezni industrijski agregati za koncentracijo in ločitev tako svinca kot cinka ali drugih prisotnih kovin so za razpoložljive letne količine poletin neekonomični. Zato je racionalneje poletine vračati v proces sintrnega praženja, vendar ne v tako fino zrnati obliki, temveč v obliki manjših peletov.

## III. MOŽNOST VKLJUČITVE PIRITNIH OGORKOV V PREDELAVO SVINČEVIH POLETIN

Tehnologija proizvodnje svinca v visoki peči zahteva v splošnem nizkotaljivo žlindro z relativno nizko specifično težo. Sestavo žlindre je potrebno spreminjati tudi z ozirom na sestavo vložnih svinčevih materialov. Ustrezno kvaliteto žlindre

Mag. Bogdan ZALAR, dipl. inž. metalurgije, samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani  
Peter SOUVENT, dipl. inž. metalurgije, vodja oddelka za razvoj metalurgije pri OZD Rudniki svinca in topilnice Mežica.



Tabela 2: Pregled nekaterih kvalitativnih lastnosti razpoložljivih piritnih ogorkov (Celje)

Fizikalne lastnosti	Kemijske analize %		
Zrnatost (%)	Fe . . . . .	61,0	Cd . . . . . 0,002
— nad 1,0 mm . . . . .	S <sub>tot</sub> . . . . .	1,0	Sb . . . . . 0,05
— 0,075 do 1,0 mm . . . . .	Cu . . . . .	0,4	Ca . . . . . 0,5
— pod 0,075 mm . . . . .	Zn . . . . .	0,7	Mg . . . . . 0,2
Spec. teža (g/cm <sup>3</sup> ) . . . . .	As . . . . .	0,2	Al . . . . . 0,4
Spec. površina (cm <sup>2</sup> /g) . . . . .	Pb . . . . .	0,1	SiO <sub>2</sub> . . . . . 5,1

dosežemo z dodatki talil, med katerimi se v Mežici sedaj uporablja tudi blagajska žindra s ca. 23 % SiO<sub>2</sub>, ca. 52 % Fe in ca. 3,5 % Mn. Namesto te bi kot talilo s Fe-substanco lahko uporabljali cenejše piritne ogorke pod pogojem, da bi bili v obliki granuliranih delcev, t. j. v obliki peletov. Pregled kvalitativnih lastnosti razpoložljivih piritnih ogorkov je podan v tabeli 2. Najracionalnejša bi bila varianta ustreznega dodatka piritnih ogorkov k svinčevim poletinam. Izdelane pelete iz takšne mešanice bi dodajali vsipu za sintro praženje, s čimer bi lahko vsaj delno dobili tudi t. i. samohodni praženec za vsip v visoko peč.

V okviru laboratorijskih in industrijskih raziskav smo zato delali poskuse optimalne predelave svinčevih poletin tudi z dodajanjem piritnih ogorkov.

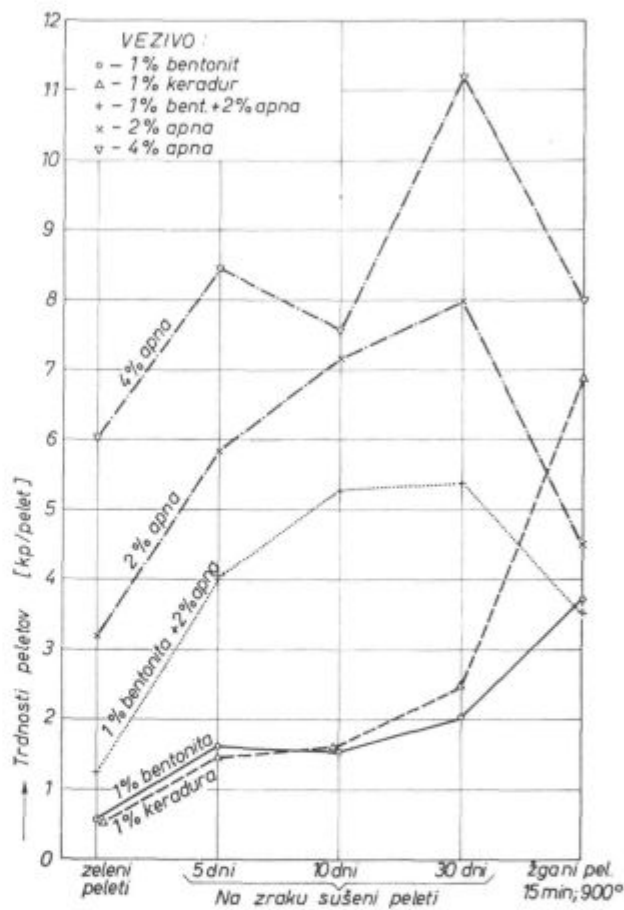
#### IV. REZULTATI LABORATORIJSKIH POSKUSOV PREDELAVE

Osnovne lastnosti, ki jih tehnologija predelave od izdelanih peletov iz svinčevih poletin zahteva, sta vzdržljivost proti mehanskim obremenitvam transporta do mešalca in obremenitvam pri mešanju z ostalim vsipom ter vzdržljivost proti temperaturnim udarcem pri vsipanju na vroči sloj posteljice pražilnega traku.

Granulacijske poskuse smo delali na laboratorijskem peletizacijskem krožniku (premer = 600 mm), utrjevanje na zraku na prostem pokritem prostoru, poskuse temperaturnega utrjevanja in poskuse odpornosti peletov pri izotermnih temperaturnih obremenitvah v uporovni retortni pečici. Poskusna mešanica svinčevih poletin je bila sestavljena iz 69 % poletine FA, 21 % ciklonske poletine CA, 7 % poletine FA7 in 3 % poletine FA6. Improvizirano sestavljeno novo poletino NF nismo upoštevali; je pa po kvalitativnih lastnostih zelo blizu kvaliteti izbrane poskusne mešanice.

##### 1. Izbira veziva za peletizacijo

Za poskusna veziva smo izbrali bentonit, keradur, bentonit z apnom in samo apno. Poskuse za izbiro veziva smo delali le z mešanico svinčevih poletin, ker je za piritne ogorke že znano najoptimalnejše vezivo bentonit. Rezultati trdnostnih lastnosti, ki so osnovno merilo za ustrezno kvaliteto veziva, so vidni iz slike 1.



Slika 1

Vpliv različnih veziv na trdnostne lastnosti peletov iz mešanice svinčevih poletin (69 % FA + 21 % CA + 7 % FA7 + 3 % FA6)

Fig. 1

Influence of various binding agents on mechanical properties of pellets made of mixture of lead flue dusts (69 % FA + 21 % CA + 7 % FA7 + 3 % FA6).

Samo apno daje kot vezilno sredstvo zadovoljive trdnostne lastnosti tako zelenim kot na zraku sušenim peletom, vezivi bentonit in keradur pa pri takšnih peletih nista zadovoljivi. Obratno je pri toplotnem utrjevanju zelenih peletov, pri katerem apno znižuje trdnosti, relativno precej pa se zviša pri povišanih temperaturah trdnost peletov, izdelanih z bentonitom ali keradurjem.

Ker so za industrijsko predelavo bistveno važne trdnostne lastnosti zelenih in na zraku

sušenih peletov, domnevamo, da od preiskovanih veziv za peletizacijo svinčevih poletin najbolj ustreza apno.

### 2. Trdnostne lastnosti raznih vrst peletov

Za te preiskave smo izdelali pelete z vezivoma bentonit in apno, ki najbolj ustrezata posameznim komponentam mešanice.

Preiskovane mešanice poletin in piritnih ogorkov so bile naslednje:

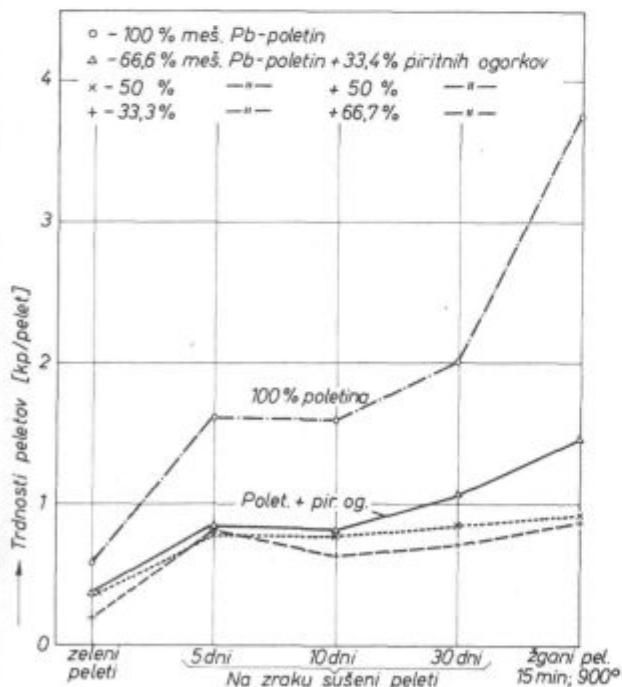
- a) 100 % mešanice svinčevih poletin
- b) 66,6 % mešanice svinčevih poletin + 33,4 % piritnih ogorkov
- c) 50,0 % mešanice svinčevih poletin + 50,0 % piritnih ogorkov
- d) 33,3 % mešanice svinčevih poletin + 66,7 % piritnih ogorkov

Dobljene trdnostne lastnosti peletov, izdelanih iz omenjenih mešanic, podajamo na slikah 2 in 3.

Peleti iz same svinčeve poletine imajo relativno najboljše trdnostne lastnosti, ki se praviloma zmanjšujejo s količino dodanih piritnih ogorkov. Slednje so za zelene in zračno sušene pelete z bentonitom prenizke in menimo, da je tudi za obravnavane mešanice apno najbolj ustrezno vezivo.

Preiskovane mešanice svinčevih koncentratov, svinčevih poletin in piritnih ogorkov so bile naslednje:

- a) 80 % svinčevih koncentratov + 20 % mešanice svinčevih poletin

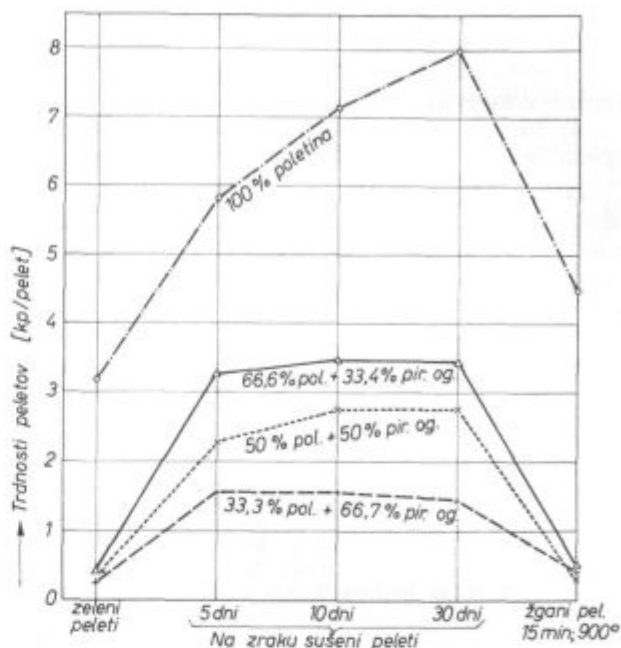


Slika 2

Vpliv različnih mešanic svinčevih poletin in piritnih ogorkov na trdnostne lastnosti peletov — vezivo bentonit (1%)

Fig. 2

Influence of various mixtures of lead flue dusts and pyrite cinder on mechanical properties of pellets — binding agent was bentonite (1%).

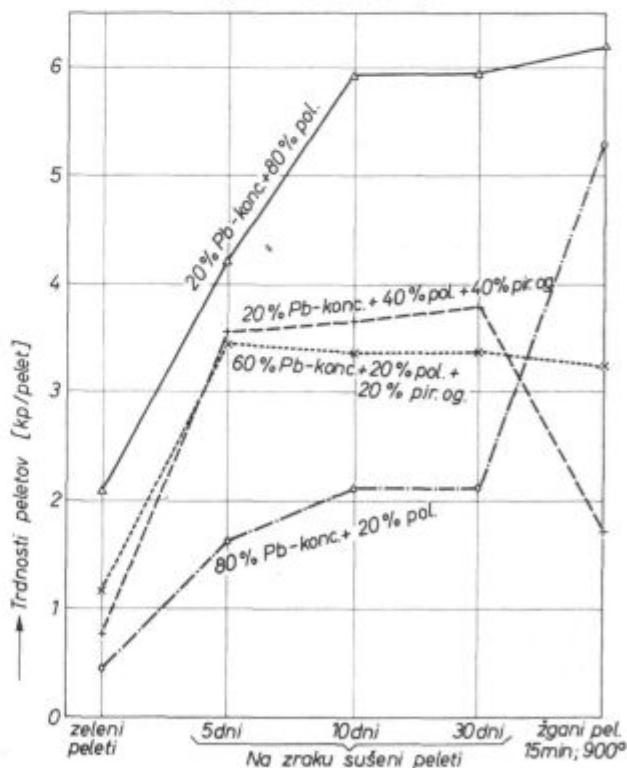


Slika 3

Vpliv različnih mešanic svinčevih poletin in piritnih ogorkov na trdnostne lastnosti peletov — vezivo apno (2%)

Fig. 3

Influence of various mixtures of lead flue dusts and pyrite cinder on mechanical properties of pellets — binding agent was lime (2%).



Slika 4

Trdnostne lastnosti peletov iz mešanice svinčevih koncentratov, svinčevih poletin in piritnih ogorkov — vezivo apno (2%)

Fig. 4

Mechanical properties of pellets from the mixture of lead concentrates, lead flue dusts and pyrite cinder — binding agent was lime (2%).

b) 20 % svinčevih koncentratov + 80 % mešanice svinčevih poletin

c) 60 % svinčevih koncentratov + 20 % mešanice svinčevih poletin + 20 % piritnih ogorkov

d) 20 % svinčevih koncentratov + 40 % mešanice svinčevih poletin + 40 % piritnih ogorkov.

Iz rezultatov na sliki 4 je tudi v tem primeru opaziti znižanje trdnostnih lastnosti s povečevanjem dodajanja piritnih ogorkov. Zeleni in na zraku sušeni peleti iz svinčevih koncentratov in manjših dodatkov svinčevih poletin še zadržijo relativno zadostne trdnosti. Na splošno so poskusi potrdili možnost dodajanja surovih svinčevih koncentratov.

Preiskave vzdržljivosti peletov na pad (maksimalna višina padca peleta preden razpade) so potrdile pri vseh preiskovanih mešanicah približno dvakrat do trikrat večjo odpornost peletov, izdelanih z apnom.

### 3. Trdnostne lastnosti pri višjih temperaturah

Na osnovi številnih poskusov podajamo v tabeli 3 povprečne rezultate trdnosti izotermno žganih peletov. Podatki veljajo za pelete, izdelane iz najznačilnejših preiskovanih mešanic z apnom (2 %) kot vezilnim sredstvom.

Tabela 3: Trdnosti izotermno žganih peletov; čas 15 minut

Mešanica	Utežno razmerje	Trdnosti (kp/pelet) pri temperaturah			
		500° C	700° C	800° C	900° C
Pb — poletina	1	3,18	5,38	5,6	3,9
Pb — poletina Pir. ogorki	0,5 0,5	0,25	0,25	0,29	0,27
Pb — konc.	0,2				
Pb — polet. Pir. ogorki	0,4 0,4	1,24	1,26	1,86	1,71

Trdnostne lastnosti peletov tudi pri višjih temperaturah ponovno dokazujejo negativni vpliv dodajanja piritnih ogorkov. Praviloma peletom z vezivom apna pri višjih temperaturah trdnost pada. Vendar pri obremenitvah na toplotni udar vse vrste peletov ohranijo obliko in ne razpadejo, čeprav je na površinah možno opaziti manjše razpoke in pri višjih temperaturah prve začetke nataljevanja.

## V. REZULTATI INDUSTRIJSKIH POSKUSOV PREDELAVE

Na osnovi rezultatov laboratorijskih poskusov smo za izdelavo peletov na industrijskih napravah izbrali vezivno apno (2 do 3 %). Za poskusne mešanice smo izbrali naslednje:

a) 100 % mešanice svinčeve poletine

b) 75,7 % mešanice svinčeve poletine + 24,3 % piritnih ogorkov

c) 58,8 % mešanice svinčeve poletine + 41,2 % piritnih ogorkov

Mešanica svinčeve poletine (70 % poletine FA, 20 % ciklonske poletine CA in 10 % poletine 9 PF) je podobna uporabljeni mešanici pri laboratorijskih poskusih kakor tudi kvaliteti bodočih novih poletin (NF).

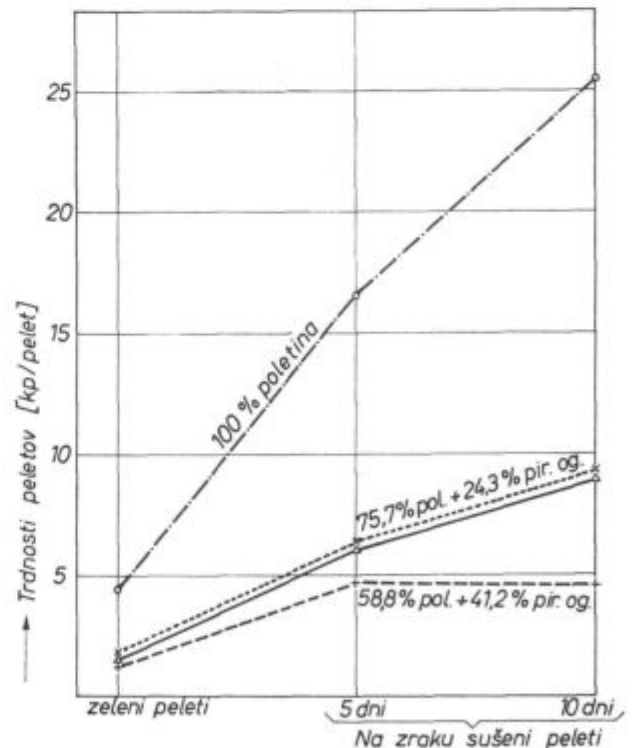
### 1. Uporabljene industrijske naprave

Granuliranje poskusnih mešanic smo delali na industrijskem krožniku premera 2.800 mm, površine 6,15 m<sup>2</sup>, z nagibom 55° in 10 obr./min. v Cinkarni. Mešalec za predpripravo mešanice smo improvizirali z običajnim betonskim mešalcem. Zeleni peleti iz krožnika so preko žleba z ustreznim naklonom drseli v posebej prirejene zbirne kesone. Te smo z viličarji transportirali v pokrit prostor, kjer smo zelene pelete nasipali v približno 20 cm visoke plasti. Temperatura v tem prostoru je bila za okoli 12° C višja od zunanje (okoli 8° C).

Za poskuse ponašanja teh peletov pri praženju smo uporabili industrijske sintrne prazilne naprave v topilniških obratih rudnika Mežica.

### 2. Lastnosti industrijsko izdelanih peletov

V splošnem je znano, da so trdnostne lastnosti industrijsko izdelanih peletov višje od peletov, izdelanih na laboratorijskih napravah.



Slika 5

Trdnosti industrijsko izdelanih peletov iz mešanice svinčevih poletin in piritnih ogorkov — vezivo apno (2,5—3,0 %)

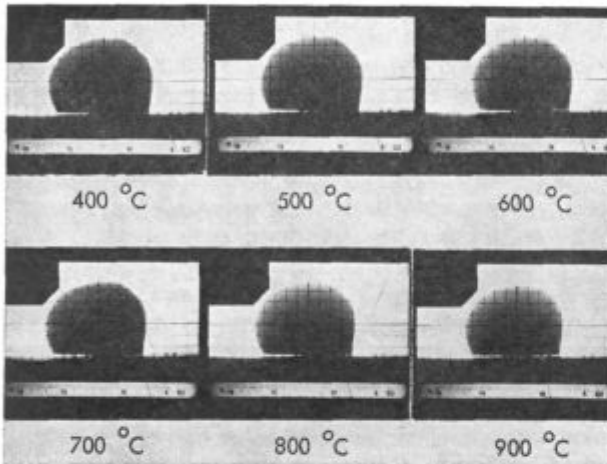
Fig. 5

Mechanical properties of industrially made pellets from mixture of lead flue dusts and pyrite cinder — binding agent was ilme (2.5 to 3%).

V našem primeru so trdnosti tako zelenih kot sušenih peletov za približno trikrat večje od laboratorijsko izdelanih. Vsi zeleni peleti z vsebnostjo vlage 6—8 % vzdržijo padec iz višine 3,5 m. Slika 5 podaja podrobnejše rezultate dobljenih trdnosti.

Vpliv piritnih ogorkov na znižanje trdnostnih lastnosti peletov se pojavlja tudi pri teh peletih, vendar so trdnosti teh zelenih in predvsem na zraku sušenih peletov povsem zadostne za vse nadaljne mehanske obremenitve.

Ponašanje peletov pri višjih temperaturah v Leitzovem talilnem mikroskopu je prikazano na slikah 6 in 7. Opazna niso nikakoli nabrekanja in razpokanja peletov pri višjih temperaturah. Pri

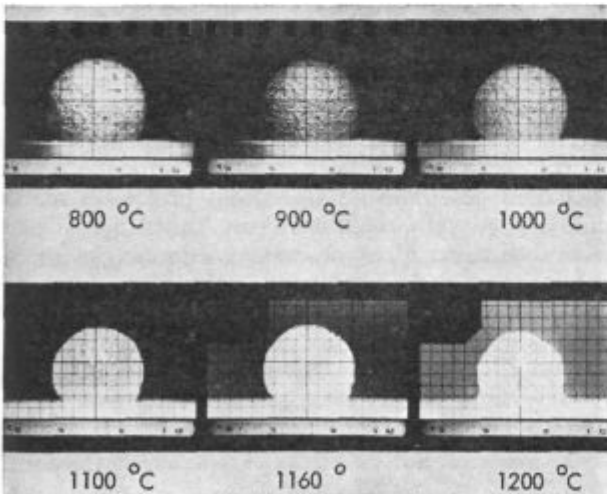


Slika 6

Ponašanje peletov iz 58,8 % mešanice svinčevih poletin in 41,2 % piritnih ogorkov pri temperaturah do 900° C

Fig. 6

Behaviour of pellets made of 58,8 % lead flue dusts and 41,2 % pyrite cinder at 900° C.



Slika 7

Ponašanje peletov iz 58,8 % mešanice svinčevih poletin in 41,2 % piritnih ogorkov pri temperaturah do tališča

Fig. 7

Behaviour of pellets made of 58,8 % lead flue dusts and 41,2 % pyrite cinder at temperatures up to the melting point.

temperaturah nad 900° C se opaža krčenje peleta, pri 1100° C se pojavljajo natalitve površine in se pri nadaljnjem poviševanju začnejo nataljevanje celotnega peleta.

Vsebnost Fe v peletih, izdelanih iz mešanic, omenjenih na začetku poglavja v, pod b) in c) je v mejah od 15,2—17,2 %, SiO<sub>2</sub> od 1,2—2,0 % in vsebnost CaO od 3,5—4,4 %.

### 3. Ponašanje peletov na industrijski pražilni napravi

Vse mehanske obremenitve transporta in prešipavanja pri obstoječih industrijskih pražilnih napravah so peleti vzdržali, kakor tudi mešanje v mešalcu tipa Eirich skupno z ostalimi vsipnimi materiali (približno 41 % koncentrata, 12 % peletov, 45 % povratka in 2 % žindre).

Pri izsipavanju iz mešalca v bunker nad sintnim trakom je zaradi precejšnje višinske razlike nastopalo delno razmešanje — peleti so se nabirali predvsem ob zunanji steni bunkerja. Ta pojav pa zaradi izhajanja materiala iz cele površine dna bunkerja ni vplival na enakomernost vsipanja mešanice na trak. Vizuelna kontrola vzdržnosti peletov na toplotni udar pri vsipavanju na že razžarjeno posteljšico na pražilnem traku je dala pozitivno oceno.

Zaradi relativno manjše količine izdelanih peletov (okoli 5000 kg) ni bilo možno eksperimentalno ugotoviti tudi tehnološke prednosti, ki jih daje zamenjava fino zrnate poletine z granulirano pri procesu sintranja. Te prednosti so iz ustrezne strokovne literature znane in smo pri nadaljnjih izračunavanjih upoštevali tako dobljene podatke.

## VI. PREDVIDENI TEHNOLOŠKO-EKONOMSKI UČINKI V PROIZVODNJI

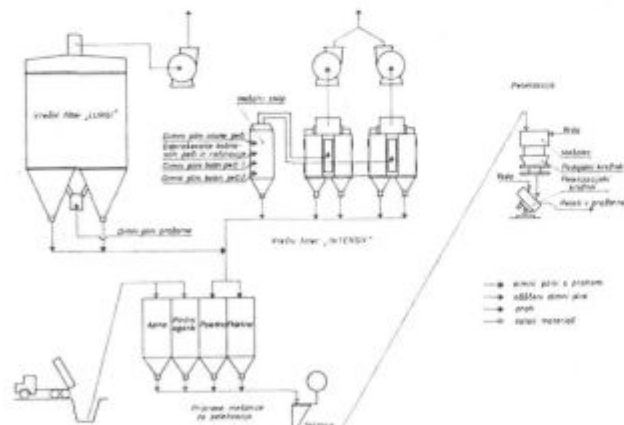
Že predelava v sedanjih starih filtrih ulovljenih poletin predstavlja zaradi svojih specifičnih lastnosti nekatere tehnološke probleme, ki se kažejo predvsem v prvi fazi proizvodnje svinca — v pražarni. Prevelika količina fino prašnate poletine povzroča gosto in nepropustno zmes, kar bistveno vpliva na kvaliteto in kvantiteto praženja. Zaradi pregoste zmesi je potreben večji pritisk zraka, porazdelitev zraka je neenakomerna, zgorevanje počasno, na površini pražilne zmesi ostajajo surova, neizpražena oziroma nesintrana gnezda. Od kvalitete praženca, ki mora biti dobro sprazhen, porozen, trden in primerne velikosti, je odvisno nadaljne delo agregatov za redukcijo, od količine praženca pa proizvodnja, oziroma stroški.

Z dodajanjem peletov, ki so produkt enega izmed postopkov za spremembo fino prašnatih materialov v skepljeno obliko (ostali postopki so še briketiranje, aglomeriranje, kompaktiranje in podobno), dobimo bolj porozno pražilno zmes. S tem dobimo pri procesu praženja boljšo porazdelitev zraka, boljše in hitrejše zgorevanje (praženje) in zaradi tega večjo produkcijo ter kvalitetnejši praženec. Istočasno pa ta sprememba stanja

poletine pripomore tudi k preprečevanju ponovnega (sekundarnega) prašenja, ki bi nastalo pri nadaljnjih manipulacijah z ulovljeno poletino (transport, vskladiščenje). Tako menimo, da je peletizacijska naprava sestavni del odpraševalnega sistema metalurških obratov rudnika Mežica.

S postavitvijo nove, dodatne filtrirne naprave, s katero bomo popolnoma preprečili emisijo prahu, se bo letna količina poletine povečala za 60 %, kar bi povzročalo dodatne tehnološko-ekonomske probleme. Vendar pričakujemo, da se bo produktivnost pražarne kljub povečani količini poletine z uporabo peletov povečala za 8 %, kar je na leto pri današnjih razmerah enomesečna proizvodnja kovine v pražarni. Zaradi peletizacijske naprave lahko v pražarni ob enaki proizvodnji agregatov za redukcijo (topilnice) preidemo na čisti 42-urni delovni teden s tremi izmenami; odpade četrta izmena. Letni prihranek takega dela je 16 % dejanskih stroškov pražarne v letu 1974. Druga ekonomsko pozitivna postavka je zamenjava takojmenovane blagajske žilindre, ki jo uporabljajo, kot talilo v šahtni peči, s cenejšimi piritnimi ogorki, kar predstavlja letno zopet 11 % dejanskih stroškov visoke peči v letu 1974. S temi prihranki pokrijemo letne stroške peletizacijske naprave, ki bo predvidoma odplačana v sedmih letih.

Na sliki 8 je prikazana shema celotnega odpraševalnega sistema metalurških obratov in predvideni tok materialov. Poleg nekaj manjših filtrov deluje danes samo vrečni filter Lurgi, vse ostalo je predmet programa in projekta »Izgradnja filtra Intensiv za čiščenje topilniških plinov in peletizacijske naprave za pripravo ulovljene poletine za ponovno predelavo«.



Slika 8

Shema odpraševalnega sistema metalurških obratov

Fig. 8

Scheme of the dust cleaning system of metallurgical plants.

## VII. PREDVIDENA IZGRADNJA USTREZNIH INDUSTRIJSKIH NAPRAV

Z ozirom na tehnologijo, izkušnje in priporočila smo se odločili za peletizacijsko napravo nemške firme Eirich. Celotna naprava, ki bo imela pripravo mešanice (bunkerji za poletino, piritne

ogorke in apno, dozirni polži, dozirna vrtljiva celična zapirala, avtomatska 4-komponentna tehtnica) in peletizacijo (skip, mešalec, podajalni krožnik, peletizacijski krožnik) bo nameščena v posebni stavbi in bo v bistvu tvorila zaključeno tehnološko celoto.

Naprava bo imela kapaciteto 3,4 t peletov/uro in bo tako avtomatizirana in krmiljena, da bo za delo pri napravi potreben samo 1 delavec na izmeno. Predvideno je kontinuirno delo.

Glavni agregat peletizacijske naprave — peletizacijski krožnik — ima tovarniško oznako TR 22, premer krožnika 2 200 mm, višino stranice 600 mm, število vrtljajev se lahko spreminja od 15 do 22 obr./min. Vležajen je na okvir, katerega nagib lahko brezstopenjsko spreminjamo od 50° do 92° naproti vertikalni osi.

Za intenzivno premešanje različnih komponent in za vlaženje smo predvideli Eirichov protismerni mešalec oznake DE 14, kjer se spodnji del vrtilni v smeri urnih kazalcev, temu gibanju nasprotno pa je gibanje ekscentrično pritrjene »zvezde«, na kateri so v različnih višinah pritrjene štiri lopate za mešanje. Naklon teh lopat sili material tudi k vertikalnemu gibanju.

Poleg zvezde je v mešalcu še tako imenovan vrtnčasti mešalec (Sogwirbler), ki celotno maso še bolj temeljito in hitreje premeša. Z njegovim delovanjem se že tvorijo kalli peletov, istočasno pa se v mešalcu ne tvorijo grude, ki bi pozneje motile tako enakomerno dodajanje preko podajalnega krožnika kot tudi samo peletiziranje. Prav tako nimamo več opraviti s čisto prašnatim materialom in se v nadaljnjem procesu skoraj ne praši več. Mešalec dela diskontinuirano, kapaciteta ene mešanice je 0,5 m<sup>3</sup>, na uro pa lahko naredi osem do dvanajst mešanic.

Diskontinuirano delo mešalca kompenzirata vmesni bunker in podajalni krožnik Eirich oznake UE 62, s katerim brezstopenjsko reguliramo dodajanje materiala v peletizacijski krožnik od 1 do 5 t/h.

Polindustrijski poizkusi so pokazali uspešnost peletiziranja poletin, oziroma mešanic poletin in piritnih ogorkov. Ko bo naprava obratovala, bomo poizkusili peletiziranje še ostalih prašnatih materialov, predvsem medproduktov rafinacije svinca za optimizacijo direktne predelave v agregatih za redukcijo (kratka bobnasta peč). Zato smo že v osnovnem konceptu projekta predvideli morebitno kasnejšo postavitev še enega krožnika, kar bi zmogljivost naprave povečalo za 65 %, kajti vsi ostali deli in sklopi peletizacijske naprave imajo zmogljivost 5 t/h.

## VIII. ZAKLJUCKI

— Laboratorijski in industrijski poskusi potrjujejo možnost peletiranja mešanice svinčevih poletin in piritnih ogorkov. Možno je tudi dodati svinčeve koncentrate.

— V vseh primerih raziskovanih mešanic je za peletizacijo apno najugodnejše vezilno sredstvo.

— Trdnostne lastnosti zelenih in na zraku sušenih peletov svinčevih poletin se znižujejo z dodajanjem piritnih ogorkov.

— Dodajanje svinčevih koncentratov mešanici za peletizacijo delno poslabša fizikalne lastnosti zelenih in na zraku sšenih peletov, vendar ne do kritičnih vrednosti.

— Fizikalne lastnosti industrijsko izdelanih peletov iz svinčevih poletin in piritnih ogorkov so povsem zadovoljive za premagovanje mehanskih obremenitev pri procesih v pražilnih napravah.

— Obremenitve na toplotni udar pri pogojih industrijskega sintnega praženja vzdržijo skoraj vse vrste industrijsko izdelanih peletov.

— Na osnovi rezultatov obravnavanih laboratorijskih in industrijskih poskusov in tudi poskusov pri dobavitelju opreme (samo s poletino) smo v okviru novih investicij izbrali ustrezne naprave.

— S pomočjo novih naprav za peletizacijo bomo uspešno preprečevali ponovno prašenje, ki bi nastalo pri nadaljnjih manipulacijah z ulovljenim prahom.

— S prihranki pri predelovalnih proizvodnih stroških zaradi uporabe peletizirane poletine z dodatkom piritnih ogorkov bo možno pokriti visoke investicijske stroške novih peletizacijskih naprav v sklopu celotnega odpraševalnega sistema v metalurških obratih.

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Zweck der Untersuchungen war die Verarbeitung des Bleiflugstaubes aus den Hüttenbetrieben des Bergwerkes Mežica zu optimieren. Von mehr laboratorisch untersuchten Bindemittel für die Pelletisierung von Flugstaub hat sich Kalk (2–3 %) am besten bewährt wenn auch bei höheren Temperaturen die Festigkeit der Pellets etwas abnimmt. Im industriellen Ausmass erzeugten Pellets haben dreimal grössere Festigkeit welche auch bei höheren Temperaturen noch zufriedenstellend ist. Der Zusatz der Schwefelkiesabbrände erniedrigt regelrecht die Festigkeit um etwa 50 % jedoch ist bei industriell erzeugten Pellets die Festigkeit noch genügend um den mechanischen und wärmebeanspruchungen im Röstprozess zu widerstehen.

Wegen der Verbesserung der Technologie des Röstens des pelletisierten Bleiflugstaubes ist ein Ersparnis von ca 16 % an jährlichen Betriebskosten der Röstanlage. Durch den Zusatz von billigen Schwefelkiesabbränden zu den Pellets, wird der jetzt angewendete Fe-Flussmittel für den Hochofen weggelassen, wodurch eine jährliche Erniedrigung der Betriebskosten um 11% zu erwarten ist. Mit diesen Ersparnissen wird es möglich sein in sieben Jahren die Investitionskosten für die Pelletisieranlage zu decken. Auch die Staubentwicklung in den Hüttenbetrieben wird dadurch abgeschafft.

## SUMMARY

Investigations were made to find optimal treatment of lead flue dusts from the smelter of Mežica lead mine. In laboratory tests of various binding agents for pelletising dusts the best results were obtained by addition 2 to 3 % lime, though the strength of pellets at higher temperatures was partially reduced. Industrially made pellets had three times greater strengths which were satisfactory still at higher temperatures. Addition of pyrite cinder regularly reduces strength to about one half but the strength of industrial pellets is still sufficient (about 10 kg/pellet) for mechanical and thermal load in the roasting process.

The improved technology of roasting using pelletized lead flue dusts may reduce operating costs of the roasting plant for about 16 %. Addition of cheaper pyrite cinder in the pelletising process will eliminate the addition of present iron flux necessary for blast furnace, thus reducing the operation costs for further 11 %. These savings can cover in seven years the investment for the pelletising plant. Simultaneously also dust from the smelter will be removed.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

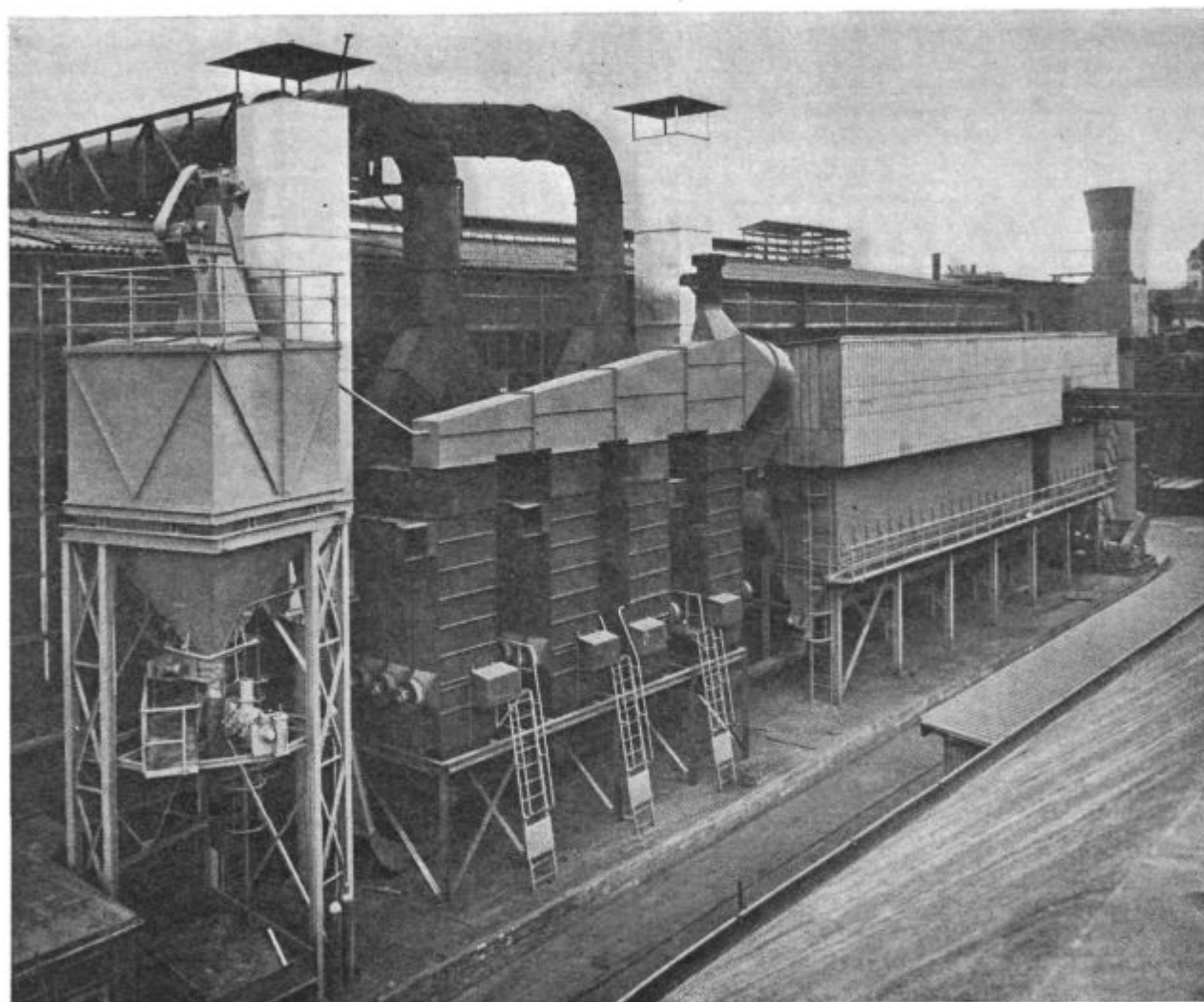
Цель исследований была оптимизация переработки свинцовых окатышей из плавильного завода рудника Межница.

Из довольно большого количества исследованных связующих средств для окомкования окатышей наиболее оптимальное связующее средство известь (2–3 %), несмотря на то, что при более высоких темп. прочность окатышей частично снижается. Окатыши приготовлены промышленным способом оказали прочность которая в три раза превышала прочность лабораторных окатышей и отвечали требованиям даже при более высоких температурах. Добавка пиритных огарков по праву снижает прочность окатышей прибл. 50 % но всё-таки окатыши приготовлены промышленным способом прочности прибл. 10 кг/ок., выдержали

механические и тепловые напряжения в время процесса отжига. Вследствии улучшения технологии отжига при употреблении окомкованных свинцовых окатышей можно в обжитательном цехе предвидеть уменьшение расходов прибл. до 16 %. Добавка более дешёвых пиритных огарков в процессе окомкования исключает добавку Fe — флюса при доменной печи и таким образом уменьшает годовые расходы производства прибл. до 11 %. С этим сбережением будет возможно в течении семи лет работы покрыть капитальное вложение в установку для выделки окатышей. Из плавильного цеха будет также устранена отжигательная установка.

# INTENSIV FILTER

*Zato da bo zrak ostal čist*



INTENSIV hladilniki  
za vroče pline in  
INTENSIV vrečasti  
filter za odpraševanje  
4 elektro-obločnih peči

Generalni zastopnik za  
Jugoslavijo:  
Rudniki svinca in topilnica  
Mežica z n. sol. o. 62392 Mežica  
Telefon (062) 89-610  
Telex 33-124 yu rudme

- montaža
- vzdrževanje
- rezervni deli

Intersiv — Filter  
BmbH + Co. KG  
5620 V lbert 11 (Langen-  
berg)  
Z. R. Nemčija  
Telefon (02127) 5031  
Telex 08516799

Projektiramo in izdelujemo:

- vrečaste filtre
- ciklone, multiciklone
- mokre odpraševalnike
- hladilnike za pline
- ventilatorje
- izdelujemo vreče za filtre

Dobavljamo kompletne odpraševalne naprave za vse panoge industrije

# Vpliv temperaturnega in deformacijskega režima simuliranega valjanja na lastnosti nekaterih jekel

Aleksander Kveder

*Predelavnost jekel pogosto preizkušamo s torzijskim preizkusom v vročem. Vendar so temperaturni in deformacijski režimi pri predelavah v praksi drugačni, zato je potrebno tem razmeram prilagoditi tudi način preizkušanja. Način predelave lahko vpliva tudi na lastnosti jekla, zato moramo pri določanju optimalnega temperaturnega intervala predelave upoštevati tudi strukturo in lastnosti jekla.*

## I. UVOD

Za plastično preoblikovanje kovin sta v metalurško tehnološkem smislu bistvenega pomena: 1. sposobnost kovine za plastično preoblikovanje, ali kot pravimo, predelavnost kovine; 2. struktura in lastnosti kovine, ki jih dobimo po takem ali drugačnem temperaturnem in deformacijskem režimu predelave.

Predelavnost kovin lahko določamo na več načinov, vendar je torzijski preizkus v vročem izpodrinil v zadnjih letih skoraj vse druge metode. Poglavitni rezultat tega preizkušanja je predelavnost jekel, ki jo izrazimo s temperaturno odvisnostjo števila obratov do preloma. Iz te odvisnosti lahko določimo optimalni temperaturni interval predelave, kar je za prakso izrednega pomena.

Na Metalurškem inštitutu smo napravili že vrsto raziskav predelavnosti jekel, ki jih proizvajajo Slovenske železarne.

Kljub zanimivim in koristnim rezultatom prej omenjenih raziskav smo imeli tudi kritične pomsleke. Prvi od teh je bil, da sta temperaturna režima pri torzijskem preizkušanju in pri valjanju ali kovanju v praksi različna. Na primer, jeklo pred valjanjem segrejemo na temperaturo 1250° C in ga nato deformiramo z več parcialnimi deformacijami pri kontinuirno padajoči temperaturi do 900° C ali celo nižje. Vprašanje je bilo, ali bo predelavnost tega jekla, določena s torzijskim preizkusom pri 1000° C, ustrezala predelavnosti jekla, ki se je na to temperaturo ohladilo iz višje temperature. Naredili smo precej obsežno raziskavo in ugotovili, da lahko pri nekaterih jeklih temperaturni režim močno vpliva na predelavnost jekla (A. Kveder, M. Taučer: Vpliv temperaturnega in

deformacijskega režima, količine raztopljenih karbidov in vrste legiranja na predelavnost jekla, poročilo MI štev. 115, marec 1973, in ista avtorja: Einfluss der Temperaturführung bei Warmverdrehsversuchen zur Beurteilung der Warmumformbarkeit von Stählen, Arch. Eisenhüttenwesen 45 (1974), Nr 7, julij, 465—469). Rezultate te raziskave smo razložili z dejstvom, da se struktura pri legiranih in karbidnih jeklih spreminja do visokih temperatur (raztapljanje, preurejanje karbidov), da se pri ohlajanju iz višje temperature pojavlja histereza teh pojavov in tako sta strukturi istega jekla pri isti temperaturi lahko zelo različni. Tu gre za razlike v sestavi trdne raztopine, količini, velikosti in razporeditvi karbidov in tudi za velikost kristalnih zrn. Vse to pa lahko zelo vpliva na procese, ki se dogajajo med deformiranjem, kot so dinamična poprava ali celo rekristalizacija, odrazijo pa se v predelavnosti kovine. Sklep te raziskave je bil, da moramo pri takih jeklih upoštevati tisto predelavnost, ki jo dobimo z ohlajanjem iz višje temperature in z ozirom na to tudi določiti optimalni temperaturni interval predelave. Nasprotno pa jekla, ki niso legirana ali pa malo legirana, tega pojava ne kažejo izrazito.

Drugi pomislek smo poskusili razjasniti v raziskavi, katere opis sledi. Problem in izhodišče smo postavili takole: ali je predelava v optimalnem temperaturnem intervalu tudi zagotovilo za optimalno strukturo in lastnosti jekla po predelavi? Pri karbidnem jeklu UTOP Mo 1 smo opazili, da ga lahko zelo dobro predelujemo v intervalu med 1300 in 900° C, toda pri 1100° C ima to jeklo drobnozrnato avstenitno karbidno strukturo, nad 1200° Celzija pa grobozrnato avstenitno strukturo. Kakšni bosta torej strukturi in kako se bodo razlikovale lastnosti tega jekla, če ga bomo predelovali iz te ali one najvišje temperature? Problem sega torej že iz okvira čistih predelavnostnih lastnosti kovine.

## II. MATERIALI IN NAČIN RAZISKOVANJA

### 1. Preiskovana jekla

Jekla, katerih sestava je v tabeli 1, so proizvodne taline. Preizkušance smo naredili iz kovanjih in toplotno obdelanih palic debeline 18 mm.



Tabela 1: Kemične sestave preizkušanih jekel

Jeklo	Kemična sestava v %									
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	N	
Č. 1940, OC 100	1,02	0,17	0,27	0,05	0,01	0,01	0,03	0,16		
Č. 4581, Prokron 9	0,80	1,53	0,44	19,90			3,57	0,11		
Č. 4588, 21-4-N	0,52	0,17	8,41	21,00			1,48	0,07	0,378	
Č. 4751, UTOP Mo 1	0,37	0,94	0,40	5,13	1,28	0,38	0,18	0,19		

Toplotne obdelave so bile naslednje:

Č. 1940 — OC 100: Mehko žarjenje 700 °C, 8 ur; posebne toplotne obdelave za posamezne preizkuse so opisane pri rezultatih.

Č. 4581 — Prokron 9: Mehko žarjenje, 790 °C, 8 ur.

Č. 4588 — 21-4-N: Gašeno, 1100 °C, voda.

Č. 4751 — UTOP Mo 1: Mehko žarjeno, 830 °C, 8 ur.

## 2. Račun deformacij in ohlajevalne hitrosti

Razmere deformiranja in ohlajevanja smo hoteli čimbolj približati razmeram valjanja jekla v praksi. Popolnoma to seveda ni mogoče, saj se torzijska deformacija razlikuje od pretežno enosne deformacije pri valjanju in skupna deformacija torzijskega preizkušanca se po polmeru cilindričnega dela spreminja linearno od določene vrednosti na površini do nič v sredini. Pri preiskavah, pri katerih so rezultati odvisni od mesta v vzorcu, ki ga lahko poljubno izberemo (metalografija, trdote), to nima nobenega vpliva, pri preizkusih, pri katerih smo uporabili cel preizkušavec (natezni preizkus), pa moramo upoštevati, da so rezultati nekoliko manj selektivni, kot bi bili v primeru enake deformacije po vsem preseku.

Za osnovo smo vzeli skupno konvencionalno deformacijo:

$$\epsilon_k = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad \text{ali} \quad \epsilon_k = \frac{F_0 - F_f}{F_0}$$

$l_0$ ,  $F_0$  in  $l_f$ ,  $F_f$  so oznake za dolžine, oziroma preseke pred valjanjem in po njem. Ta deformacija je v praksi pogosto zelo različna — izbrali smo vrednost 0,98, oziroma 98 %. Razmerje med konvencionalno deformacijo in logaritmično deformacijo  $\Sigma_{ln}$  je:

$$\epsilon_{ln} = \ln(\epsilon_k + 1)$$

Sledi

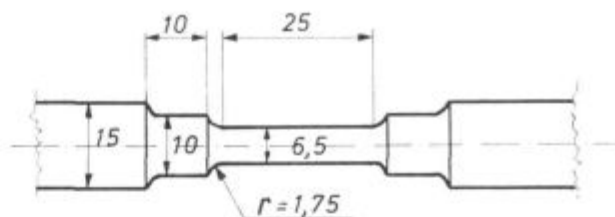
$$\epsilon_{ln} = \ln(0,98 + 1) \approx 0,7 \quad \text{ali} \quad 70 \%$$

Po Rossardu in Blainu (Rev. Met., 1962, 59, 233) je razmerje med logaritmično deformacijo in strižno deformacijo  $\gamma$ :

$$\epsilon_{ln} = \frac{\gamma}{2} \quad \gamma = 2\epsilon_{ln} \approx 1,4 \quad \text{ali} \quad 140 \%$$

Mere preizkušanca kaže slika 1.

Za račun deformacij in tudi za metalografske raziskave smo izbrali mesto pri polmeru  $r = 3$  mm, to je 0,25 mm pod površino. Za en obrat preizkušanca je torej deformacija pri  $r = 3$  mm



Slika 1  
Torzijski preizkušavec

Fig. 1  
Torsion test piece.

$$\gamma = \frac{r \cdot \theta}{L} = 0,75 \quad \text{ali} \quad 75 \%$$

$\theta$  je torzijski kot (za 1 obrat je  $2\pi$ ),  $L$  pa torzijska dolžina.

Za deformacijo, ki bi ustrezala konvencionalni deformaciji 98 %, sta torej potrebna približno 2 obrata preizkušanca. Odločili smo se za 8 deformacij po 0,25 obrata.

Za simulacijo ohlajevanja jekla smo predpostavili, da se jeklo pri valjanju ohlajuje približno enakomerno hitro. Ker se jeklo tanjša in periodično dotika hladnih valjev, je ohlajevanje tudi pri nižjih temperaturah približno enako hitro kot pri višjih. Zato smo torzijski preizkušavec ohlajevali v peči s približno enakomerno hitrostjo 60 °C na minuto. To hitrost ohlajevanja smo uporabljali pri vseh preizkusih ohlajevanja na nižje temperature in torziranja do prelomov, kot tudi pri preizkusih simulacije valjanja, ko smo med ohlajevanjem osemkrat deformirali preizkušavec po 0,25 obrata.

## 3. Način raziskovanja

Torzijski stroj ima dvodelno silitno peč za temperature do 1350 °C. Preizkuse smo opravili v argonu, da smo preprečili močno oksidacijo pri visokih temperaturah. Vrtilna hitrost je bila 4,5 obrata na minuto.

Metalografske raziskave in slike smo naredili 0,25 mm pod površino na vzdolžnem preseku torziranega dela preizkušanca. Primerjalne nedeformirane strukture pa so iz debelejšega dela preizkušanca, takoj za torzijskim cilindrom. Jekla s transformacijo smo jedkali na avstenitno strukturo z različnimi kombinacijami nasičenih vodnih ali alkoholnih raztopin pikrinove kisline z večjimi ali manjšimi dodatki Agepona.

Natezne preizkuse deformiranih preizkušancev smo izvršili tako, da smo torzirani del postružili od izhodne debeline 6,5 mm na 6 mm in izvršili normalni preizkus do pretрга. Izmerili smo trdnost, raztezek in kontrakcijo.

## III. REZULTATI RAZISKAV

Pri posameznih jeklih smo naredili naslednje preiskave:

— določitev predelavnosti na standarden torzijski način, to je s segrevanjem preizkušancev na temperature preizkusov,

— določitve predelavnosti z ohlajanjem preizkušancev iz določenih višjih temperatur na temperature preizkušanja,

— simulacija valjanja z različnimi variacijami začetnih in končnih temperatur,

— metalografske in mehanske raziskave.

### 1. Jeklo Č. 1940-OC 100

Čeprav smo to jeklo pred izdelavo preizkušancev mehko žarili 8 ur na 700°C, je bila struktura lamelarni perlit in skoraj brez opazne sferoidizacije. Vendar pa jeklo ni imelo mreže sekundarnega cementita po kristalnih mejah.

Na sliki 2 so krivulje predelavnosti, dobljene s standardnimi torzijskimi preizkusi, to je s segrevanjem na temperature preizkušanja. Osnovna krivulja, ki ima v legendi pripombo »lamelarni perlit«, ima zanimivo in nenavadno obliko. Do  $A_{c1}$  ima jeklo zelo slabo predelavnost ( $A_{c1}$  — začetek je pri 745°C,  $A_{c1}$  — konec pa pri 760°C — glej v zgornjem delu diagrama del dilatometrijske krivulje za segrevanje tega jekla). Od 800°C se predelavnost izredno močno izboljša, od nepolnih 3 obratov do 50 obratov do preloma. To temperaturno področje glede na dilatometrijsko krivuljo zelo dobro ustreza področju med  $A_{c1}$  in  $A_{cm}$ . Nato se predelavnost do 980°C poslabša, nakar ponovno narašča do maksimuma približno pri 1150°C, vendar tudi še pri 1300°C predelavnost ni slaba.

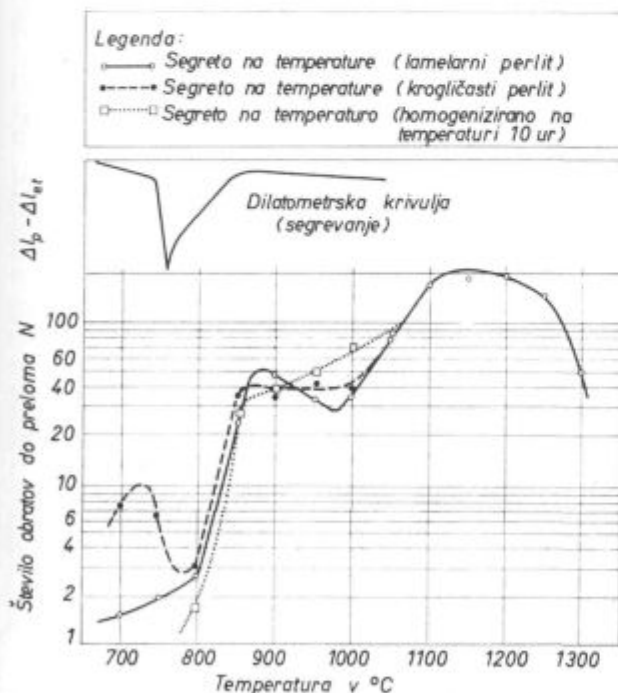


Fig. 2

Steel Č. 1940 — OC 100: Workability curves obtained by heating samples to the temperature.

Slika 2

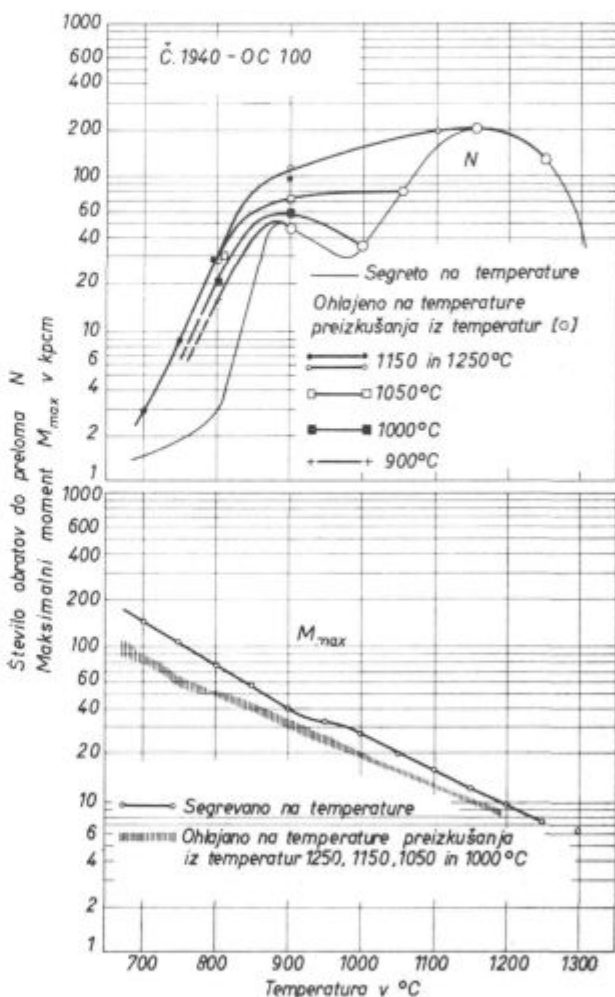
Jeklo Č. 1940 — OC 100: Krivulje predelavnosti, dobljene s segrevanjem preizkušancev na temperature

Preizkušance za drugo serijo smo mehko žarili z nihanjem temperature med 650°C in 800°C in dobili pretežno sferoidizirano strukturo (krogličasti perlit). Na sliki 2 vidimo, da se pojavi značilno povečanje predelavnosti tik pod  $A_{c1}$ , zmanjšanje predelavnosti med 880 in 980°C pa je le malo ublaženo.

V tretji seriji smo preizkušance pred preizkusom segrevali 10 ur. Ustrezna krivulja na sliki 2 pokaže precejšnjo izravnavo predelavnosti nad 900°C.

Sklepamo torej lahko, da se predelavnost med 850 in 950°C poslabša zaradi nehomogenizirane avstenitne trdne raztopine.

Preizkuse z ohlajanjem preizkušancev iz višjih temperatur na temperature preizkusov prikazuje slika 3. Ohlajanje iz vseh temperatur izredno



Slika 3

Jeklo Č. 1940 — OC 100: Krivulje predelavnosti, dobljene z ohlajanjem preizkušancev iz višjih temperatur na temperature preizkusov (zgoraj) in krivulje maksimalnih momentov (spodaj).

Fig. 3

Steel Č. 1940 — OC 100: Workability curves obtained by cooling samples from higher temperatures on the testing temperature (upper curves), and curves of maximal moments (lower curves).

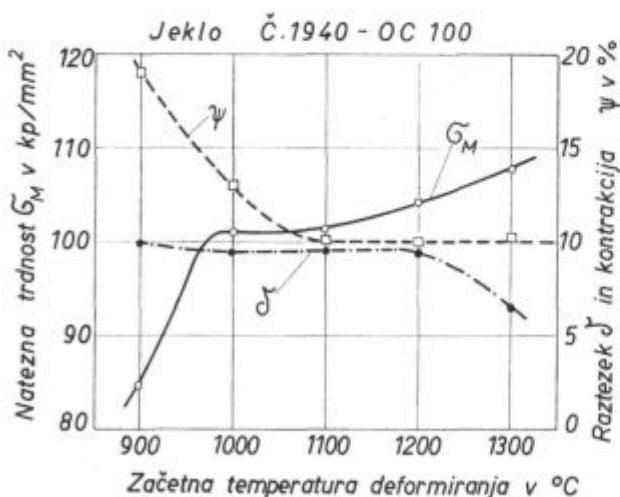
izboljša predelavnost tega jekla, celo ohladitev iz 1250 °C da pri nižjih temperaturah zelo dobre predelavnosti, čeprav so kristalna zrna pri tem že tako velika, da jih lahko merimo v mm. To dokazuje, da tudi izredno povečanje kristalnih zrn na višjih temperaturah ne poslabša predelavnosti pri deformacijah na nižjih temperaturah. Seveda velja ta trditev le za homogene enofazne strukture, pri katerih povečevanje zrn ne spremlja še kakšen drug pojav, npr. preurejanje težko topnih karbidov iz sferoidizirane oblike v mrežo po kristalnih mejah.

Digram na sliki 3 prikazuje krivulje maksimalnih momentov v odvisnosti od temperature. Vidimo, da je razlika v maksimalnih momentih med preizkusi segrevanja in ohlajanja na temperature ne le do 900 °C, kot bi lahko predvidevali glede na histerezo raztapljanja in izločanja sekundarnega cementita, temveč tudi pri višjih temperaturah. Boljša predelavnost pri ohlajevalnih preizkusih se torej kaže tudi v manjši predelavni trdnosti, izraženi z maksimalnim momentom.

Lastnosti jekla OC 100 smo ugotavljali s preizkušanci, ki smo jih deformirali po načinu simulacije valjanja iz različnih začetnih temperatur in v različnih temperaturnih intervalih. Pet preizkušancev smo deformirali v naslednjih temperaturnih intervalih:

- 1300—1000 °C
- 1200— 950 °C
- 1100— 850 °C
- 1000— 800 °C
- 900— 750 °C

Prva deformacija je bila na zgornji temperaturi, nato je v enakomernih temperaturnih presledkih sledilo šest deformacij, zadnjo pa smo izvedli na spodnji temperaturi. Vse preizkušance



Slika 4

Jeklo Č. 1940 — OC 100: Mehanske lastnosti v odvisnosti od začetne temperature deformiranja

Fig. 4

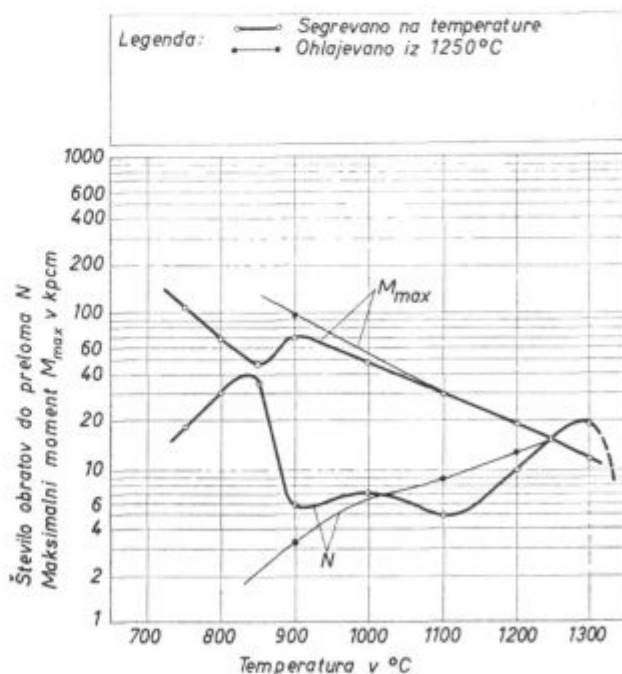
Steel Č. 1940 — OC 100: Mechanical properties depending on the initial temperature of deformation.

smo po zadnji deformaciji hladili v peči do 750 °C, nato pa zunaj peči, vendar v zaščitni cevi. S tem smo dosegli, da so se v vseh primerih hladili preizkušanci prek transformacijskega temperaturnega intervala s približno enako hitrostjo. Pred nateznimi preizkusi nismo izvedli nobene toplotne obdelave.

Na sliki 4 so prikazani rezultati nateznih preizkusov v odvisnosti od začetne temperature deformiranja. Natezna trdnost se od 1300 do 1000 °C zniža od 108 na 101, nato pa pri 900 °C pade na 84,5 kp/mm<sup>2</sup>. Od 1100 °C do 900 °C se kontrakcija poveča od 10 % na približno 20 %. Vpliv velikosti kristalnega zrna je vsekakor jasno izražen, posebno med 1000 in 900 °C, ko se začne sekundarna rekristalizacija, oziroma nagla rast kristalnih zrn. Na osnovi teh rezultatov bi bil optimalni temperaturni interval predelave — predvsem glede na lastnosti jekla po predelavi — med 900 in 750 °C. Z ozirom na razmere predelave v valjarnah pa je tak interval nerealen. Verjetno pa je, da zgornja temperatura predelave ne bi smela preseči 1150 °C.

## 2. Jeklo Č. 4751 — UTOP Mo 1

Predelavnost jekla UTOP Mo 1 po načinu segrevanja in ohlajanja na temperature preizkusov je prikazana na sliki 5. Če izvzamemo feritno karbidno področje, doseže predelavnost najboljše vrednosti pri 1300 °C, in če za določanje spodnje temperature predelavnosti upoštevamo krivuljo, dob-



Slika 5

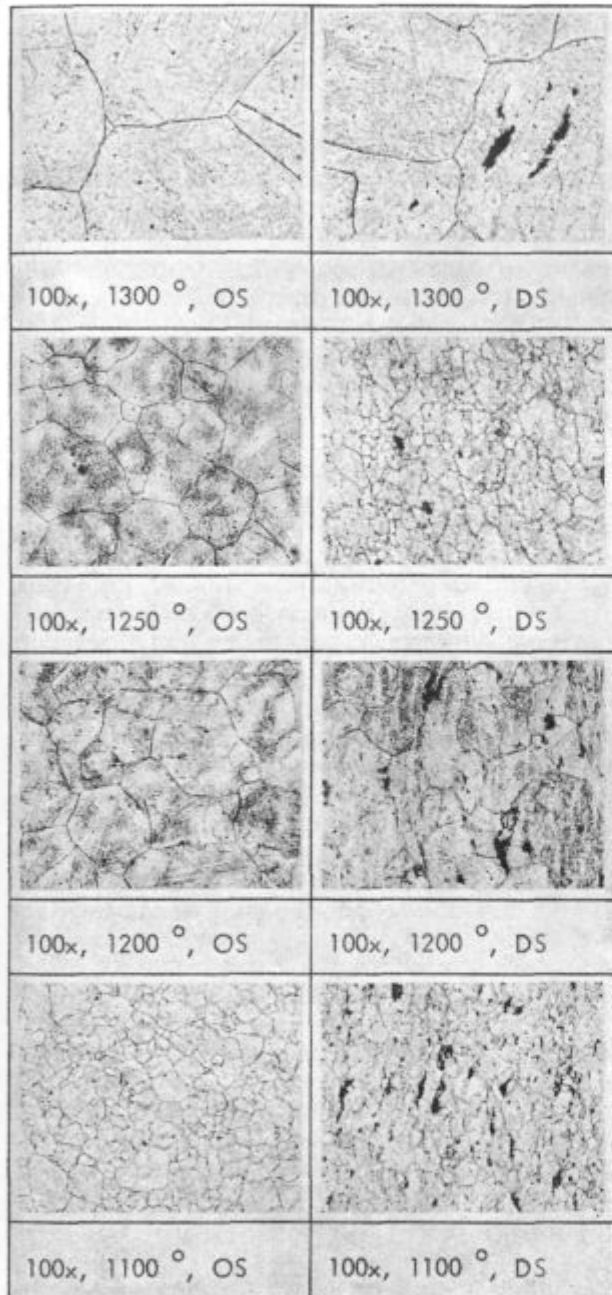
Jeklo Č. 4751 — UTOP Mo 1: Krivulje predelavnosti in maksimalnih momentov, dobljene s segrevanjem in ohlajanjem preizkušancev na temperature preizkusov

Fig. 5

Steel Č. 4751 — UTOP Mo 1: Workability curves and curves of maximal moments, determined by heating and cooling of samples to the testing temperature.

ljeno po načinu ohlajevanja, dobimo optimalni temperaturni interval predelave od 1270° do 900 °C.

Metalografske posnetke struktur teh preizkušancev prikazuje slika 6. Posnetke osnovne ne-deformirane strukture (pri slikah je oznaka OS) smo naredili na vzorcih, odrezanih tik za torzijskim cilindričnim delom, torej na mestu, kjer se



Slika 6

Jeklo Č. 4751 — UTOP Mo 1: Strukture po segretju na temperature in deformiranju (OS — osnovna struktura, DS — deformirana struktura)

Fig. 6

Steel Č. 4751 — UTOP Mo 1: Structure after heating sample to the temperature, and after the deformation (OS — basic structure, DS — deformed structure).

preizkušanec ni deformiral. Strukturo deformiranega dela (na slikah je oznaka DS) pa smo opazovali in slikali na rezu po vzdolžni osi torziranega cilindra. Slike so narejene približno 0,25 mm pod površino.

Na 1300 °C nastane zelo groba avstenitna struktura. Med deformacijo ali po njej se struktura rekristalizira v prav tako groba zrna. Na 1250 in 1200 °C nastaja srednje groba struktura, medtem ko je na 1100 °C struktura drobnozrnata.

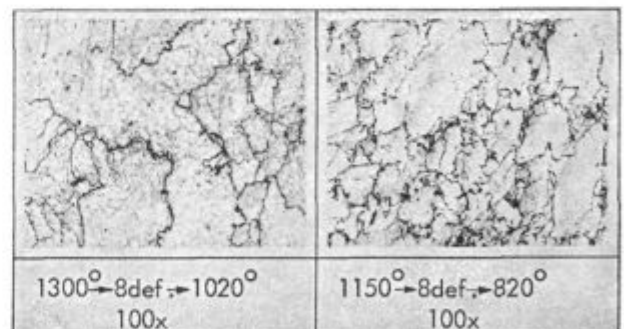
Deformiranje po načinu simuliranega valjanja smo izvedli dvakrat — prvič za pregled struktur in drugič za lastnosti jekla.

Za pregled struktur smo izvedli preizkusa v območju 1300 do 1020 °C in 1150 do 820 °C. Strukturi prikazuje slika 7. Deformiranje pri višjih temperaturah da grobo strukturo z opazno deformiranimi avstenitnimi zrni in brez sledu dinamične ali statične rekristalizacije. Očitno je, da so posamezne deformacije premajhne, da bi pri teh visokih temperaturah jeklo rekristaliziralo. Tudi pri deformiranju med 1150 in 850 °C jeklo ne rekristalizira, vendar je struktura bistveno drobnejša.

Za lastnosti jekla smo naredili simulacijske preizkuse v naslednjih temperaturnih območjih:

1300—1100 °C  
1200— 920 °C  
1150— 880 °C  
1100— 850 °C  
1050— 820 °C  
950— 800 °C  
830— 720 °C

Temperaturni interval predelave pod Ac<sub>1</sub> točko (830—720 °C) je verjetno preozek za tehnično rabo, vredno pa je omeniti, da se v njem to jeklo lažje predeluje kot v intervalu 1000—800 °C. Vzrok je v manjši predelovalni trdnosti ferita. Celo predelavnost je precej boljša kot v avstenitnem področju (glej sliko 5).



Slika 7

Jeklo Č. 4751 — UTOP Mo 1: Strukturi po simuliranem deformiranju v temperaturnih intervalih 1300 do 1020° C in 1150 do 820° C

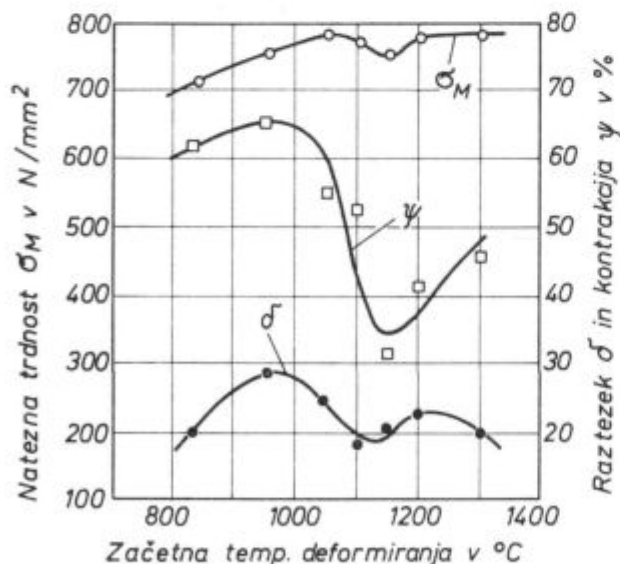
Fig. 7

Steel Č. 4751 — UTOP Mo 1: Structures after simulated deformation in the intervals 1300 to 1020° C and 1150 to 820° C.

Po deformiranju smo preizkušance mehko žarili 4 ure na 800 °C. Nato smo površino postružili tako, da so nastali preizkušanci za natezni preizkus z merilno dolžino 25 mm in debelino 6 mm. Pri natezih preizkusih smo merili natezno trdnost, raztezek in kontrakcijo.

Diagram na sliki 8 prikazuje odvisnost mehanskih lastnosti od začetne temperature deformiranja. Izrazito dobre mehanske lastnosti dobimo, če jeklo predelujemo pri temperaturah od 1000 °C navzdol, torej pri temperaturah, pri katerih ima jeklo še drobnozrnato avstenitno strukturo s sorazmerno precej karbidi. Tako predelano jeklo ima majhno natezno trdnost in izredne plastične lastnosti — kontrakcijo, ki presega 60 % in raztezek med 20 in 30 %. S povečanjem začetne temperature od 1000 do 1150 °C se izrazito poslabša kontrakcija, pa tudi raztezek. V tem temperaturnem intervalu se tudi zaključuje raztapljanje karbidov. Metalografski pregled preizkušanca, ki je bil deformiran z začetno temperaturo 1150 °C, je pokazal precej izrazito verižno razporeditev karbidov. Med ohlajanjem in deformiranjem so se karbidi izločali predvsem po mejah, podmejah in dvojčičnih črtah. Pri višjih temperaturah ima jeklo na začetku deformiranja vedno čisto avstenitno strukturo. Ker je višja tudi končna temperatura deformiranja, ne pride do verižnega izločanja karbidov in njihova razporeditev po mehkem žarjenju je mnogo enakomernejša. Zato se tudi raztezek in kontrakcija nekoliko izboljšata. Najenakomernejšo razporeditev karbidov pa ima jeklo, deformirano z začetnimi temperaturami 1100 °C ali nižjimi.

Iz vseh raziskav jekla UTOP Mo 1 lahko ugotovimo:



Slika 8

Jeklo Č. 4751 — UTOP Mo 1: Mehanske lastnosti v odvisnosti od začetne temperature deformiranja

Fig. 8

Steel Č. 4751 — UTOP Mo 1: Mechanical properties depending on the initial temperature of deformation.

— da je to jeklo s stališča tehnološke predelavnosti sorazmerno dobro predelavno vse od 1300 °C navzdol in celo v ozkem feritno karbidnem področju pod  $A_{c1}$  točko, vendar pa

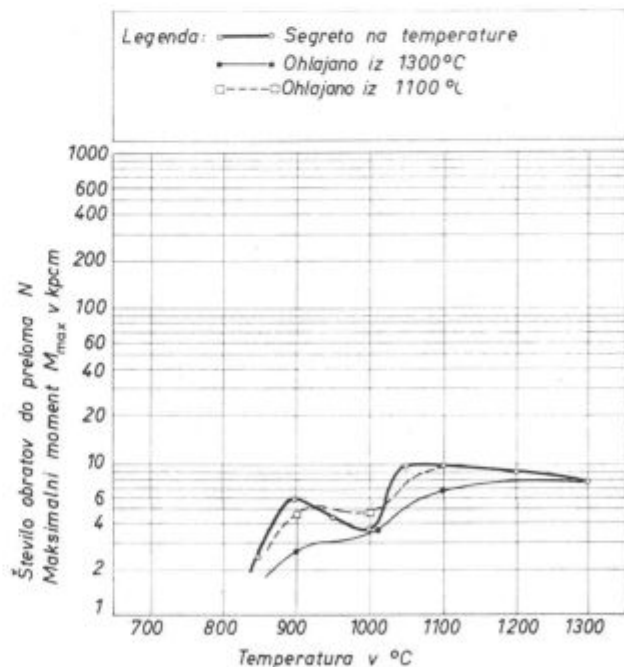
— glede na lastnosti jekla po predelavi ni priporočljivo valjati jeklo pri začetnih temperaturah 1100 do 1200 °C. Neugodna razporeditev karbidov, ki pri tem nastane, ima lahko slabe posledice tudi pri kasnejši uporabi jekla.

Optimalna temperatura začetka predelave je torej med 100 in 1050 °C, alternativno pa še temperature med 1200 in 1250 °C.

### 3. Jeklo Č. 4588, 21-4-N

Predelavnosti jekla 21-4-N, določene po načinih segrevanja in ohlajanja na temperature preizkusov, so prikazane na sliki 9. V splošnem je predelavnost tega jekla zelo slaba. Pri načinu preizkušanja s segrevanjem preizkušancev je med 900 in 1050 °C izrazito poslabšanje predelavnosti zaradi raztapljanja karbidov. Od 1050 do 1300 °C se predelavnost spremeni zelo malo, tako da je na osnovi te krivulje težko določiti zgornjo dopustno temperaturo pred predelavo. Za predelavnost, ki smo jo določili z ohlajanjem iz temperatur 1300 in 1100 °C pa velja, da je tem slabša, čim višja je temperatura prvotnega segrevanja.

Strukture tega jekla po segretju in deformiranju na teh temperaturah kaže slika 10. Pri 1300 °C je struktura grobozrnata in brez karbidov, nitridi pa so združeni v perlitu podobnih skupkih.



Slika 9

Jeklo Č. 4588; 21-4-N: Krivulje predelavnosti, dobljene s segrevanjem in ohlajanjem preizkušancev na temperature preizkusov

Fig. 9

Steel Č. 4588, 21-4-N: Workability curve obtained by heating and cooling of samples to the testing temperature.

Ti nitridni skupki so samo v sredini nedeformiranega vzorca, ki je debel 10 mm, v deformiranem delu, ki je debel le 6,5 mm, pa jih tudi v sredini skoraj ni. Sklepamo, da dušik pri tej temperaturi izhaja iz jekla. Po deformaciji je struktura rekristalizirana in še bolj grobozrnata. Pri 1200 °C je zrnatost srednja, kristalna zrna so nenormalno oblikovana, ker so migracijo kristalnih mej neenakomerno ovirali izločki po kristalnih mejah in v matrici, in karbidi še niso popolnoma raztopljeni. Zelo pomembno pa je, da se nitridi pri 1200 °C že začenjajo zbirati v prej omenjene, vendar manjše perlitne skupke. Na tej temperaturni jeklo tudi več ne rekristalizira.

Pri 1100 °C je osnovna struktura drobozrnata z drobnimi izločki v matrici, po kristalnih mejah in dvojčičnih lamelah. V strukturi pri 1000 °C je opazno močno kristalno, oziroma dendritsko izcejanje.

*Deformiranje po načinu simuliranega valjanja:*

Za preiskavo struktur smo preizkušance deformirali v štirih temperaturnih intervalih:

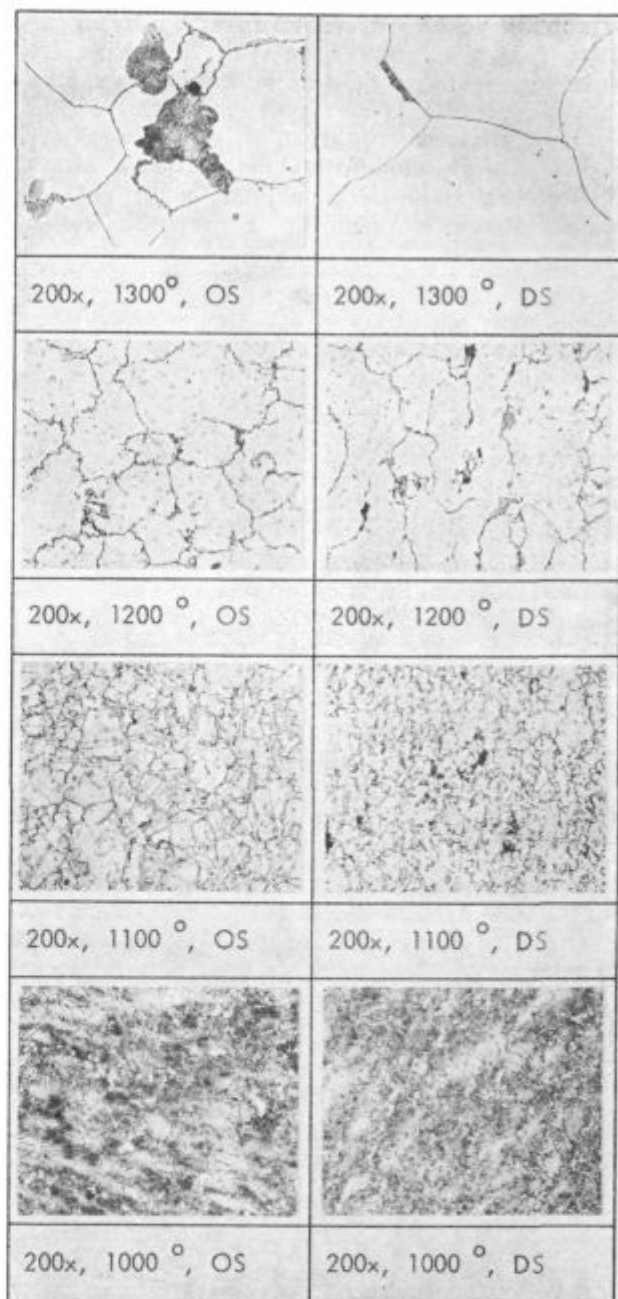
- 1300 do 1050 °C
- 1200 do 950 °C
- 1100 do 850 °C
- 1000 do 850 °C

Strukture na nedeformiranem (OS) in deformiranem (DS) delu preizkušancev kaže slika 11. Struktura pri 1300 °C je grobozrnata; zaradi sorazmerno počasnega ohlajevanja do 1050 °C opazimo v zrnih potemtivne, ki jih povzročajo drobni izločki. Struktura po osmih deformacijah med 1300 in 1050 °C ni rekristalizirana. Na posnetkih osnovne in deformirane strukture po deformacijah med 1200 do 950 °C opazimo značilnosti, ki smo jih že omenili — neenakomerno oblikovana struktura, pri čemer se nedeformirana in deformirana struktura dosti ne razlikujeta, predvsem pa opazimo izrazite perlitno oblikovane skupke nitridov. Pomembna je tudi ugotovitev, da se pri 1200 °C karbidi začno preurejati iz krogličaste oblike v tanek karbidni film po kristalnih mejah; dejansko so vsa kristalna zrna obdana s tem filmom. Celo pri sferoidnih karbidnih delcih, ki so blizu kristalne meje, se vidi, kako se iztekajo v ta film. Po deformiranju med 1100 in 850 °C še opazimo strukturo zaradi delnega raztapljanja in kasnejšega izločanja karbidov in nitridov, po deformiranju med 1000 in 850 °C pa zrn ne vidimo več, temveč le večje in drobnejše karbide in nitride.

Za določitev mehanskih lastnosti smo izvedli deformiranja na enake načine kot za strukture, to je v območjih

- od 1300 do 1050 °C
- 1200 do 950 °C
- 1100 do 850 °C in
- od 1000 do 850 °C

s tem, da smo vsak način deformiranja izvedli dvakrat.



Slika 10

Jeklo C.4588, 21-4-N: Strukture po segretju na temperature in deformiranju (OS — osnovna struktura, DS — deformirana struktura)

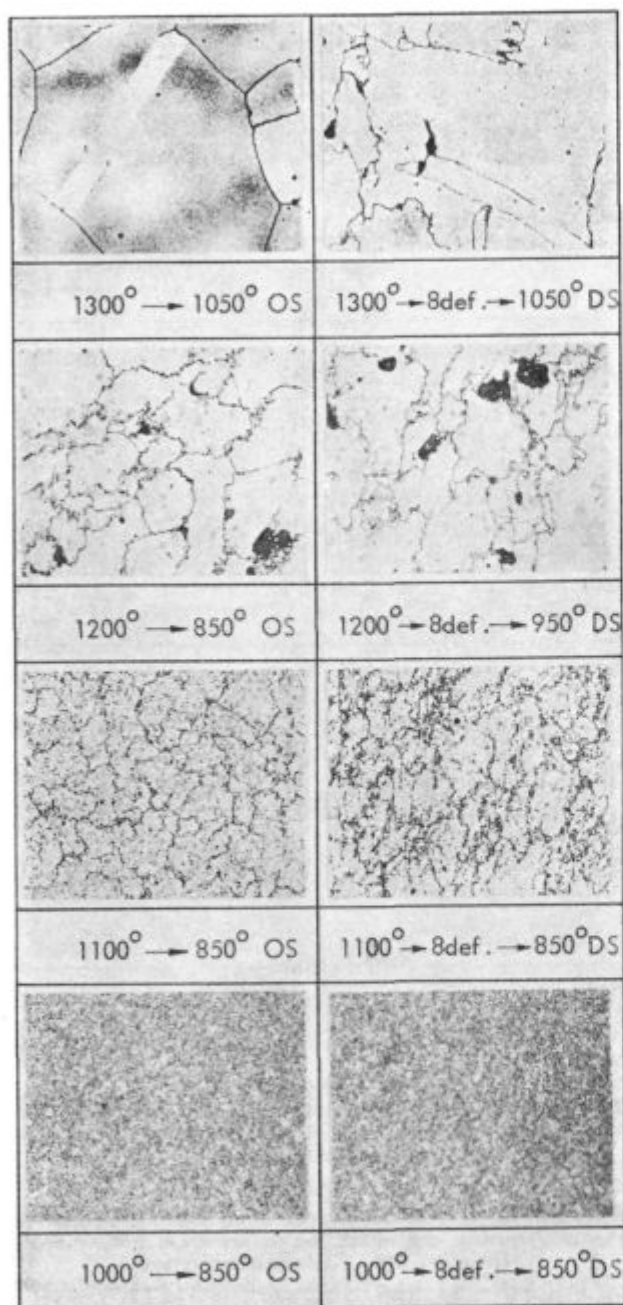
Fig. 10

Steel C.4588, 21-4-N: Structures after heating sample to the temperature, and after the deformation (OS — basic structure, DS — deformed structure).

Pred preizkušanjem smo po en preizkušaneč gasili (1100 °C, voda), drugega pa smo preizkusili brez toplotne obdelave. Rezultati nateznih preizkusov so prikazani na diagramu na sliki 12. Najboljše raztezke in kontrakcije dobimo, če začnemo predelavo pri 1300 °C. Toda tega ne moremo upoštevati iz naslednjih razlogov: pri tej temperaturi izhaja dušik iz jekla, globlje v jeklu pa

se zbira v velike nitridne skupke. V vsakem primeru pa s tem preprečimo vpliv dušika na lastnosti tega jekla pri delu na visokih temperaturah (npr. pri ventilih, ko se zaradi izločevalnih učinkov povečata toplotna trdnost in obrabna obstojnost).

Pri začetni temperaturi deformiranja 1200 °C dobimo zelo slabe lastnosti jekla, celo v gašenem stanju. Vzrok je razumljiv iz prejšnjih metalo-

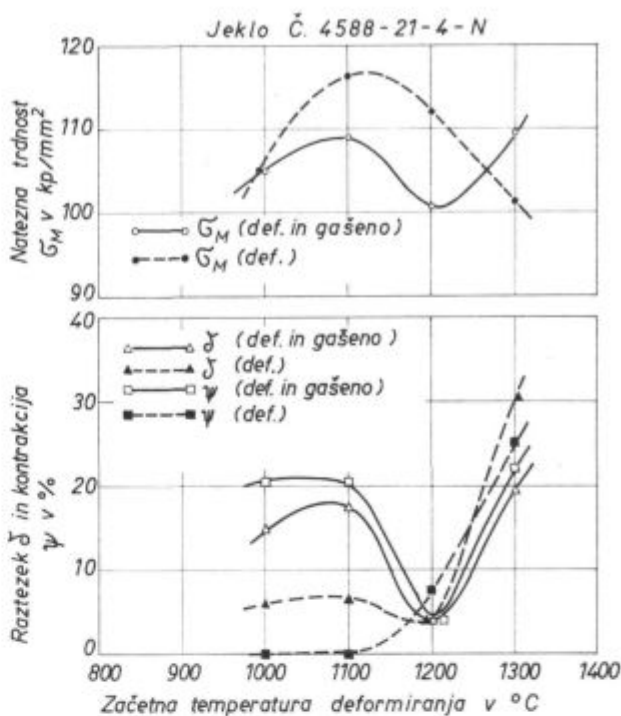


Slika 11

Jeklo C. 4588, 21-4-N: Strukture po simuliranem deformiranju v štirih temperaturnih intervalih (OS — osnovna struktura, DS — deformirana struktura)

Fig. 11

Steel C. 4588, 21-4-N: Structures after simulated deformation in four temperature intervals (OS — basic structure, DS — deformed structure)



Slika 12

Jeklo C. 4588, 21-4-N: Mehanske lastnosti v odvisnosti od začetne temperature deformiranja

Fig. 12

Steel C. 4588, 21-4-N: Mechanical properties depending on the initial temperature of deformation.

grafskih razlag: pri tej temperaturi velik del karbidov še ne gre v raztopino, obenem pa je temperatura že dovolj visoka, da poteka intenzivno preurejanje karbidov iz sferoidov v film po kristalnih mejah. Tega bistveno ne spremene niti delne deformacije pri ohlajevanju. Tudi naknadno gašenje (1100 °C, voda) ne spremeni strukture, zato tudi raztezek in kontrakcija ostaneta tako slaba kot v deformiranem stanju.

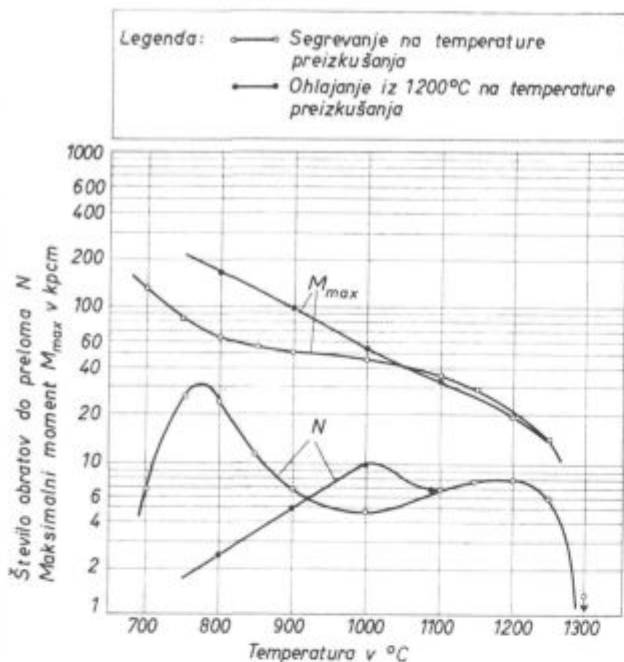
Pri začetnih temperaturah deformiranja 1100 in 1000 °C so lastnosti že bistveno boljše, posebno v gašenem stanju.

Rezultati preiskav jekla 21-4-N so torej naslednji:

Iz predelavnosti, določene s torzijskimi preizkusi, nismo mogli določiti optimalne zgornje temperature predelave tega jekla, saj se število obratov do preloma od 1050 do 1300 °C bistveno ne spremeni. Raziskave struktur in lastnosti po deformiranju pa pokažejo, da tega jekla v nobenem primeru ne smemo pred predelavo segrevati na višje temperature od 1150 °C. Glede na to, da so segrevanja v praksi mnogo daljša kot pri naših preizkusih, bi bila še ustrežnejša najvišja temperatura 1100 °C, oziroma optimalni temperaturni interval predelave od 1100 do 850 °C.

#### 4. Jeklo C. 4581, Prokron 9

Predelavnosti jekla Prokron 9, določene po načinih segrevanja in ohlajanja na temperature preizkusov, so prikazane na sliki 13. V ozkem zgor-



Slika 13

Jeklo C. 4581, Prokron 9: Krivulje predelavnosti, dobljene s segrevanjem in ohlajanjem preizkušancev na temperature preizkusov

Fig. 13

Steel C. 4581, Prokron 9: Workability curves obtained by heating and cooling samples to the testing temperature.

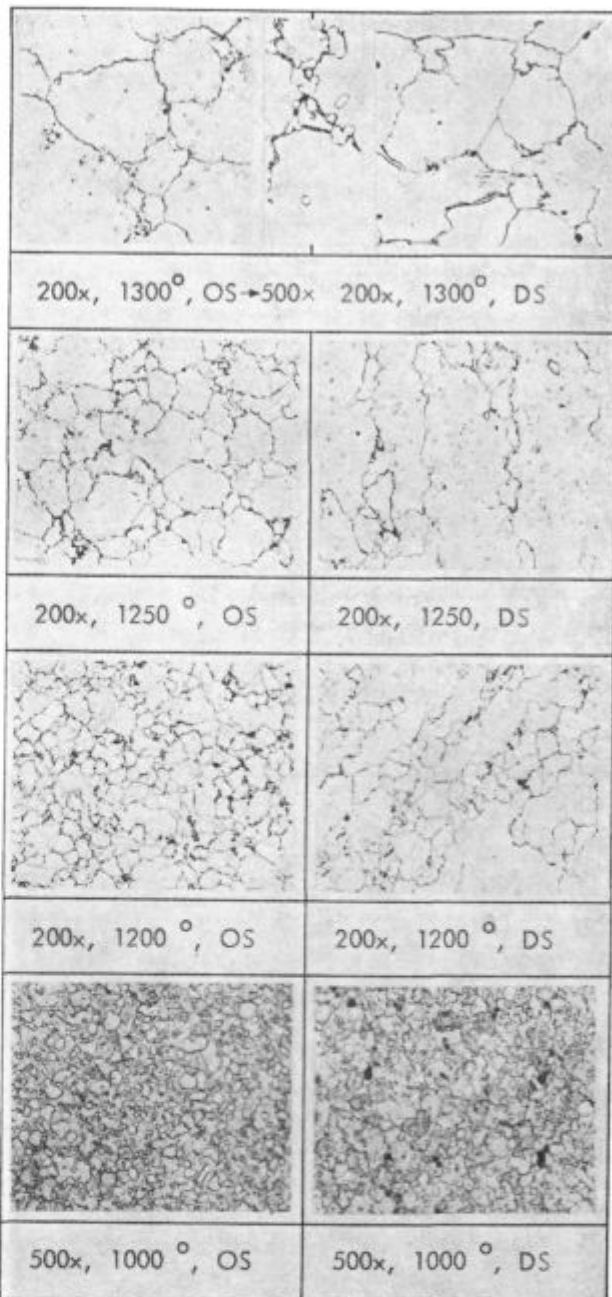
njem feritno karbidnem območju med 700 in 800° Celzija doseže predelavnost celo 30 obratov do preloma, nato pa se slabša do 1000 °C. Ta potek krivulje je značilen za jekla, ki se transformirajo v zelo širokem temperaturnem intervalu. Najboljša predelavnost je pri 1200 °C, medtem ko se pri 1300 °C jeklo poruši brez deformacije.

Pri preizkusih z ohlajanjem iz 1200 °C se pojavi izboljšanje predelavnosti pri 1000 °C, ker je v tem primeru struktura brez ferita. Pri nižjih temperaturah se predelavnost slabša, tako da predelava pod 850 °C ne bi bila več umestna. Na osnovi krivulj predelavnosti je priporočljiv temperaturni interval predelave od 1200 do 850 °C.

Strukture po segretju in deformiranju kaže slika 14. Pri 1300 °C je struktura grobozrnata in vsebuje še precej eutektičnih karbidov. Na vmesni sliki pri petstokratni povečavi vidimo tudi mrežnato razporejene karbide po kristalnih mejah. Deformirana struktura je podobna osnovni strukturi, ker se je jeklo prelomilo že po minimalni deformaciji.

Na 1250 °C je struktura že sorazmerno drobna, pri deformaciji pa nastajajo bolj groba, razpognjena zrna. Na 1200 °C je struktura že zelo drobozrnata.

Do sedaj omenjene strukture na 1300, 1250 in 1200 °C so jedkane na avstenitna kristalna zrna, v svetli osnovi pa je martenzit. Na 1000 °C nismo



Slika 14

Jeklo C. 4581, Prokron 9: Strukture po segretju na temperature in deformiranju (OS — osnovna struktura, DS — deformirana struktura)

Fig. 14

Steel C. 4581, Prokron 9: Structures after heating sample to the temperature, and after the deformation (OS — basic structure, DS — deformed structure)

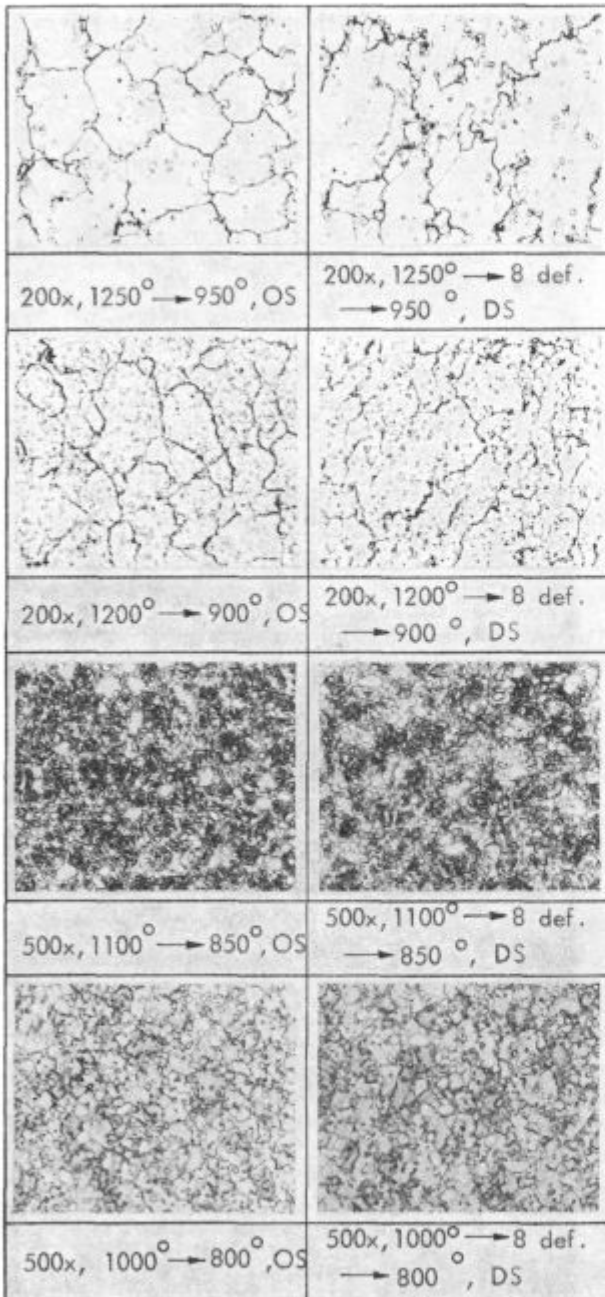
uspeli z jedkanjem za odkrivanje avstenitnih zrn, ker so ta verjetno zelo drobna in njihove meje tečejo od enega do drugega karbidnega delca. Struktura po segrevanju in deformiranju na 1000° Celzija je torej martenzitno-karbidna.

Deformiranje po načinu simuliranega valjanja: Za preiskave struktur in posebej za ugotovitev



mehanskih lastnosti smo izvedli simulirana deformiranja v naslednjih temperaturnih intervalih:

1250—950 °C  
 1200—900 °C  
 1200—800 °C  
 1100—850 °C  
 1000—800 °C  
 800—700 °C



Slika 15

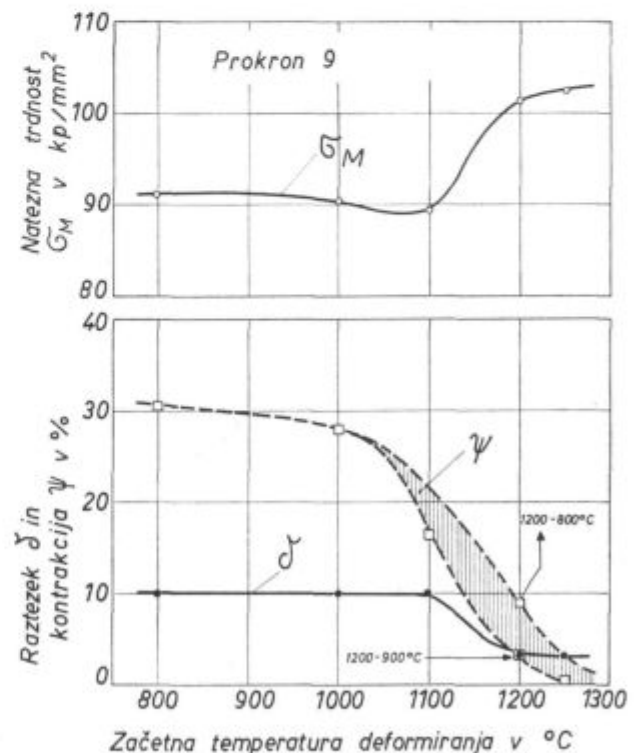
Jeklo C. 4581, Prokron 9: Strukture po simuliranem deformiranju v štirih temperaturnih intervalih (OS — osnovna struktura, DS — deformirana struktura)

Fig. 15

Steel C. 4581, Prokron 9: Structures after simulated deformation in four temperature intervals (OS — basic structure, DS — deformed structure).

Strukture po teh preizkusih prikazuje slika 15. Pri začetnih temperaturah 1250 in 1200 °C opazimo mrežasto strukturo, ki se po deformaciji delno razbije in delno spremeni v še bolj groba zrna. Pri strukturi na 1200 °C opazimo, da je precej bolj groba kot tista, prikazana v sliki 14, kljub isti temperaturi. To pomeni, da lahko tudi pri 1200 °C pride do močnejše rasti zrn, deformacija pa rast še pospeši. Strukture, ki ustrezajo začetni temperaturi 1100 °C — ali nižjim, so podobne tistim na sliki 14.

Preizkušance za mehanske preiskave smo po deformiranju žarili 4 ure na 790 °C, nato pa izvedli natezne preizkuse. Rezultati so prikazani na sliki 16. Po deformiranju iz začetnih temperatur 1250 in 1200 °C dobimo veliko trdnost (nad 100 kp/mm<sup>2</sup>) in zelo slab raztezek in kontrakcijo. Kontrakcija pri deformiranju iz 1200 °C pa se nekoliko izboljša, če je končna temperatura deformacij 800 °C, in ne 900 °C. Med 1200 in 1100 °C, oziroma 1000 °C se kontrakcija in raztezek močno izboljšata, natezna trdnost pa se zmanjša za približno 10 kp na kvadratni milimeter. Značilen prehodni interval med 1200 in 1100 °C lahko razložimo s strukturinimi spremembami podobno kot pri jeklu 21-4-N. Nad 1100 °C se začne intenzivno preurejanje sferoidnih karbidov v film po kristalnih mejah. Gle-



Slika 16

Jeklo C. 4581, Prokron 9: Mehanske lastnosti v odvisnosti od začetne temperature deformiranja

Fig. 16

Steel C. 4581, Prokron 9: Mechanical properties depending on the initial temperature of deformation.

de na to, da je segrevanje jekla v praksi precej daljše kot pri naših preizkusih, sodimo, da najvišja temperatura predelave tega jekla ne sme presegati 1100 °C.

#### IV. OBRAVNAVA REZULTATOV

Rezultate obravnavamo večinoma že pri opisu naših raziskav in preizkušanj. V splošnem lahko ugotovimo, da rezultati potrjujejo, da na predelavo jekla ne moremo gledati le s stališča najboljše predelavnosti, to je plastičnosti jekla in z ozirom na to določati parametre predelave. V tej raziskavi smo izbrali določen način deformiranja in ugotavljanja struktur in mehanskih lastnosti jekla po predelavi. Nedvomno so v določenih razmerah in pri nekaterih jeklih pomembni še drugi faktorji, kot so predelovalna trdnost, razni tehnološki predelovalni faktorji, npr. širjenje jekla in drugo. Mnoge težave nastopajo v proizvodnji pri mehkiem žarjenju specialnih jekel, predelovalna industrija pa celo že od brzoreznih jekel pričakuje, da so sposobna za hladno oblikovanje, npr. vtiskavanje. Vprašanje je torej, ali lahko te posebne lastnosti dobimo le s posebnimi toplotnimi obdelavami in v koliki meri bi lahko na to vplivali tudi z ustrezno predelavo.

S torzijskimi preizkusi ugotavljamo, da ima večina jekel najboljšo predelavnost (največ obratov do preloma) pri temperaturah od 1200 do 1325 °C Celzija. Strukture in lastnosti po predelavi pa kažejo, da tako visokih temperatur predelave ne kaže uporabljati. Pri jeklu OC 100, ki je že pri 900 °C čisto avstenitno, je problem izredno naraščanje kristalnih zrn. Na rekristalizacijo pri teh visokih temperaturah, sorazmerno majhnih delnih deformacijah in včasih tudi počasnih deformacijah, ne moremo računati.

Problem visoko legiranih karbidnih ali celo ledeburitnih jekel je še bolj izrazit. S previsoko temperaturo lahko jeklo dobesedno uničimo, ker se posebni karbidi pred popolno raztopitvijo (če pod solidusom do nje sploh pride) začno intenzivno razporejati po kristalnih mejah. Videli smo, da tudi deformiranje ne popravi take strukture in celo še po žarjenju ali gašenju jekla lahko ugotavljamo slabe mehanske lastnosti.

#### V. SKLEPI

1. Torzijski preizkus pri visokih temperaturah smo izkoristili za poseben postopek deformiranja, s katerim smo simulirali valjanje. Osem približnih deformacij iz prakse smo preračunali v strižne deformacije, ki pri torziranju nastajajo 0,25 mm pod površino 6,5 mm debelega torzijskega cilindra. Uredili smo kontinuirno ohlajevanje preizkušanca s približno hitrostjo 60 °C/min od zgornje do spodnje temperature deformiranja.

2. S štirimi vrstami jekel smo raziskovali naslednje: določitev predelavnosti na standarden način in z ohlajevanjem iz višjih temperatur na nižje, deformiranje po načinu simuliranega valjanja, metalografske preiskave in natezne preizkuse.

3. Jeklo OC 100 ima tem boljše predelavnost (posebno pri ohlajevanju), čim višje je segreto pred deformiranjem, vendar ne prek 1250 °C. Metalografske preiskave pa pokažejo, da med 900 in 1000 °C začno kristalna zrna tega jekla močno naraščati. S tem je povezana tudi ugotovitev, da dobi to jeklo najboljše lastnosti po predelavi med 900 in 750 °C.

4. Pri utopnem jeklu UTOP Mo 1 seže maksimum predelavnosti celo do 1300 °C. Struktura in lastnosti pa kažejo, da ni umestno to jeklo segreti nad 1150 °C.

5. Jeklo 21-4-N je avstenitno in vsebuje precej karbidov in nitridov. Na torzijski način ugotovljena predelavnost je precej slaba in se med 1050 in 1300 °C bistveno ne spremeni. Pri 1300 °C so karbidi že v raztopini, dušik pa izhaja iz jekla, bolj v notranjosti pa tvori perlitu podobne nitridne skupke. Pri 1200 °C je najbolj značilno intenzivno preurejanje sferoidnih karbidnih delcev v karbidni film po kristalnih mejah. Zato je ta temperatura najbolj neugodna za strukturo in lastnosti jekla po predelavi. To jeklo se torej v nobenem primeru ne sme segreti pred predelavo na temperature, višje od 1150 °C, še boljše pa je le na 1100 °C.

6. Podoben primer je jeklo Prokron 9, ki je ledeburitne vrste in še pri 1300 °C vsebuje neraztopljene karbide. Tudi pri tem jeklu se nad 1100 °C Celzija začne intenzivno preurejanje karbidov na kristalne meje. Zato jeklo ne smemo segreti prek 1100 °C.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Für die plastische Verformung der Metalle sind im metallurgisch-technologischen Sinne von wesentlicher Bedeutung erstens die Fähigkeit des Metalles für die plastische Verformung oder wie man sagt, für die Warmumformbarkeit und zweitens das Gefüge und die Eigenschaften des Metalles die wir nach dem einen oder anderen Verformungsverfahren erhalten.

Die Warmumformbarkeit des Stahles wird oft mit dem Warmverdrehversuch bestimmt. Jedoch wird der Stahl bei diesem Versuch auf die Verformungstemperatur erwärmt und isothermisch verformt. Bei der Verformung im Betrieb (walzen, schmieden) wird der Stahl auf eine bestimmte

Temperatur erwärmt und kühlt während der Verformung ab.

Die Temperaturführung ist im beiden Fällen verschieden. Diese Tatsache ist wichtig bei den Stählen bei welchen sich das Gefüge in einem breiten Temperaturintervall ändert (A. Kveder, M. Taučer, Arch. Eisenhüttenwesen 45, 1974, Nr. 7, Juli 465-469).

Das andere Problem ist folgend: Ist die Verformung im Temperaturintervall im welchen sich der Stahl am besten verformen lässt auch die Versicherung für ein optimales Gefüge und Stahleigenschaften nach der Verformung? Im Artikel sind die Untersuchungen beschrieben, welche die Antwort auf diese Frage geben.

Es sind vier Stahlsorten untersucht worden: unlegierter Werkzeugstahl (OC 100), nichtrostender Werkzeugstahl (Prokron 9), Stickstofflegierter Ventilstahl (21-4-N) und Warmarbeitsstahl (UTOP No. 1).

Die Warmumformung ist an Torsionsproben durchgeführt worden, welche die Verformung durch das Walzen simulieren. Die Proben sind auf die obere Temperatur erwärmt und dann im bestimmten Temperaturintervall abgekühlt worden. Bei allen Stählen sind mehrere Versuche mit verschiedenen Anfangs- und Endtemperaturen der Verformung durchgeführt worden. Nachher sind die Proben entsprechend wärmebehandelt, auf die mechanischen Eigenschaften, und metallographisch untersucht worden.

Es ist bei allen vier Stahlsorten festgestellt worden, dass diese nicht auf die Temperatur der besten Warmum-

formbarkeit erwärmt werden dürfen. Die meistausgeprägte Dishesharmonie zwischen der optimalen Warmumformungstemperatur und der Temperaturen für die besten Stahleigenschaften zeigte sich bei den Stählen 21-4-N und Prokron 9. Bei den beiden Stählen fangen bei den Temperaturen oberhalb 1150°C die Karbide aus den sferoidalen Teilchen in einen Karbidfilm auf die Korngrenzen zu übergehen. Die Folge ist eine ausserordentliche Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften vor allem der Dehnung und der Einschnürung.

Die wesentliche Feststellung der Untersuchungen ist, dass es bei der Bestimmung der optimalen Warmumformungstemperatur nicht nur die technologische Verformung, sondern auch das Gefüge und die Stahleigenschaften berücksichtigt werden müssen. Dieses ist besonders wichtig bei den legierten Karbidstählen.

## SUMMARY

In plastic forming of metals hot workability of the metal, and the structure and properties of metal obtained at a corresponding temperature and deformation condition of working are of essential importance as metallurgical parameters.

Hot workability of steel is often determined by a hot torsion test. But in such a test steel is heated to a certain temperature and isothermally tested. In practical working (rolling, forging) steel is heated to a certain temperature and it cools during working. Temperature conduct during deformation is thus quite different in the both cases which can be of great importance for steel in which structure is changed in a very wide temperature range. (A. Kveder, M. Taučer, Arch. Eisenhüttenwesen 45 (1974), Nr. 7, July, 465-469).

The second problem can be formulated in this way: Is working in the temperature interval of the optimal steel workability also assurance for the optimal structure and steel properties after working? Paper presents the investigations which shall answer this question.

Four steel were investigated: unalloyed tool steel (OC 100), stainless tool steel (Prokron 9), valve nitrogen steel (21-4-N), and tool steel for elevated temperatures (UTOP Mo 1).

Deformation by torsion test was adjusted so that it simulated working by rolling. Test pieces were heated to the upper temperature, then cooled in a certain temperature interval. Eight partial deformations at the uniform temperature intervals were performed inside the total interval of cooling. More tests with various initial and final temperatures of deformation were made with all the steel. After this, test pieces were correspondingly heat treated, checked by tensile tests and metallographically investigated.

Investigations with all the four steel showed that they should not be heated to the temperatures of the optimal workability. The most pronounced disharmony between the optimal working temperatures and the steel properties was found for steel 21-4-N and Prokron 9. In both steel carbides start to rearrange from spheroidal form into carbide film on grain boundaries above 1150°C. Thus mechanical properties, especially elongation and contraction deteriorated a great deal.

Essential finding of the investigation is that in determining the optimal temperature conduct of working not only technological workability but also structure and steel properties must be taken into account. This is valid especially for alloyed carbide steel.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При пластической деформации металлов с металлургическо-технологической точки зрения существенное значение представляет следующее: во первых, способность металла к пластической деформации т. е. пригодность к переработки и, во вторых, структура и свойства металла полученные тем или иным способом теплового или деформационного режима переработки.

Пригодность к переработки стали часто определяется испытанием на прочность при кручении в горячем состоянии. При этом сталь необходимо согреть и подвергнуть изотермическим испытаниям. При нормальной промышленной переработки (прокатка, ковка) сталь разогревают на определенную температуру, после чего она охлаждается во время деформации. Температурное управление деформацией в обоих примерах весьма различное; это имеет большое значение при сталях структура которых изменяется в очень широких температурных интервалах (A. Kveder, M. Taučer, Arch. d. Eisenhüttenwesens 45/1947/, Nr. 7, Juli, 465-469).

Вторую проблему можно формулировать с следующим вопросом: обеспечивает ли переработка в наиболее пригодном температурном интервале также оптимальную структуру и желательные свойства после переработки? В статье описаны исследования которые дали ответ также и на этот вопрос.

Для исследования выбраны четыре марки стали: нелегированная инструментальная сталь (OC 100), нержавеющей инструментальная сталь (Prokron 9), сталь для вентиля с азотом (21-4-N) и инструментальная сталь для работы в горячем состоянии.

Способом скручивания выполнена деформация, которая имитирует переработку прокатыванием. Образцы были согреты до верхнего температурного предела и охлаждены по определенному температурному интервалу. В равномерных температурных интервалах выполнены в промежутке 8 частичных деформаций. При всех испытанных сталях выполнено большое количество опытов с различными начальными и конечными температурами деформации. После этого образцы были соответственно термически обработаны и выполнено разрывное испытание и металлографическое исследование.

При всех исследованных сталях установлено, что разогревание до температуры самой лучшей пригодности для обработки не рекомендуется.

Самое выразительное несогласие между оптимальными температурами переработки а также что касается свойств установлено при сталях 21-4-N и Prokron 9. При обеих этих марок при температурах свыше 1150°C наступает перераспределение карбидов из формы сферолитных частиц в карбидный фильм расположен вдоль границ кристаллов. Последствие этого исключительное ухудшение механических свойств, главным образом растяжения и контракции.

Существенный вывод исследований состоит в том, что при определении оптимального температурного режима переработки необходимо учитывать не только технологическую пригодность к переработки, но также структуру и свойства стали. Это особенно важно при легированных карбидных сталях.

# Možnost pridobivanja preostalega Hg iz dimnih plinov pred izstopom v atmosfero

UDK: 669.791.33  
ASM/SLA: Hg, A8a

Andrej Paulin, N. Medved, V. Pogačnik

*Po kratkem literaturnem pregledu obstoječih metod čiščenja živega srebra iz dimnih plinov smo opisali lastne raziskave, kjer smo v napolnjenem čistilnem stolpu izpirali plin z 20 do 50 mg Hg/m<sup>3</sup> najprej z vodo, nato z razredčeno raztopino Ca(OH)<sub>2</sub>, nato z raztopino KMnO<sub>4</sub> in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, končno pa še z manganovo rudo in razredčeno žvepleno kislino. Primerjali smo posamezne metode in njihovo gospodarnost.*

## I. UVOD

Pražilni plini cinobra vsebujejo po kondenzaciji še 20 do 50 mg/m<sup>3</sup> živosrebrnih par, ki jih je treba očistiti, ker je živo srebro strupeno in ostane v okolju nespremenjeno 10 do 100 let. Zdravstveni predpisi zahtevajo, da sme biti v delovni atmosferi le 0,01 mg Hg/m<sup>3</sup> zraka.

Rudnik živega srebra Idrija želi z ekonomičnim čiščenjem izhodnih dimnih plinov povečati izkoristek procesa pridobivanja živosrebrnih par ter se obenem vključiti v borbo proti onesnaženju okolja.

Pri čiščenju plinov se živo srebro izloči ali fizikalno (adsorbicija, kondenzacija) ali kemično (oksidacija). Med fizikalne metode čiščenja živega srebra iz dimnih plinov štejemo čiščenje z vodo, čiščenje z močnim ohlajevanjem plinov in čiščenje s piroluzitom, med kemične metode pa čiščenje s klorom in klorovimi spojinami, s solitrno kislino, z žvepleno kislino, z raztopino sulfocianida, s piroluzitom in žvepleno kislino, ipd.

V Kottarbachu na Slovaškem<sup>1</sup> so pridobivali živo srebro kot stranski produkt pri praženju limonitnih in sideritnih rud z izpiranjem pražilnih plinov z vodo. Pri praženju železove rude, ki je vsebovala okrog 0,05 % Hg, je živo srebro izparevalo in prehajalo v pražilne pline. Zaradi ohladitve plina se je kondenziralo 80 % živega srebra že v cevovodu za pečjo, kjer se je nabiralo skupaj s prahom kot štupa, katero so potem predelali. Dimne pline so vodili nato v pralne stolpe, napolnjene z apnencem, preko katerega je tekla voda. Pri pranju so se poleg živosrebrnih par znižale tudi koncentracije arzenovih in antimonovih spojin ter SO<sub>2</sub>. Voda z blatom se je filtrirala skozi

koks. V koksni filtru vsebovano blato se je skupaj z živosrebrnimi rudami predelalo v Čermak-Spirekovi peči. Na ta način so pridobili do 80 ton živega srebra na leto. Podobno so pridobivali Hg na Tirolskem iz bakrovih rud in proizvedli 5,5 do 6 ton živega srebra na leto.

Čiščenje z ohladitvijo plina je podrobneje obdelala V. A. Pjujankova<sup>2</sup>, vendar je bila možnost globokega ohlajevanja plinov zavržena zaradi ogromnih in neekonomičnih naprav. Princip sloni na kondenzaciji živosrebrnih par pri ohladitvi plina na — 10° C.

Prof. Alekseevski<sup>3</sup> je ugotovil, da je manganov dioksid — MnO<sub>2</sub> zelo dober adsorbent par živega srebra. Kasnejše raziskave so pokazale, da je dovolj dober adsorbent tudi manganova ruda. Vežanje živega srebra z MnO<sub>2</sub> — piroluzitom poteka po reakciji MnO<sub>2</sub> + 2 Hg = Hg<sub>2</sub>MnO<sub>2</sub>, pri čemer se iz plinov odstrani 80 do 90 % Hg. Proces shematično poteka tako, da pline po odstranitvi SO<sub>2</sub> vodijo v mokre izpiralnike, kjer jih oprhajo z apnim mlekom, ohladijo v komorah na 15 do 17° C in vodijo v adsorpcijski stolp, napolnjen s kosatim naravnim piroluzitom. Pri tem manganov dioksid reagira v Hg<sub>2</sub>MnO<sub>2</sub>, ki ga nato žare in regenerirani MnO<sub>2</sub> ponovno uporabijo.

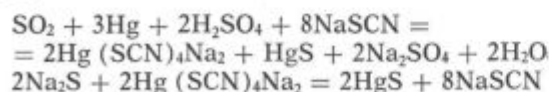
V zadnjih letih je uporaba klora in klorovih soli, posebno klorovega apna zopet aktualna. Lahka predelava klorovih spojin živega srebra govori v prid temu postopku. Raziskovanja v tej smeri so delali v Sovjetski zvezi in izdelali postopka NIIOGAS in CNIIO. Po prvem postopku je obdelava plinov s klorom možna samo za suhe pline brez SO<sub>2</sub>. Zato je ta način primeren le za čiščenje zraka in nesporemljiv za industrijske pline. Postopek CNIIO<sup>3</sup> so preizkusili že tudi v industrijskih pogojih. Pline po kondenzaciji čistijo s klorom, ki nastane ob razpadu klorovega apna. Prisotnost SO<sub>2</sub> in CO<sub>2</sub> v plinu pospeši izločanje klora, ker se ta plina vežeta z apnom v CaSO<sub>4</sub> in CaCO<sub>3</sub>. Celoten proces poteka v horizontalnem rotacijskem mokrem čistilniku kapacitete 6000 m<sup>3</sup>/h, ki omogoča intenzivno premešavanje plina in raztopine. Pri reakciji med klorom in Hg dobimo netopen HgCl<sub>2</sub> in topen HgCl<sub>2</sub>. Blato, ki vsebuje še CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>, HCl in klorovo apno, vodijo v usedalnik. Če raztopina po ločenju vsebuje dovolj HgCl<sub>2</sub>, ga izločajo s hidrolizo,

usedlino pa žgejo. Ta shema čiščenja v industrijskih pogojih še ni popolnoma obdelana, predvsem glede korozije opreme in netesnosti naprav.

Na Japonskem v tovarni Itomuka<sup>3</sup> čistijo pline na ta način, da jih vodijo skozi tri absorpcijske stolpe. Prvi je napolnjen s 30 % raztopino solitrne kisline za vezanje živega srebra, drugi z 10 % žvepleno kislino za vezanje SO<sub>2</sub>, tretji pa z raztopino kalcinirane sode za vezanje SO<sub>2</sub> v natrijev metabisulfid. Ta način je primeren le za majhne tovarne, ki delajo z bogatimi rudami.

Pražilni plini običajno pri predelavi cinkovih rud vsebujejo od 20 do 80 mg Hg/m<sup>3</sup>. Iz njih je treba odstraniti Hg. Namen ločenja živega srebra pa ni pridobivanje Hg, ampak preprečevanje onesnaženja žveplene kisline. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ne sme vsebovati Hg, ker se uporablja za proizvodnjo umetnih gnojil. Ta problem so rešili v Outokumpu na Finskem, kjer čistijo pražilne pline s koncentrirano žvepleno kislino. Osnovna reakcija procesa je<sup>4</sup>:  $2 \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{Hg} = \text{SO}_2 + \text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Za razredčeno raztopino žveplene kisline je  $\Delta G = + 20,36 \text{ kcal/mol}$ , kar pove, da je ravnotežje pomaknjeno proti levi. Le če uporabimo koncentrirano žvepleno kislino, se ravnotežje pomakne v desno. Čiščenje poteka v sulfatizacijskem stolpu, kjer kislino na vrhu razpršujejo. Kislina med potjo skozi stolp topi Hg in nastaja HgSO<sub>4</sub>, ki se izloča kot rumena oborina na dnu stolpa. Ker se Hg topi le v koncentrirani žvepleni kislini, ne sme priti med procesom do razredčenja kisline. To dosežejo s tem, da vzdržujejo temperaturo vstopnih plinov na 340° C. Pri tem so parni tlaki vodne pare v plinih in v kislini v ravnotežju in ne pride do prehajanja vlage iz plinov v kislino. Plini zapuščajo stolp s temperaturo 180° C in vsebujejo manj kot 0,2 mg Hg/m<sup>3</sup>. Oborino pa vodijo na pranje in jo filtrirajo. Filtrinemu ostanku, ki vsebuje živosrebrove spojine, primešajo apno v določenem razmerju in to žgejo v peči pri temperaturi 650° C, kjer spojina razpade, Hg se upari in gre skupaj s plini v kondenzator.

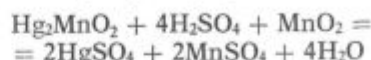
Čiščenje plinov z raztopino žveplene kisline in sulfocianida, kjer dobijo živo srebro v obliki sulfida, so razvili v Španiji pod imenom proces CENIM<sup>5</sup>. Koncentracija žveplene kisline v raztopini za izpiranje je 50 g/l, koncentracija natrijevega sulfocianida, ki ga dodajajo za pospešitev oksidacije Hg, pa 150 g/l raztopine. Osnovni reakciji procesa sta:



Po prvi reakciji dobijo tretjino Hg kot HgS, ostanek pa je v raztopini kot Hg(SCN)<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>. Da dobe vse živo srebro v obliki sulfida, ker je to prodajni proizvod, ali pa ga lahko naprej predelajo v kovinsko obliko, dodajo raztopini natrijev sulfid ter s tem oborijo še preostalo živo srebro. Raztopina v sistemu kroži in se počasi nasiti z natrijevim sulfatom in je nevarnost, da onesnaži

HgS. Zato raztopino odvajajo in natrijev sulfat izločijo iz raztopine bodisi z oksidacijo z organskimi topili (etilacetat) ali s frakcionirano kristalizacijo. Plini imajo po čiščenju še 2,5 mg Hg/m<sup>3</sup> ne glede na to, kolikšna je bila količina Hg v plinu pred čiščenjem.

Pri čiščenju z naravnim piroluzitom prisotnost žveplene kisline poboljša aktivnost piroluzita, pri čemer najverjetneje poteka reakcija:



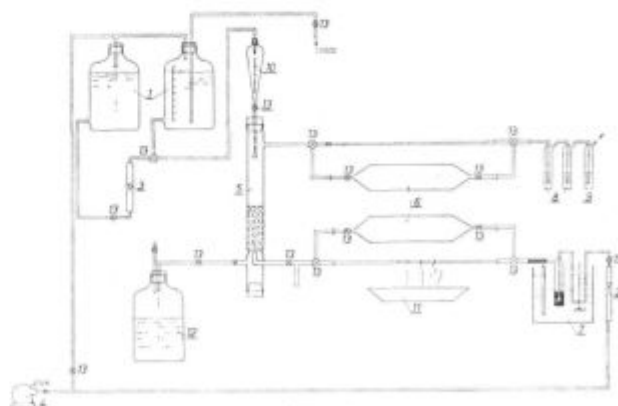
Na ta način je možno odstraniti iz plinov 95 do 99 % Hg. Piroluzitna shema čiščenja plinov je naslednja<sup>6</sup>: pline iz kondenzatorja takoj vodijo v mokri čistilnik, kjer jih sperejo z vodno suspenzijo drobno zmletega piroluzita in razredčene žveplene kisline. Goščo vodijo v usedalnik, kjer se živosrebrevi sulfat useda, iz raztopine pa preostalo živo srebro cementirajo z železovimi ali bakrovimi ostružki.

Vsaka od omenjenih metod je lahko uporabna le pri določenih pogojih, ni pa splošne ekonomske metode čiščenja Hg iz plinov po kondenzaciji, zato smo v lastnih raziskavah skušali najti cenene rešitve problema.

## II. NACIN RAZISKOVANJA

Pri izbiri lastne metode čiščenja smo upoštevali, da je v idrijskih plinih po kondenzaciji 20 do 50 mg Hg/m<sup>3</sup>, 0,5 % SO<sub>2</sub>, izhajajoči plini imajo temperaturo pod 40° C in naj bo metoda čiščenja cenena.

Ob upoštevanju teh pogojev odpade čiščenje s koncentrirano žvepleno kislino, ker je temperatura plinov prenizka, kot tudi ostale kemične metode, ker so reagenti in naprave predrage. Žveplovega dioksida v plinu je premalo, da bi s proizvodnjo žveplene kisline znižali stroške čiščenja. Zato smo se pri izbiri omejili na mokro čišče-



Slika 1  
Shema laboratorijske modelne naprave za čiščenje živega srebra iz plina

Fig. 1  
Scheme of the laboratory set up for mercury removal from gas.

nje z vodo in apnenim mlekom, za primerjavo pa smo preizkusili še nekaj kemičnih metod. Imamo sicer različne konstrukcije čistilnih naprav, skupno vsem pa je, da se delci lovijo na stični ploskvi med plinom in tekočino. Izbrali smo kolono, napolnjeno z apnencem, ki je bil potopljen v vodi, tako da je plin strujal skozi tekočino v obliki mehurčkov. S penjenjem smo še bolj povečali medsebojno stično ploskev.

Aparaturo smo med raziskavo konstrukcijsko večkrat spreminjali, predvsem zaradi različnih metod čiščenja in načina jemanja vzorcev za analizo Hg. Končno obliko aparature kaže slika 1.

Naprava je sestavljena iz dveh 10-litrskih steklenic za pralno vodo, oziroma apneno mleko (1), rotametra za zrak (2), rotametra za vodo (3), vetrila z variakom (4), steklene čistilne kolone  $\varnothing$  35 mm (5), dveh steklenih 500 ml plinskih pipet za jemanje plinskih vzorcev (6), termostata (7), izpiralke s koncentrirano solitrno kislino (8), izpiralke z vodo za lovljenje dušikovih par (9), lij ločnika (10), infrardeče peči za ogrevanje plinskih pipet (11), steklenice za zbiranje vode, oziroma reagentov po čiščenju (12), petelinčkov (13).

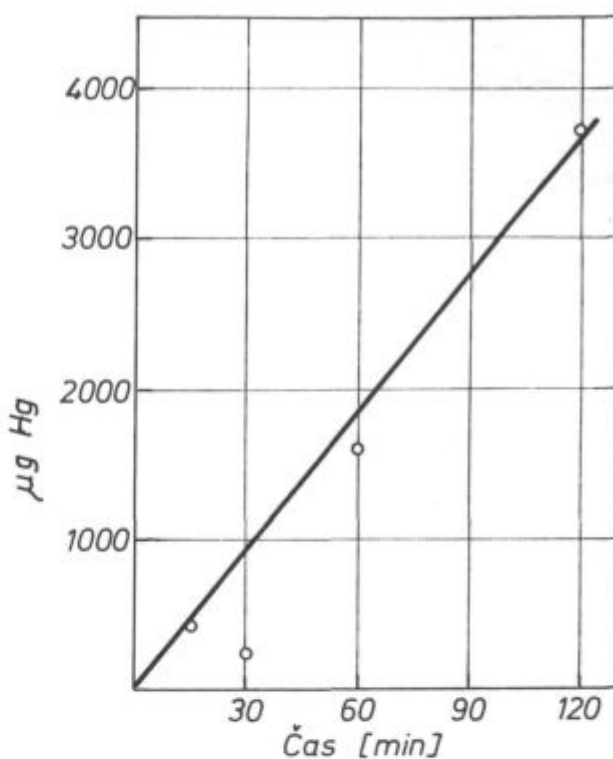
Industrijsko sestavo plinov iz kondenzatorja smo simulirali tako, da smo zrak skozi rotameter vodili v izpiralko z živim srebrom, ki je bila v vodni kopeli termostata. Mešanico zraka, živosrebrih par in solov ali kratko sintetični plin smo vodili skozi plinske pipete do čistilne naprave. Plin je šel nato skozi napolnjeno stekleno kolono. Očiščen plin smo vodili zopet skozi plinsko pipeto v izpiralko, da bi se absorbirala še preostala količina živega srebra. Koncentracijo Hg v plinu smo spreminjali s temperaturo vodne kopeli in pretokom zraka.

Pred poskusi smo aparaturo umerili tako, da nam pri korozivnih tekočinah ni bilo treba uporabljati rotametra. S štoparico smo merili dotekanje tekočine iz desne steklenice v kolono ter kontrolirali iztekanje iz kolone, da je bil v njej stalno isti nivo tekočine. Ugotovili smo, da pretok zraka skozi kolono ne vpliva na pretok tekočine skozi njo.

Pri umerjanju smo ugotovili, da je pretok vode odvisen od prepustnosti polnjenja v stolpu, kakor tudi od pretoka plina. Pri zrnatosti nasutja 5 do 10 mm in pretoku plina 60 l/h se skozi napravo lahko maksimalno pretaka 7 litrov vode na uro.

Pri poskusih smo imeli največ težav z analizami relativno majhnih koncentracij Hg v plinih. Iz literature<sup>6</sup> je znana metoda za določevanje klorovih ionov z raztopino živosrebrovega nitrata. Ker je bilo naše Hg v obliki nitrata, smo to metodo privzeli, le da smo skušali z znano količino klorovih ionov določevati živosrebrove ione. Metoda je titracijska in kljub vsem prilagoditvam ni bila uspešna, ker je bil preskok barve neizrazit.

Končno smo se odločili za atomsko absorbcijo kot edino učinkovito analizo metodo. V sistem



Slika 2

Količina Hg v vhodni pipeti odvisno od časa jemanja plinskega vzorca

Fig. 2

Amount of mercury in the inlet gas sampling tube depending on the time of gas passing through it.

smo vstavili plinske pipete tako, da smo vzorec jemali istočasno pred čiščenjem in po njem. Tako smo s to napravo lahko ugotavljali koncentracijo živega srebra v plinu kot funkcijo temperature izparevanja in pretoka zraka ter istočasno uspešnost čistilne naprave v odvisnosti od količine Hg v vhodnem plinu pred čiščenjem.

Prve analize vhodnih vzorcev so pokazale, da dobimo koncentracije Hg, ki so precej nad ravnotežnimi koncentracijami pri ustreznih temperaturah. Šele z dodatnimi poskusi, med katerimi so bili najpomembnejši tisti, ko smo merili koncentracijo Hg v vhodnem plinu v odvisnosti od časa pretoka plina skozi plinsko pipeto, smo dokazali, da je del Hg kondenziral na stenah plinskih pipet in s tem popačil rezultate (slika 2). Problem smo odstranili z dodatnim ogrevanjem plinskih pipet z infrardečim grelcem, obenem smo vstavili filter pred plinsko pipeto, da bi zadržal kapljice Hg, ki bi jih plin nosil iz izpiralke. Pri višjih pretokih zraka se je filtriranje pokazalo kot učinkovita zaščita (tabela 1).

S poskusi smo ugotovili, da pri temperaturah do 50° C pretok zraka ni vplival na koncentracijo Hg (100 % nasičenja), zato smo izbrali minimalni pretok skozi napravo, da bi bil plin čim dalj časa v stiku z vodo v čistilni koloni.

**Tabela 1: Vpliv filtriranja plina na koncentracije Hg v vhodnih vzorcih**

Konstantno: temperatura izparevanja 20°C  
čas jemanja vzorca 20 min

Poskus	Pretok zraka l/h	Količina Hg v 500 ml pipeti µg	Filter (vata)
1	200	39	Brez filtra
2	200	9,6	S filtrom
3	60	11,0	Brez filtra
4	60	11,4	S filtrom

### III. REZULTATI RAZISKAV IN RAZLAGA

#### 1. Čiščenje z vodo

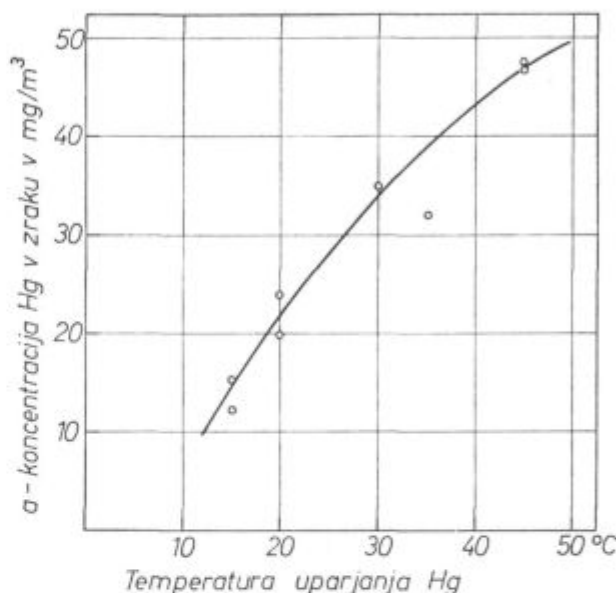
Z rešitvijo tehničnih problemov naprave smo začeli študirati, kakšna je uspešnost čiščenja plinov z vodo. Pogoji in rezultati poskusov so prikazani v tabeli 2. Iz dobljenih rezultatov smo narisali krivuljo odvisnosti med temperaturo in količino Hg (mg/m<sup>3</sup>) v plinu (slika 3). Iz te krivulje smo lahko pri nadaljnjih poskusih odčitavali vhodne koncentracije Hg v plinu.

Tabela 2 nam poleg koncentracije Hg pred čiščenjem **a**, podaja tudi količino Hg po čiščenju **b**. Iz razmerja teh dveh koncentracij lahko ugotovimo uspešnost čiščenja z vodo. Lepše se to vidi v diagramu na sliki 4, kjer je na abscisi količina Hg v plinu pred čiščenjem, na ordinati pa razmerje koncentracij pred čiščenjem in po njem. Ze na prvi pogled ugotovimo, da se z vodo izloči zelo malo živega srebra. Pri višjih koncentracijah Hg v vhodnem plinu se sicer učinek izboljšuje, vendar gre vse to na račun kondenzacije aerosola. Hladnejša je voda, več Hg se kondenzira. Z vodo je možno sprati sole, nikakor pa ne moremo sprati

hlapov. Te lahko odstranimo le s kemičnimi metodami. Hg se ne izloči, če je temperatura plina enaka temperaturi pralne vode, ker se parni tlak živega srebra pri tem ne zniža.

Od vseh pogojev, s katerimi smo lahko vplivali na uspešnost čiščenja, je bil samo čas stika živega srebra z vodo, ki smo ga daljšali z višino vode v stolpu. Višino nasutja apnenca v koloni smo povečali na 100 mm, kar je zadostovalo, da se je plin ohladil na temperaturo vode. Ta višina je bila konstantna pri vseh nadaljnjih poskusih.

Pretok vode je bilo treba spreminjati samo za toliko, da je bila temperatura v stolpu stalno



Slika 3

Odvisnost med temperaturo plina in količino Hg v plinu

Fig. 3

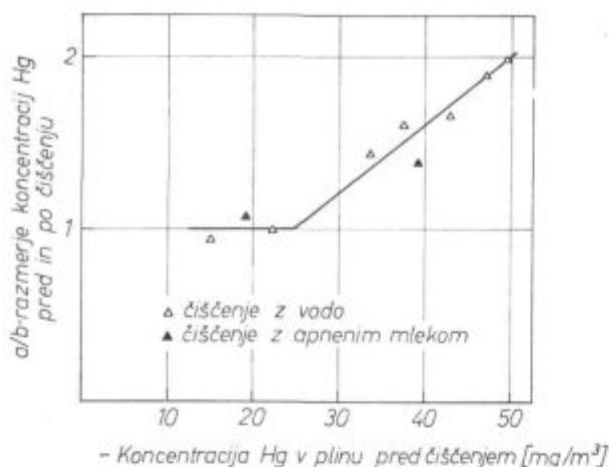
Relationship between the gas temperature on Hg concentration in gas.

**Tabela 2: Poskusi čiščenja plina z izpiranjem z vodo**

Konstantno: pretok plina 60 l/h  
pretok vode 4,2 l/h  
temperatura izpiralne vode 18°C ± 2°  
višina vode  
v čistilnem stolpu 100 mm

Poskus	Temp. izparevanja Hg °C	Vhodna koncentracija a mg Hg/m <sup>3</sup>	Izhodna koncentracija b mg Hg/m <sup>3</sup>	Razmerje a <sup>*</sup> /b	Način jemanja plinskega vzorca
1	15	12,4	15,6	0,9	nasesavanje
2	20	24,4	22,0	1,1	prepihovanje
3	30	35,0	23,0	1,45	prepihovanje
4	35	32,0	23,6	1,6	prepihovanje
5	40	22,6	26,0	1,65	nasesavanje
6	45	47,6	23,9	1,9	prepihovanje
7	50	49,5	25,0	2,0	prepihovanje

\* odčitano po krivulji na sl. 3



Slika 4

Uspešnost čiščenja z vodo in apnenim mlekom

Fig. 4

Efficiency of washing by water and milk of lime.

enaka. Vode nismo razprševali, ker v naši napravi tega nismo mogli doseči, pač pa smo ustvarili vodno posteljico in s penjenjem očistili, oziroma hladili plin. Pretok vode zaradi tega ni prišel do izraza in ni mogel vplivati na uspešnost čiščenja.

Na podlagi rezultatov mokrega čiščenja z vodo lahko zaključimo:

- da se z vodo ne odstrani iz plinov, ki imajo pod 20 mg Hg/m<sup>3</sup>, skoraj nič živega srebra;
- znižanje koncentracije Hg v plinu, ki ima nad 20 mg Hg/m<sup>3</sup>, gre na račun kondenzacije solov, kar je odvisno od temperature pralne vode;
- koncentracija Hg v plinu po čiščenju se giblje od 20 do 25 mg/m<sup>3</sup>, to vrednost pa je možno doseči že pri dobrem obratovanju kondenzatorja.

## 2. Čiščenje z apnenim mlekom

To je enostavna, predvsem pa cenena metoda ločenja Hg iz dimnih plinov. Predvidevali smo, da se bodo živosrebrove pare izločile zaradi kondenzacije ali pa morda tudi zaradi oksidacije Hg s Ca(OH)<sub>2</sub>.

Tabela 3: Poskusi izpiranja plina z apnenim mlekom

Konstantno:	Pretok plina	60 l/h		
	pretok apnenega mleka	4,2 l/h		
	čas jemanja vzorca	18 minut		
	koncentracija apnenega mleka	50 g/l		
Poskus	Temp. izparevanja Hg °C	Vhodna koncentracija a mg Hg/m <sup>3</sup>	Izhodna koncentracija b mg Hg/m <sup>3</sup>	Razmerje a/b
1	20	19,2	17,6	1,1
2	30	39,0	28,0	1,4

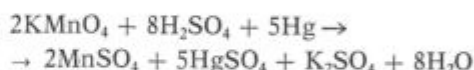
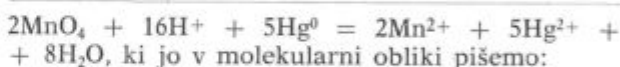
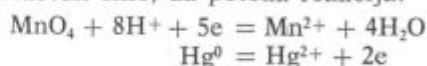
Razmerje a/b smo zaradi primerjave s čiščenjem z vodo vnesli v diagram na sliki 4. Vidi se, da je uspeh čiščenja enak kot pri čiščenju z vodo. Izločilo se je le toliko Hg, kolikor se ga je kondenziralo zaradi ohladitve plina.

## 3. Čiščenje z žvepleno kislino raztopino permanganata

Za uspešno kemično čiščenje Hg iz plina potrebujemo učinkovitejši oksidant. Pri analiziranju Hg iz plinov z atomsko absorpcijo uporabljajo kot oksidant kalijev permanganat v žvepleno kislino raztopini. Zaradi dobrega oksidativnega dejstva smo se tudi mi odločili za nekaj poskusov s permanganatom.

Pred poskusi smo teoretično obdelali procese, ki potekajo pri čiščenju, z namenom, da bi se orientirali, kakšne naj bodo koncentracije H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in KMnO<sub>4</sub> in kakšen naj bo pretok tega reagenta skozi čistilno napravo. Za izračun smo privzeli pogoje: pretok plina je 60 l/h, v plinu je do 50 mg Hg/m<sup>3</sup>, čas odvzemanja vzorca je 20 minut, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in KMnO<sub>4</sub> sta v razmerju 1:1.

Predvidevali smo, da poteka reakcija:



Pri računu smo upoštevali, da je Hg toliko časa v stiku z oksidantom, da reakcija steče do konca. Ob popolnem izkoristku reaktantov smo dobili po stehiometričnem izračunu zelo nizke koncentracije žveplene kisline (0,0005 N) in KMnO<sub>4</sub> (0,00035 N). S tako šibkim reagentom plinov gotovo ne bi dobro očistili. Zato smo izbrali za prvi poskus močnejšo koncentracijo raztopine: KMnO<sub>4</sub> 0,01 N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pa 0,2 N.

S prvima dvema poskusoma smo ugotavljali, kako vpliva na čiščenje jakost H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Z omejenim spreminjanjem kislosti raztopine nismo opazili izboljšanja izkoristka čiščenja pri isti koncentraciji permanganata. Čistili smo plin s koncentracijo okrog 30 mg Hg/m<sup>3</sup>. Rezultate kaže tabela 4.

Iz tabele 4 se vidi, da kislost nima vpliva na učinek čiščenja. Druga ugotovitev je ta, da se je s to kemično metodo odstranilo precej več Hg kot pri čiščenju z vodo, vendar zopet ne toliko, kot smo pričakovali.

Z naslednjim poskusom smo ugotavljali, kako se večja uspešnost čiščenja z daljšim časom stika med absorbentom in plinom. To smo dosegli z višanjem nivoja reagenta v stolpu (tabela 5). Obenem smo pri zadnjem poskusu spremenili tudi koncentracijo permanganata.

Pri višini nad 100 mm se krivulja asimptotično bliža določeni vrednosti. To nam pove, da se uspešnost zboljšuje z večanjem višine do neke vredno-



Tabela 4: Vpliv koncentracije  $H_2SO_4$  na oksidacijo Hg s permanganatom

Konstantno: temperatura izparevanja Hg 30° C  
 pretok plina 200 l/h  
 pretok reagenta 10 ml/min  
 čas jemanja vzorca 15 minut  
 koncentracija  $KMnO_4$  0,01 N  
 višina reagenta v koloni 35 mm

Poskus	Koncentracija $H_2SO_4$ N	Vhodna koncentracija a mg Hg/m <sup>3</sup>	Izhodna koncentracija b mg Hg/m <sup>3</sup>	Razmerje a/b
1	0,2	28,8	3,0	9,6
2	1,0	32,0	3,6	8,9

Tabela 5: Vpliv višine nivoja in koncentracije reagenta v stolpu

Konstantno: temperatura izparevanja 30° C  
 pretok plina 60 l/h  
 pretok reagenta 10 ml/min  
 čas jemanja vzorca 20 min  
 koncentracija  $H_2SO_4$  1 N

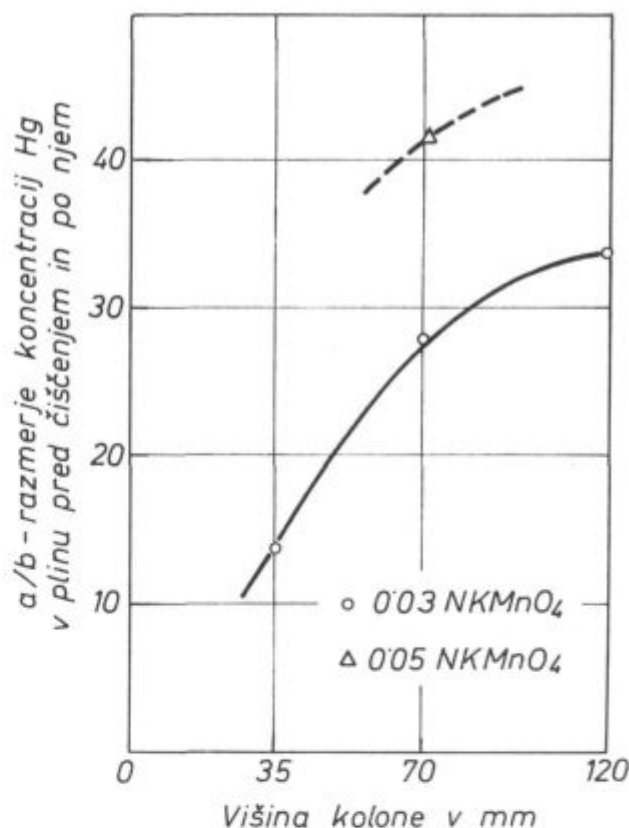
Posk	Višina reagenta v koloni mm	Koncentracija $KMnO_4$ N	Vhodna koncentracija a* mg Hg/m <sup>3</sup>	Izhodna koncentracija b mg Hg/m <sup>3</sup>	Razmerje a/b
1	35	0,03	33,5	2,4	14
2	70	0,03	33,5	1,2	28
3	100	0,03	33,5	1,0	33,5
4	70	0,05	33,5	0,8	42

\* Odčitano s krivulje na sliki 3, ker so vhodne analize Hg pri poskusih v tabeli 4 padle tik ob umeritveni krivulji, kar pomeni, da povečan pretok zraka ne vpliva na koncentracijo Hg v plinu.

sti, ko se oksidant izrabi pri določenih pogojih (pretok plina, pretok reagenta in koncentracija oksidanta).

Na podlagi meritev lahko zaključimo: da je čiščenje plinov uspešno tudi z razredčeno žvepleno kislino, če se ji doda močan oksidant; da se z raztopino, ki vsebuje 0,03 N  $KMnO_4$  in 1 N  $H_2SO_4$  očisti v koloni pri optimalni višini reagenta 97 % Hg iz plinov, pri 0,5 N  $KMnO_4$  pa lahko ocenimo na podlagi krivulje na sliki 5 izkoristek čiščenja 98 odstotkov.

Slaba stran tega postopka je, da je izredno drag. Velik strošek je že sam permanganat, da cene žveplene kisline in čistilnih naprav v računu niti ne upoštevamo. Vzemimo, da je količina plina 250 m<sup>3</sup>/h in da vsebuje 33,5 mg Hg/m<sup>3</sup>, za kar potrebujemo 2,5 m<sup>3</sup>/h 0,05 N kalijevega permanganata in 1 N žveplene kisline. Predvideli smo, da je razmerje med pretokom plina in tekočine enako kot pri laboratorijskem poskusu. Pri 98 % izko-



Slika 5

Uspešnost čiščenja s permanganatom kot funkcija višine kolone

Fig. 5

Efficiency of washing by permanganate as a function of column height.

ristku čistilne naprave pridobimo 8,2 g Hg na uro in pri tem se porabi 24 g  $KMnO_4$ , zaradi česar pade normaliteta permanganata od 0,05 na 0,037. Pri ponovni uporabi raztopine se izkoristek zmanjša na 97 %. Zato se raztopini doda vsako uro 15 litrov sveže 0,05 N raztopine permanganata, da nadomestimo porabljen  $KMnO_4$ . Ker je cena permanganata okoli 75 din za kg, potrošimo vsako uro 1,8 din za oksidant, pri tem pa pridobimo z 8 grami Hg samo 1 din, če je cena živega srebra 250 dolarjev za steklenico. Tako potrošimo dvakrat več za absorbent, kot pa je vrednost pridobljenega živega srebra.

#### 4. Čiščenje z naravnim piroluzitom in razredčeno žvepleno kislino

Naš namen je bil, primerjati uspešnost te metode z metodami, ki smo jih že obdelali, kot tudi primerjava s podatki, objavljenimi v literaturi. Po podatkih iz literature<sup>2,3</sup> se z naravnim piroluzitom odstrani 80 do 90 % Hg, z dodatkom šibke žveplene kisline pa 95 do 99 % Hg.

V stolp smo nasuli naravni  $MnO_2$  (manganovo rudo) zrnatosti 5 do 10 mm kot absorbent. Za izboljšanje aktivnosti rude smo dodajali 1 N  $H_2SO_4$ . Pretok je bil 10 cm<sup>3</sup>/min. Višina nasutja je bila

Tabela 6: Poskusi čiščenja Hg v stolpu z manganovo rudo

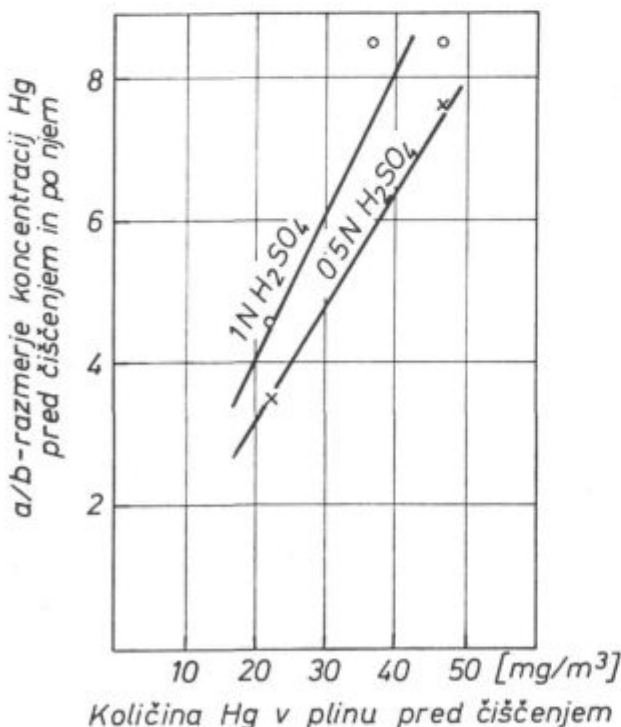
Konstantno: pretok plina 60 l/h  
pretok kisline  $H_2SO_4$  10 ml/min  
višina nasutja piroluzita v kol. 50 mm  
koncentracija  $H_2SO_4$  1 N

Poskus	Temp. izparevanja Hg °C	Vhodna koncentracija a mg Hg/m <sup>3</sup>	Izhodna koncentracija b mg Hg/m <sup>3</sup>	Razmerje a/b
1	20	22,8	5,0	4,6
2	35	37,5	4,4	8,5
3	45	47,6	5,6	8,5

Tabela 7: Vpliv koncentracije žveplene kisline na čiščenje Hg v stolpu z manganovo rudo

Konstantno: pretok plina 60 l/h  
pretok  $H_2SO_4$  10 ml/min  
koncentracija  $H_2SO_4$  0,5 N  
čas jemanja vzorca 20 min  
viš. nasutja piroluzita v kol. 50 mm

Poskus	Temp. izparevanja Hg °C	Vhodna koncentracija a mg Hg/m <sup>3</sup>	Izhodna koncentracija b mg Hg/m <sup>3</sup>	Razmerje a/b
1	20	22,5	6,4	3,5
2	45	47	6,2	7,6



Slika 6

Uspešnost čiščenja s piroluzitom in žvepleno kislino

Fig. 6

Efficiency of washing by sulphuric acid in a column packed with manganese ore.

50 mm. Majhna poroznost nasutja ni motila pretoka žveplene kisline. Pogoje in rezultate poskusov kaže tabela 6.

Čiščenje je uspešnejše pri večjih količinah Hg v plinu, ker na uspešnost vpliva tudi kondenzacija. Očistilo se je 80 do 90 % Hg, kar se ujema z objavljenimi podatki pri čiščenju brez uporabe žveplene kisline. Zato smo z nadaljnimi poskusi ugotavljali, kako vpliva zmanjšanje koncentracije kisline na čiščenje (tabela 7).

Rezultata nam povesta, da kislina vpliva na aktivnost piroluzita in s tem na uspešnost čiščenja. Z zmanjšanjem jakosti kisline za polovico se iz plinov odstrani za 10 % manj živega srebra.

#### IV. SKLEPI

Preizkusili smo štiri načine čiščenja živega srebra iz plinov po kondenzaciji. Pri čiščenju plinov z vodo deluje naša čistilna naprava kot kondenzator. Pri takšnem načinu čiščenja izkoristek raste, če pline s čim višjo koncentracijo Hg hladimo s čim hladnejšo tekočino. Hladiti vodo pod 20° C in s tem povečati kondenzacijo je nesmiselno, ker je učinek čiščenja premajhen z ozirom na vloženo delo hlajenja. Od tod sledi, da takšna metoda čiščenja ni uspešna, če plini vsebujejo 20 do 30 mg Hg/m<sup>3</sup>, saj se odstrani samo 10 % Hg ali manj, ker je temperatura plina in vode skoraj enaka in tako ne more priti do kondenzacije živega srebra. Čiščenje je uspešnejše pri koncentracijah nad 30 mg Hg/m<sup>3</sup>, vendar pri dobrem obratovanju kondenzatorja vsebnost Hg v plinu ne naraste nad to vrednost. Zato iz kondenzatorja izhajajočih plinov ne bomo čistili po tej metodi.

Pri čiščenju z apnenim mlekom se Hg izloči samo s kondenzacijo, do kemičnih reakcij ne pride. Izkoristek je enak kot pri čiščenju z vodo.

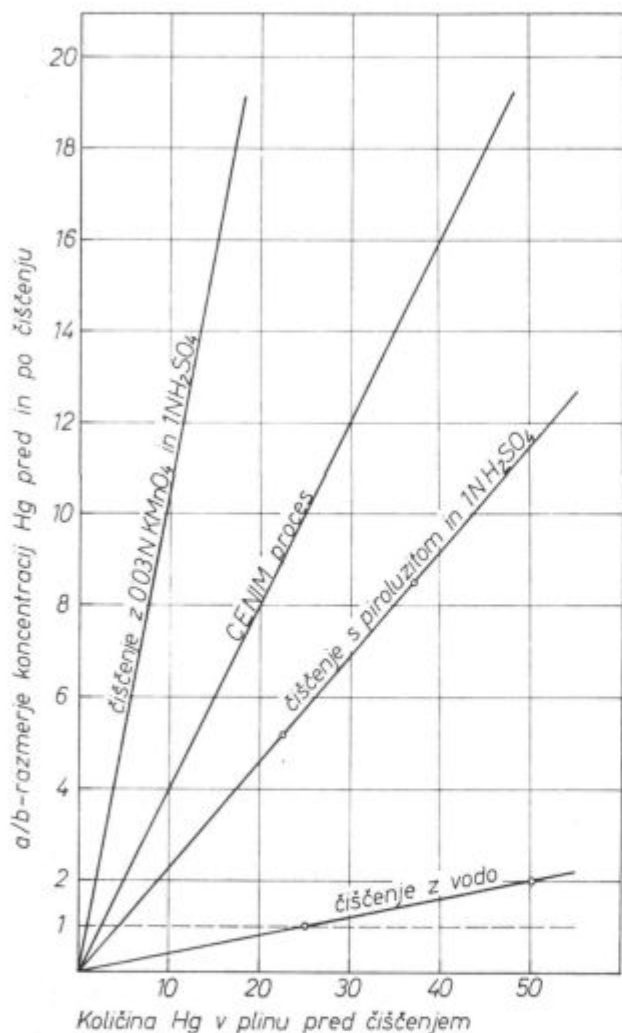
Na isti čistilni napravi se z uporabo razredčene žveplene kisline, kateri dodamo permanganat, izpere iz plinov 98 % živega srebra. Na izkoristek čiščenja vpliva višina reagenta v stolpu, oziroma čas stika med plinom in oksidantom, ki tečeta protitočno. Uspešnost se zboljšuje z večanjem višine samo do določene vrednosti, ko se oksidant izrabi pri pogojih poskusa.

Z omejenim spreminjanjem kislosti raztopine ne opazimo zboljšanja izkoristka čiščenja. Učinek ločenja povečamo šele z uporabo močnejše raztopine permanganata. Pri povečanju normalitete  $KMnO_4$  od 0,03 na 0,05 izkoristek naraste za 1 %, od 97 na 98 % pri optimalni višini kolone. Slaba stran tega postopka je, da je izredno drag, saj je cena samega permanganata dvakrat večja, kot je vrednost pridobljenega živega srebra.

Čiščenje z naravnim piroluzitom in razredčeno žvepleno kislino nam da v naši napravi slabše rezultate, kot jih navaja literatura. Po tem postopku smo preiskovali samo vpliv jakosti kisline na uspešnost čiščenja. S povečanjem jakosti kisline od 0,5 na 1 krat normalno se iz plina, ki vsebuje

22 mg Hg/m<sup>3</sup>, odstrani za 10 % več živega srebra. Izkoristek naraste na 80 %. Če bi hoteli odstraniti nad 90 % Hg, bi morali povečati predvsem koncentracijo žveplene kisline.

Uspešnost posameznih metod čiščenja lahko prikažemo grafično, če na absciso nanašamo količino Hg pred čiščenjem, na ordinato pa razmerje koncentracij Hg pred čiščenjem in po njem. Iz diagrama na sliki 7 je razvidno, da imajo krivulje različen naklon, odvisno od metode čiščenja. Na-



Slika 7

Primerjava različnih metod čiščenja Hg iz dimnih plinov

Fig. 7

Comparison of various methods of washing mercury from flue gases.

klon krivulje je podan s tg kota razmerja  $a/b$  in vhodne koncentracije Hg  $a$ :

$$\operatorname{tg} = \frac{a/b}{a} = \frac{1}{b}$$

Če gre vrednost izhodne koncentracije  $b$  proti nič, gre tg naklonskega kota krivulje proti neskončnosti in krivulja se približuje ordinati. Bolj strma je krivulja, boljši je izkoristek. Z nižanjem vhodne koncentracije  $a$  se pomikamo po krivulji navzdol do točke, kjer je razmerje  $a/b = 1$ . Izkoristek je pri tem razmerju enak nič, ker ni čiščenja plinov.

Količina Hg po čiščenju je za vsako metodo različna. Tako pri mokrem čiščenju ostane v plinu, pri pogojih poskusa, podanega v tabeli 2, še 20 do 25 mg Hg/m<sup>3</sup>. Na zmanjšanje te vrednosti ne moremo vplivati s spremembo pretoka plina in vode, ampak samo še z ohlajitvijo vode pod 20° C. Kondenzacija je pri optimalnih pogojih pretoka plina kontrolirana s prenosom toplote.

Podobno je pri kemičnem čiščenju, ko na znižanje vrednosti  $b$  vplivamo samo še z večanjem koncentracij reagentov. Za primerjavo smo vnesli v diagram na sliki 7 še CENIM postopek kemičnega čiščenja.<sup>5</sup>

### Zahvala

Avtorji se zahvaljujejo Skladu Borisa Kidriča, ki je s sofinanciranjem omogočil raziskavo, ter prof. L. Kostu, TOZD kemija, Univerze v Ljubljani, ki je priskočil na pomoč pri problemih določevanja majhnih količin živega srebra v plinih.

### Literatura

1. F. ULLMANN: Enzyklopaedie der technischen Chemie, Berlin, Urban & Schwarzenberg, 1931, str. 616
2. S. M. MELJNIKOV: Rtut, Moskva, Metallurgizdat, 1951, str. 266—272
3. T. PJATYJ: Osnovy metallurgii V., Moskva 1968, str. 474—475
4. J. Rastas, E. Nyholm, J. Kangas. Mercury recovery from SO<sub>2</sub>-rich smelter gases. Engineering and Mining Journal, Vol. 172, 4, 1971, 123—124
5. A. DE LA CUADRA, M. FERNANDEZ-TALLANTE, A. LUIS MARTIN, A. RODRIGUEZ SANCHEZ: CENIM process for purification and recovery of Mercury from waste gases of metallurgical plants; iz poročila I. Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona 1974, str. 317
6. A. I. VOGEL: Quantitative Inorganic Analysis, London, Longmans, 1962, str. 275

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Abgase bei der Gewinnung von Quecksilber enthalten nach der Kondensation noch 20 bis 50 mg Hg/m<sup>3</sup> welcher wegen der Umweltbeschützung und ökonomischer Metallgewinnung aus den Abgasen entfernt werden sollte. Die Gasreinigung kann physikalisch oder chemisch durchgeführt werden. In der Fachliteratur erwähnten physi-

kalischen Methoden sind das Auswaschen mit Wasser, Reinigen mit starker Unterkühlung, und das Reinigen durch die Adsorption am Pyroluzit. Die chemischen Methoden sind häufiger. In der Zeitschrift sind erwähnt, Reinigen mit Chlor und Chlorverbindungen, Reinigen mit Schwefelsäure, mit der Sulfozianidlösung, Reinigen mit der Schwefel-

сäure und Pyrolusit, und mit der Salpetersäure. Der Hauptnachteil dieser Methoden sind die hohen Selbstkosten im Vergleich zu dem Wert des gewonnenen Quecksilbers.

Bei der Wahl der eigenen Reinigungsmethode haben wir die Billigkeit des Verfahrens berücksichtigt, dass die Abgase aus der Quersilberhütte in Idrija nach der Kondensation noch 20 bis 50 mg Hg/m<sup>3</sup> enthalten und dass dessen Temperatur unter 40° C liegt. Die ersten Versuche haben wir mit Wasserspülung in mit inertem Material gefüllten Spültürmen durchgeführt. Wenn einmal die technischen Probleme mit der Gegenstromspülung, Abnahme der Gasproben, und der Analyse der kleinen Quecksilbermengen im Gas gelöst worden waren, zeigten die Versuche, dass aus dem Abgas nur dieser Teil des Quecksilbers entfernt worden ist, welcher in der Form von Aerosol auftritt, bzw. im Kontakt mit kühlerem Spülwasser kondensiert (Bild 4). Die Anwendung von Kalkmilch anstatt Wasser brachte keinen besseren Erfolg (Bild 4).

Für eine wirkungsvollere Reinigung kommen dann nur chemische Methoden in Betracht welche aber teurer sind. Als Spülreagent haben wir dann die 0.01 bis 0.05 N KMnO<sub>4</sub>,

und 0.2 bis 1.0 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Lösungen angewendet. Wir konnten feststellen, dass die Erhöhung der Konzentration von KMnO<sub>4</sub> und bis zu einer bestimmten Grenze auch die Höhe der Kolonne den Reinigungsgrad erhöhen. Während dem die Änderung des Säuregehaltes keinen Einfluss hatte. Mit der Lösung aus 0.03 N KMnO<sub>4</sub> und 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> konnten wir bei der optimalen Höhe der Kolonne 97 % Hg aus den Gasen ausspülen (Bild 5). Eine kurze ökonomische Auswertung dieser Methode zeigte, dass die Kosten des verbrauchten Reagents zweimal höher sind vom Wert des gewonnenen Quecksilbers.

Die letzte experimentell untersuchte Methode war die Gasspülung in einer Kolonne mit einer Schicht reichen Manganerzes. Wir konnten feststellen, dass die Erhöhung der Schwefelsäurekonzentration von 0,5 auf 1 N den Reinigungsgrad von 70 auf 80 % erhöht, was aber von den Angaben in der Literatur noch immer kleiner ist.

Den Vergleich verschiedener Gasreinigungsverfahren und die unteren erzielten Quecksilber Konzentrationen nach dem Reinigen zeigt Bild 7.

## SUMMARY

Flue gases from mercury production contain after condensation still 20 to 50 mg Hg/m<sup>3</sup> which should be removed because of increased metal yield and due to prevention of pollution. Cleaning of gas can be physical or chemical. In references, the mentioned physical methods are washing by water, deep cooling, and cleaning by adsorption to pyrolusite. Chemical methods are more frequent and in references there are mentioned: cleaning by chlorine and its compounds, by sulphuric acid, by solution of sulphocyanide, by sulphuric acid and pyrolusite, and by nitric acid. Basic disadvantage of all the methods are high operation costs compared with the value of recovered mercury.

In searching own method of cleaning the inexpensiveness of the method was the basic parameter. Further, mercury content of 20 to 50 mg Hg/m<sup>3</sup> and gas temperature of 40° C were taken in account. Initially the washing by water was investigated using packed bed column of inert material (limestone). After solving experimental problems of countercurrent washing, gas sampling, and analysing small amounts of mercury in gas, the experiments showed that only mercury in form of aerosol can be removed

from the gas (Fig. 4). Milk of lime used instead of water did not give better results (Fig. 4).

More efficient gas cleaning can be than obtained only by chemical methods which are expensive. In the first test of second series of experiments, solution of 0.01 to 0.05 N KMnO<sub>4</sub> and 0.2 to 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> was applied as the washing agent. Concentration of permanganate and height of column to a certain height were found to increase the efficiency of cleaning while the acidity did not have any influence. Solution of 0.03 N KMnO<sub>4</sub> and 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> recovered at the optimal column height about 97 % mercury from gas (Fig. 5). But short economical analysis showed that price of permanganate alone is nearly twice the value of the recovered mercury.

The last method experimentally tested was washing of gases by diluted sulphuric acid in a packed bed of manganese ore. Increase of acidity from 0.5 to 1 N increased the yield of recovery from 70 to 80 % which is still less than cited in references.

Final comparison of various methods and the lower obtainable mercury concentrations after gas cleaning are shown in Fig. 7.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При получении ртути газы после конденсации ртути содержат всё ещё 20 до 50 мг Hg/m<sup>3</sup>, для рентабельности производства а также для защиты окружающей среды эти газы необходимо устранить. Очистка газов может быть выполнена физическими или химическими способами. В литературе указаны следующие физические способы очистки: промывка с водой, очистка с глубоким охлаждением и адсорбционная очистка на пиролюзите. Химические способы очистки чаще в употреблении. В литературе указано на: очистка с хлором и его соединениями, очистка с серной кислотой, с раствором сульфцианида, очистка с серной кислотой и пиролюзитом а также и с азотной кислотой. Главный недостаток всех этих способов большие расходы при их применении в сравнении с стоимостью полученной ртути.

При выборе собственных способов очистки, авторы взяли во внимание рентабельность способа, также, что отходные газы из плавильного завода ртути в Идрие содержат после конденсации 20—50 мг Hg/m<sup>3</sup> а ихняя тем-ра не превышает 40° C. Сначала был выбран способ промывки с водой в промывательных башнях, наполненных с инертным материалом. После разрешения технических вопросов в связи с промывкой с противодействующей струей, отбором проб газа для анализа, определением незначительных количеств серебра в газе, опыты показали, что этим способом удалось устранить из газа ртуть только в форме аэро-

золя, т. е. ту часть ртути которая конденсируется при соприкосновении с более холодной промывальной водой (рис. 4). Применение известкового молока вместо воды очистку не улучшило (рис. 4).

Для более или менее эффективной очистки газов остаются только дорогие химические способы. При промывки как реагент употребил раствор 0.01—0.05 н KMnO<sub>4</sub> и 0.2—1.0 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Установили, что выход при очистке увеличивается с повышением концентрации перманганата и высоты колонны но только до определённого предела, между тем изменение кислотности не имеет влияние.

С раствором 0.03 н KMnO<sub>4</sub> и 1 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> удалось при оптимальной высоте колонны удалить из газов 97 % ртути (рис. 5). Но быстрая экономическая оценка показала, что стоимость расходного реагента в два раза больше стоимости полученной ртути.

Последний экспериментальный способ состоял в промывке газов в колонии наполненной в слоях с богатой марганцевой рудой. Установили, что повышение концентрации серной кислоты от 0,5 н на 1 н увеличивает выход очистки от 70 на 80 %, хотя это всё ещё под результатом на которого указывает литература.

Конечный итог сравнения разных способов очистки и на нижнюю достижимую концентрацию серебра после очистки указывает рис. 7.

---

# HONEYWELL

## VODILNO PODJETJE V INTEGRIRANI AVTOMATIZACIJI

### VAM NUDI CELO VRSTO INSTRUMENTOV ZA MERJENJE, REGULACIJO IN AVTOMATIZACIJO

---

#### Instrumentacija za procesno industrijo

Potenciometriški elektronski indikatorji, regulatorji in regulatorji — Indikatorji, regulatorji in regulatorji pretoka, temperature in pritiska — Miniaturni elektronski instrumenti — Miniaturni pnevmatski instrumenti — Regulacijski ventili s pnevmatskim in električnim pogonom — Termoelementi in pirometri — Enostavni instrumenti za merjenje in regulacijo temperature in pritiska — Procesna računalja

#### Mikrostikala

Standardna in miniaturna mikrostikala — Sigurnostna in miniaturna mikrostikala — Brezkontaktna stikala — Instrumenti za vgraditev (mV, mA itd.)

Honeywell je organizacija mednarodnega nivoja, ki združuje operativne oddelke za instrumentacijo kontrole gorenja, klimatizacijo in zagrevanje, procesno instrumentacijo, električne enote, mikrostikala, znanstveno instrumentacijo ter sisteme obdelave podatkov. Poglejmo zakaj je Honeywell edini v svetu v stanju nuditi aparature, naprave in tehnično pomoč za ustvaritev kompletnih programov avtomatizacije na različnih področjih in v popolnosti rešiti probleme točno po zahtevah naročnikov. V vsakem Honeywellovem instrumentu je namreč preciznost in izkušnja industrije, ki proizvaja celo 20.000 različnih proizvodov.

#### Regulatorji za gretje, hlajenje in klimatizacijo

Električni regulacijski sistem — Elektronski regulacijski sistem — Pnevmatični regulacijski sistem

#### Instrumentacija za gorilce in kotle

Oljni gorilci za gospodinjstvo — Industrijski oljni gorilci — Plinske peči za gospodinjstva — Industrijski plinski gorilci — Regulatorji za kotle

#### Instrumenti za laboratorijske raziskave

Pojačala in pretvorniki signala — Visicorder oscilografi — Laboratorijski potenciometriški regulatorji — XY regulatorji — Laboratorijski standardi — Monitorji — Diferencijski voltmetri in drugi precizni instrumenti — Digitalni merilni instrumenti — Korelatorji — Elektronski bio-medicinski sistemi

---

# HONEYWELL

## AUTOMATION

Sedež: Via Vittor Pisani 13 — 20124 Milano  
predstavnik za Jugoslavijo: Merkantile, Praška 2,  
Zagreb

# O obliki in sestavi nekovinskih vključkov v jeklih za trakove

UDK: 669. 14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: M21e

Franc Vodopivec, J. Arh in B. Ralić

Opis morfoloških značilnosti in nastajanja nekovinskih vključkov v elektrojeklih za trakove. Vključke Al oksida, Ca aluminata, špinela, galaksita, Ca sulfida, Mn alumosilikata in Mn sulfida so našli v jeklu, ki je bilo v različnih trenutkih vzeto iz peči, v izvaljanih trakovih pa vključke Al oksida, Ca aluminata, Ca sulfida, Mn alumosilikata in Mn sulfida. Pri isti količini žvepla je v jeklu z manj ogljika več sulfidnih vključkov. Razmerje med lastnostmi jekla pravokotno na smer valjanja in v smeri valjanja se zmanjšuje z naraščanjem količine sulfidnih vključkov.

## I. UVOD

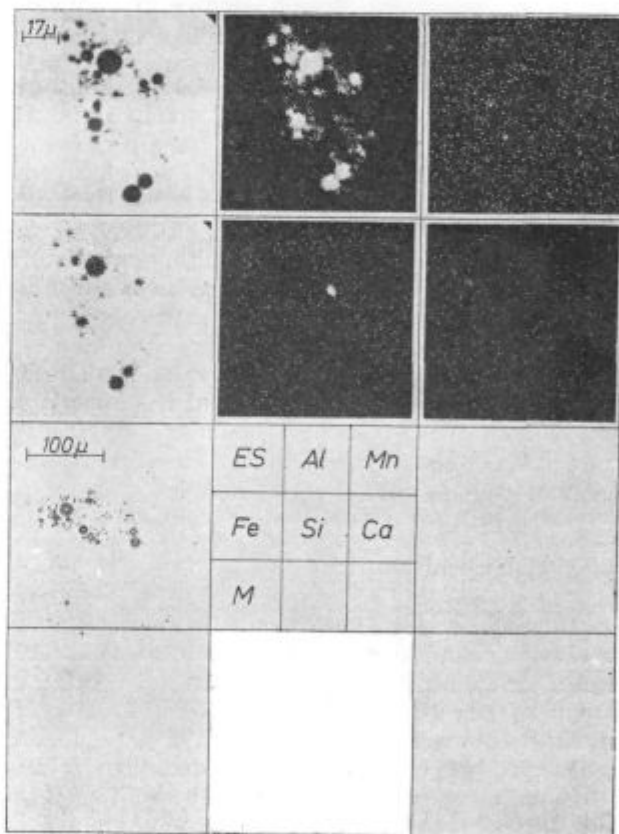
V okviru večje raziskovalne naloge, ki je obravnavala različne postopke dezoksidacije elektrojekel za trakove,<sup>1</sup> je bila izvršena tudi sistematična preiskava nekovinskih vključkov v vzorcih jekla, ki so bili vzeti iz peči, iz ponovce in iz vroče izvaljanih trakov. Iz taline so bili vzorci vzeti po preddezoksidacijskih dodatkih. Preiskava je obsegala pregled v metalografskem mikroskopu z določitvijo količine in velikosti sulfidnih vključkov ter analizo na elektronskem mikroanalizatorju. Pri tej analizi smo se omejili na površinsko analizo in opredelitev sestave posameznih sestavin vključkov po intenziteti karakterističnega sevanja za različne elemente na specifičnih X posnetkih. Iz izkušnje vemo, da je taka opredelitev celo bolj zanesljiva kot kvantitativna točkovna analiza, saj se često sestava vključkov spreminja od točke do točke, zato je potrebno zelo veliko dela, da bi se določila poprečna sestava. Rezultati, ki smo jih pri tem delu dobili, so toliko zanimivi, da smatramo, da jih je vredno predstaviti ločeno od dela, ki bo analiziralo preizkušene načine dezoksidacije jekel. V tem pregledu smo vključke razdelili po prevladujočih elementih oziroma po skupnem nastopanju elementov v posameznih vključkih.

## II. PREISKAVE VKLJUČKOV

### 1. Vključki Al oksida

V večini jekel smo našli vključke Al oksida zrnate oblike. Zanje vemo, da so produkt dodatka Al v talino ali pa ostanki obzidave peči, ponovce in livnega sistema. Poleg teh vključkov, katerih zrnata oblika pove, da so lebdeli v jekleni talini kot trdna zrna, smo našli v vzorcih jekla, ki so

bili vzeti iz taline, ki je bila bogata s kisikom in je bila pomirjena pri jemanju iz peči, še krogličaste popolnoma prozorne vključke Al oksida (slika 1), ki v polarizirani svetlobi pokažejo značilni križ. Zelo pazljiva analiza na elektronskem mikroanalizatorju je pokazala, da so ti vključki praktično brez Fe, Si, Mn in Ca. Zato domnevamo, da taki vključki nastajajo najverjetneje z reakcijo med aluminijem, ki ga dodamo v jeklo za pomirjenje, in kisikom, ki je v talini raztopljen, ne pa z redukcijo oksidov, ki so manj stabilni kot



Slika 1

Prozorni krogličasti vključki Al oksida. Vzorec vzet po pihanju kisika in pomirjen. Na tej in sledečih prilogah pomenijo: ES — elektronski posnetek sestave; Al, Ca, Si itd. specifični X posnetki za različne elemente; M — mikroposnetek.

Fig. 1

Transparent spheroidal Al oxide inclusions. The sample was taken after oxygen blowing when steel was killed. On this and further pictures the symbols mean: ES — electron picture — composition; Al, Ca, Si, etc. are specific X ray pictures of single elements; M — microphotograph.

je Al oksid. Taki manj stabilni oksidi so na primer oksidi Mn in Fe. V primeru, da bi krogljčasti vključki Al oksida nastali z redukcijo oksidov, ki so bili v talini že izoblikovani, bi bilo pričakovati, da bi vsaj v kakšnem od številnih analiziranih vzorcev zabeležili v vključkih ostanke prvotnega oksida, katerega popolno redukcijo je preprečila hitra kristalizacija vzorca, to je podobne primere, kot so navedeni pri opisu vključkov galaksita.

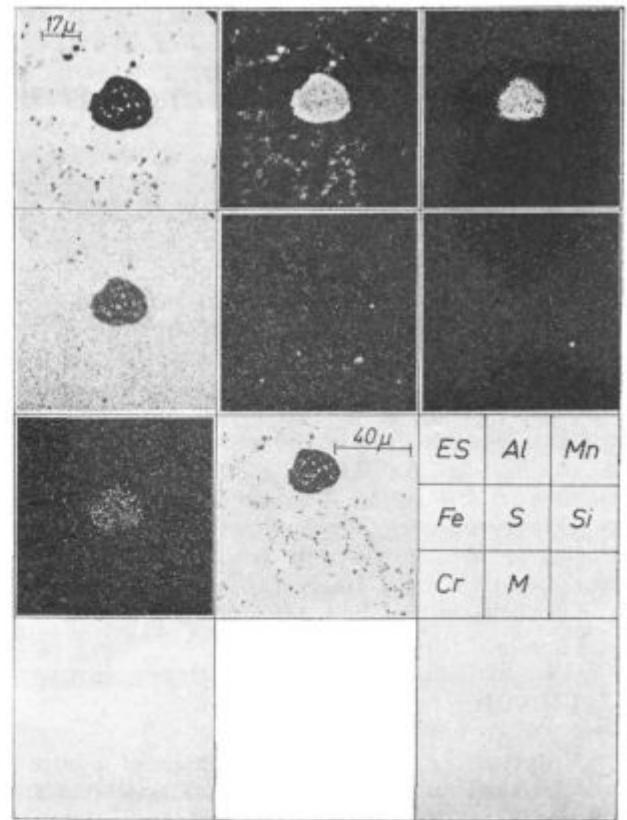
Na obstoj krogljčastih prozornih vključkov Al oksida smo opozorili že v nekem prejšnjem delu.<sup>2</sup> Mogoče odpira njihov obstoj možnost, da se na metalografski način opredeli ali jeklena talina vsebuje poleg kisika, ki je v obliki različnih vključkov, tudi raztopljeni kisik. Vprašanje je, ali taki prozorni vključki Al oksida nastajajo tudi v začetku dezoksidacije z aluminijem v jekleni talini bogati z raztopljenim kisikom, nato pa kroglice prekristalizirajo v zrna, ki so značilna za vključke Al oksida. Zaenkrat nimamo podatkov, na osnovi katerih bi lahko sklepali kako reakcijski pogoji v talini, koncentracija kisika in aluminija, temperatura in prisotnost drugih elementov, vplivajo na nastanek teh krogljčastih vključkov.

Izkušnje, ki smo jih dobili pri pregledu številnih vzorcev jekla, tako vzorcev vzeti iz taline, v katero je bil dodan ali pa ni bil dodan aluminij, kot vzorcev, ki so bili vzeti iz valjanega jekla, kažejo, da obstojata dva glavna tipa vključkov Al oksida.

Ena vrsta so prosojni vključki sive barve z nekoliko zaobljenimi robovi (opredelitev barve velja za opazovanje v metalografskem mikroskopu z zelenim filtrom), druga vrsta pa so ostrorobi vključki klinaste oblike z modrikastim odtenkom, ki na obruskih močno reliefno izstopajo. Ti vključki so pogosto zraščeni v bolj ali manj kompaktne skupke. Na voljo nimamo podatkov, na osnovi katerih bi se lahko opredelili, ali razlika v videzu pomeni tudi razliko v poreklu.

## 2. Galaksitni vključki

Galaksitne vključke ( $MnO \cdot Al_2O_3$ ) smo našli le v vzorcih jekla, ki so bili vzeti iz taline. Značilno zanje je, da niso enotni, ampak zmes oksidne in kovinske faze (železa). Zmes je zelo fina (slika 2) in tudi s pomočjo mikroanalizatorja je nemogoče opredeliti, ali vsebuje tudi oksidna faza železo, oziroma kovinska faza mangan. Često imajo ob površini ovoj Al oksida. Iz oblike in sestave je mogoče sklepati, da nastajajo vključki z redukcijo vključkov tipa  $(Mn Fe)O$  v talini. Reakcija poteka v dveh stopnjah, najprej se reducira železo in nastane galaksit, nato se reducira še manganov oksid in dobimo vključek Al oksida. Tališče galaksita je pri 1850°C, to je pri temperaturi, ki je jeklena talina ne doseže. Torej dobimo s prvo reakcijo kapljice železa okludirane v skeletu trdnega oksida. Pri drugi reakciji nastane na površini vključka ovoj trdnega Al oksida. Izmenjava atomov je mogoča le z difuzijskim prenosom skozi



Slika 2

Vključek galaksita s plaščem Al oksida ter krogljčasti in zrnati vključki Al oksida. Vzorec vzet iz peči po pihanju kisika in pomirjen.

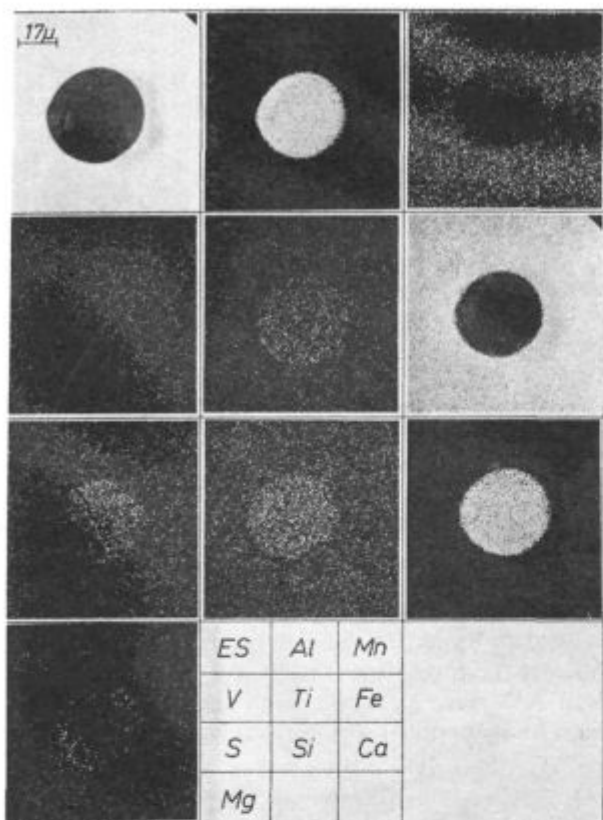
Fig. 2

Inclusion of galaxite enveloped by Al oxide, and spheroidal and grained Al oxide inclusions. The sample was taken from the furnace after oxygen-blowing and killed.

ta ovoj. Ta je malo permeabilen in po Straubeju in sodelavcih<sup>3</sup> zavira nadaljevanje reakcije med galaksitom in aluminijem v talini.

## 3. Vključki Ca aluminata

Vključke te vrste smo našli v vzorcih jekla, ki so bili vzeti iz peči in v valjanem jeklu. Opazili smo jih v jeklih, v katera so bile dodane legure s kalcijem v talino in v jeklih, v katerih takih dodatkov ni bilo. Torej nastajajo vključki Ca aluminata z reakcijo Ca v talini, lahko pa so ekso-genega izvora in pridejo v jeklo iz žindre ali obzidave. V nobenem primeru nismo zasledili v jeklu vključkov čistega Ca oksida ali znakov prisotnosti takega oksida v staljenem jeklu. Torej je mogoče dvoje: ali Ca oksid, ki nastaja po dodatku Ca v talino, zelo hitro reagira s prisotnimi vključki druge vrste, predvsem vključki Al oksida in redkeje z vključki silikatnega tipa, ali pa se zelo hitro odstranjuje v žindro. V vključkih Ca aluminata najdemo često žveplo, mnogokrat dispergirano v celem vključku (slika 3), mnogokrat pa sulfidna faza tvori nekakšen ovoj okoli aluminatne



Slika 3

Vključek Ca aluminata, ki vsebuje še sledove drugih elementov. Vzorec vzet iz ponovce.

Fig. 3

Inclusion of Ca aluminate containing traces of other elements. The sample taken from the ladle.

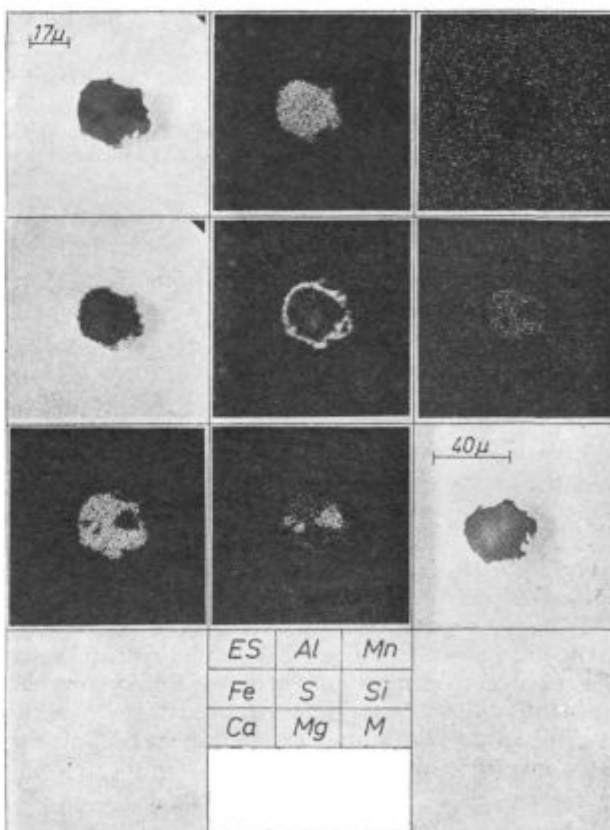
notranjosti (slika 4). V večini primerov v takih vključkih ni mangana. Iz tega je mogoče sklepati, da je žveplo vezano v Ca sulfidu. Naleteli smo tudi na primere, ko so bili v vključkih Ca aluminata dendriti Ca sulfida (slika 5).

V predelanem jeklu ohranijo vključki Ca alu-krogličasto obliko. Po obliki in po odsotnosti zrastkov, ki bi bili bogatejši s kalcijem in po tem, da v mikroskopu ni bilo razločiti evtektične sestave, sklepamo, da gre za steklaste kalcijeve aluminata, katerih sestava ne ustreza nobeni izmed mnogih spojin kalcijevega in aluminijevega oksida, ki jih navaja binarni diagram  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ . Tako vrsto vključkov Ca aluminata sta opazila v jeklu z 1 % C in 1,4 % Cr Salter in Pickering.<sup>4</sup> Ta dva avtorja poročata tudi o zrnatih vključkih  $\text{CaO}6\text{Al}_2\text{O}_3$  obdanih s sulfidom.

V nepredelanem jeklu ohranijo vključki Ca aluminata ovalno obliko le, če je v njih tudi Si oksid (slika 6). Čisti vključki Ca aluminata se pri valjanju zdrobijo v nize zrnatih vključkov, ki imajo zrastle Ca sulfida ob površini ali v notranjosti (slika 7). Po mikroskopskem videzu in barvi so zelo podobni vključkom Al oksida, vendar v splošnem manj enotni in poprečno večji.

Oblika vključkov pove, da so bili v jekleni talini staljeni, vendar že izoblikovani kot kroglice, da se je lahko na njihovi površini nalagal Ca sulfid. Vzrok za tvorbo tega ovoja nam ni poznan. Po naših izkušnjah nastaja le okoli vključkov Ca aluminata, čistih in takih, ki imajo malo silicija ter tudi na vključkih, ki imajo spinelne zrastle, ne nastaja pa okoli vključkov Al oksida, galaksita in silikatnih kroglic. Po rezultatih naših preiskav sklepamo, da se vključki Ca aluminata oz. vključki te vrste z zrastle ali ovojem Ca sulfida, izločajo iz taline počasneje, kot vključki Al oksida. Taline, v katerih smo našli te vključke, so imele v poprečju za 70 % več kisika, kot taline, v katerih so bili le vključki Al oksida.

V litem jeklu so vključku Ca aluminata pogosto sorazmerno veliki. Pri vročem valjanju se zdrobijo v nize ostrorobnih zrn, ki so večja, kot so običajno zrna Al oksida, zato so vključki Ca aluminata verjetno tudi bolj škodljivi. Potrebno se je torej izogibati možnosti, da bi v talini nastali vključki Ca aluminata, kar se da doseči le tako, da se kalcij dodaja v talino potem, ko je bilo jeklo dobro dezoksidirano z aluminijem in je iz njega splaval že velik del nastalih vključkov Al oksida.



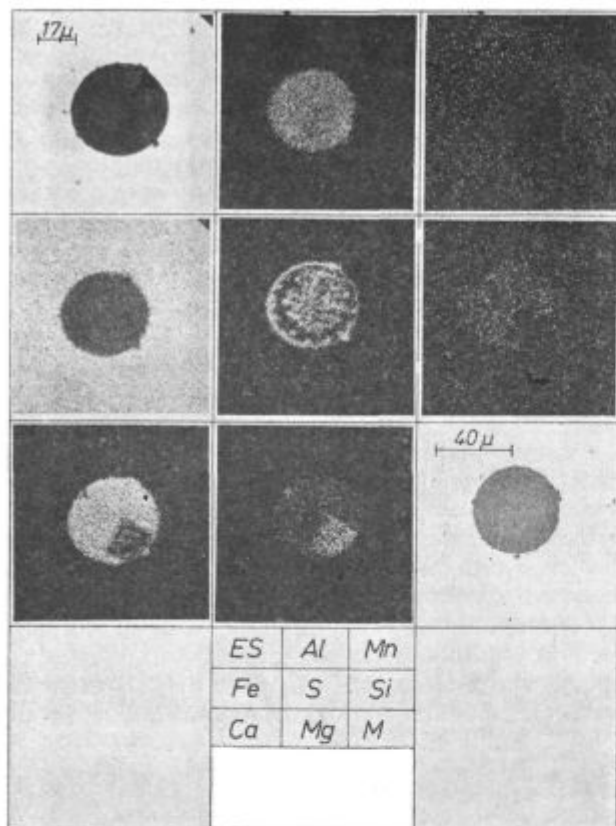
Slika 4

Vključek Ca aluminata z ovojem Ca sulfida in zraščanim spinelnim zrnom. Vzorec vzet iz peči po pihanju kisika.

Fig. 4

Inclusion of Ca aluminate enveloped by Ca sulphide and intergrown with a spinel grain. The sample taken from the furnace after oxygen blowing.





Slika 5

Vključek Ca aluminata z ovojem in dendritnimi zrastki Ca sulfida in področjem bogatim s špinelom. Isti vzorec kot

Fig. 5

Enveloped inclusion of Ca aluminate and dendritic intergrowths of Ca sulphide, and the region rich in spinel. The sample as in Fig. 4.

#### 4. Špinelni vključki

Magnezij najdemo v vključkih predvsem kot primes v vključkih Ca aluminata, kot fino disperzijo ali raztopino v steklasti fazi, ali pa kot zrnate zrastle v notranjosti ali ob površini kroglic Ca aluminata. Ovoj kalcijevega sulfida obdaja tudi taka špinelna zrna, kar je znak, da so se ta zrna pridružila v talini kapljicam Ca aluminata pred začetkom nastajanja sulfidnega ovoja. Zanimiv je vključek na sliki 5, ki kaže, da ločitev od osnove faze, ki je bogata z magnezijem, ni prizadela dendritov Ca sulfida. To je znak, da je sulfid kristaliziral pred razmešanjem vključka. Redki so zrnati špinelni vključki, najdejo se predvsem v jeklih z visokim ogljikom, na kar smo opozorili že v nekem prejšnjem delu.<sup>5</sup>

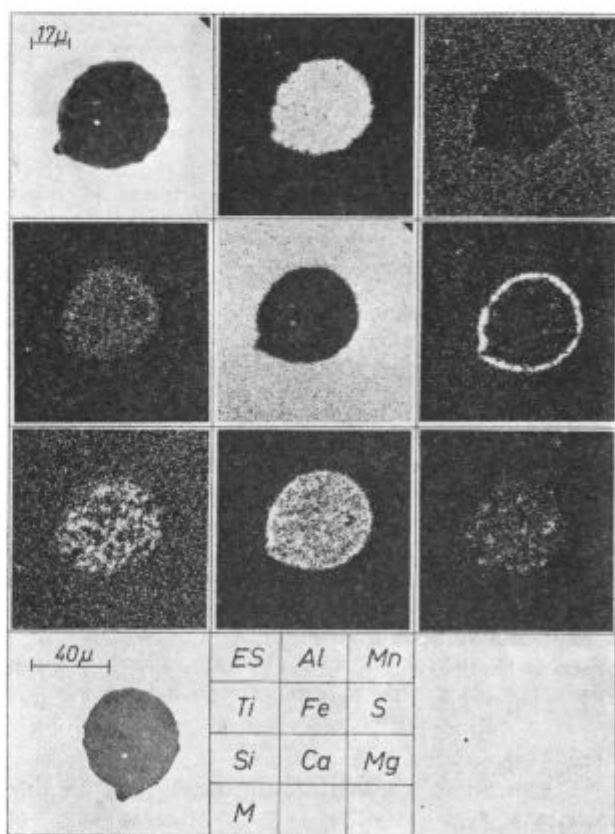
#### 5. Silikatni vključki

V vključkih te vrste najdemo vedno okside mangana, aluminija, silicija in železa. Opazili smo jih često v vzorcih, vzetih iz peči, v valjanem jeklu pa le, če je bila dezoksidacija z Al premalo uspešna tako, da je vsebnost topnega aluminija v jeklu blizu 0,001 %. V silikatnih vključkih naj-

demo često sled, redkeje več kalcija, in redko sled magnezija. Silikatni vključki so redko optično enofazni (slika 8), ampak so v njih zrnati zrastle Al oksida (sliki 9 in 10). Žveplo je v silikatnih vključkih enakomerno dispergirano. V nobenem primeru nismo opazili sulfidnega ovoja okoli silikatnih vključkov.

V trakovih so silikatni vključki nitasto razpotegnjeni, kar je dokaz, da imajo precejšnjo deformacijsko sposobnost v primerjavi z austenitom. Po podatkih iz literature<sup>6</sup> je plastičnost Mn silikata večja od plastičnosti austenita pri temperaturah nad 1000°C. Torej bodo silikatni vključki tem daljši in tem tanjši, čim večje zmanjšanje debeline se izvrši s preoblikovanjem pri visokih temperaturah.

Redukcija silikatnih vključkov z aluminijem se vrši od površine navznoter. Na površini nastane ovoj trdnega Al oksida (slika 11), skozi katerega se prevajajo Al, Si in Mn. Ta ovoj zavira hitrost reakcije, vendar verjetno manj kot pri redukciji vključkov galaksita, ker je notranjost vključkov staljena in pospešuje reakcijo s tem, da topi nastali Al oksid. Mislimo, da bi bilo v tem smislu potrebno dopolniti shematičen prikaz spremembe

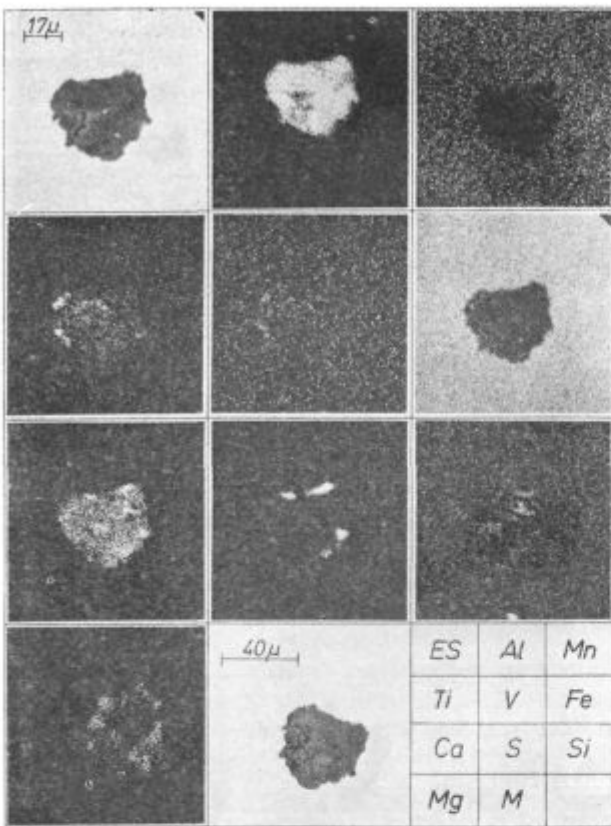


Slika 6

Kompleksen vključek Ca aluminata z ovojem Ca sulfida. Valjano jeklo.

Fig. 6

Complex inclusion of Ca aluminate enveloped by Ca sulphide. Rolled steel.



Slika 7

Vključek Ca aluminata z zrastki Ca sulfida. Valjano jeklo.

Fig. 7

Ca aluminate inclusion with Ca sulphide intergrowths. Rolled steel.

oblike vključkov pri povečanju dodatka aluminija v talino, katerega navajajo Luyck in sodelavci.<sup>7</sup>

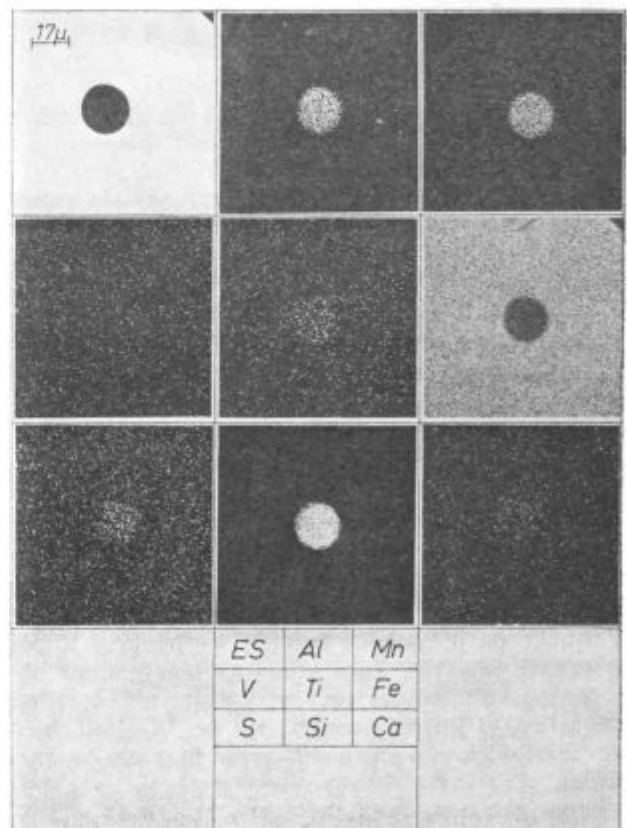
Pri silikatnih vključkih obstoja možnost, da niso endogenega porekla, torej niso nastali v talini, ampak so vključki iz ferolegur ali pa okludirane kapljice žindre. Te kapljice so često, vendar ne vedno, obdane z megljo drobnih krogličastih vključkov podobne sestave (slika 12). Tudi ferolegure so vir silikatnih in drugih vključkov. Teh vključkov zaenkrat ni mogoče zanesljivo opredeliti, razen v redkih primerih, ko oblika in sestava nedvomno kažeta, da vključek ni mogel nastati v talini. Tak vključek vidimo na sliki 13. Sestavljen je v glavnem iz Si oksida, posamezna zrna v njem pa so bogata z Al oksidom, medtem ko je mangana in železa le v sledovih. Težje je opredeliti izvor vključka na sliki 14. Oblika in sestava nedvomno kažeta, da ni nastal v talini, nista pa toliko značilni, da bi mogli vedeti, od kod izhaja. Takoj po dodatku ferolegur najdemo v jeklu še drugačne silikatne metastabilne faze. Po dodatku ustreznih ferozlitin najdemo v jeklu vključke, kjer oksidi titana, silicija, vanadija, aluminija, mangana in eventualno kalcija tvorijo steklaste, optično enofazne kroglice (slika 15). Iz take osnove često kristalizirajo zrastki Ti in Al oksida (slika 16). Zirkonov oksid smo našli v zrnatih ali lečastih

zrastkih (slika 17), nikoli pa nismo opazili, da bi bil dispergirani ali raztopljen v steklasti osnovi.

V valjanem jeklu smo opazili redko sledove titanovega oksida, pač pa so bila zelo često zrna titanovega karbonitrida zraščena v večjih zrnih ali skupkih oz. nizih Al oksida oz. Ca aluminata.

## 6. Sulfidni vključki

Te vključke smo našli v vseh vzorcih, tako tistih, ki so bili vzeti iz taline, kot v tistih, ki so bili odrezani od valjanih trakov. Večino sulfidnih vključkov sestavlja manganov sulfid, kalcijev sulfid smo opazili le v zvezi z vključki Ca aluminata, kar smo obravnavali že v točki 2. V vzorcih, ki so bili vzeti iz taline, smo našli tudi Fe sulfid značilne rumenkaste barve. V vzorcih iz ponovce in traku tega sulfida ni bilo, pač pa je bilo vedno nekaj železa v vključkih manganovega sulfida, ni pa bilo v teh vključkih kalcijevega sulfida, čeprav so bili v istem vzorcu vključki Ca aluminata, v katerih, ali ob katerih je bil Ca sulfid. Velja tudi nasprotno, da je bila le redko sled mangana v vključkih Ca sulfida. Sulfidna faza tvori večinoma samostojne vključke, redkeje so v vključkih Mn sulfida zrna Al oksida. To kaže, da je bil oksid

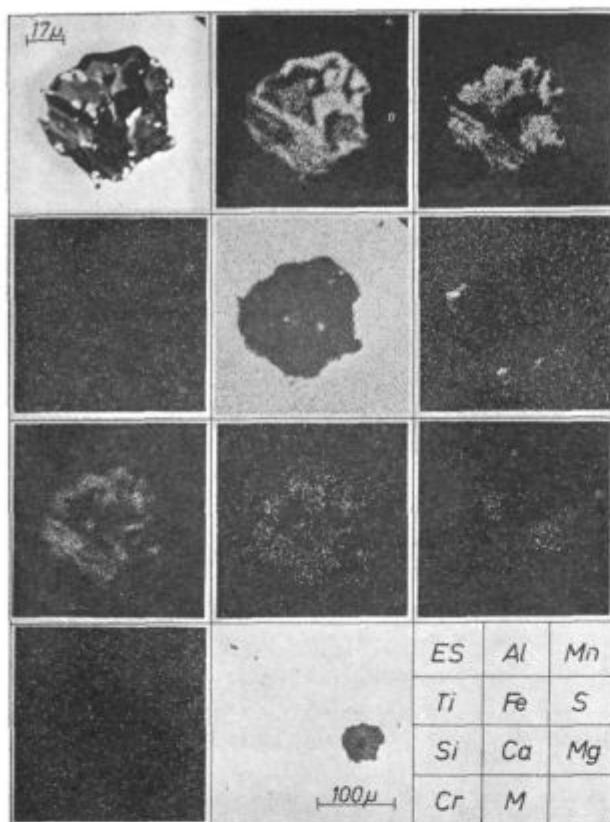


Slika 8

Krogličast, optično enofazen vključek Mn alumosilikata. Vzorec vzet iz peči pred prebodom.

Fig. 8

Optically single-phase spheroidal Mn aluminosilicate inclusion. The sample taken from the furnace before tapping.



Slika 9

Zraščeni vključek Al oksida, galaksita in Mn alumosilikata. Vzorec vzet iz peči pred prebodom.

Fig. 9

Intergrown inclusion of Al oxide, galaxite, and Mn aluminosilicate. The sample taken from the furnace before tapping.

Al Kal za kristalizacijo sulfida iz taline, oz. zbirališče drobnih sulfidnih kapljic v talini.

Količino vključkov sulfidnega tipa v valjanih jeklih smo ocenili po dveh metodah: s primerjavo z etalonsko JK skalo in s tem, da smo s štetjem in merjenjem v mikroskopu pri povečavi 500-krat določili število vključkov na enoto dolžine (gledano v smeri debeline traku) in izmerili dolžino vključkov. Zmnožek teh dveh podatkov smo imenovali količinski faktor za sulfidne vključke.

Pri štetju in merjenju vključkov smo upoštevali le vključke, ki so bili daljši od 0,01 mm, take vključke pa je mogoče razločiti — izmeriti le pri povečavi 500-krat. Zato smo pri tem načinu določanja količine vključkov upoštevali številne vključke, ki jih pri ocenjevanju po JK skali, kjer se uporablja povečava 100-krat, ni mogoče razločiti.

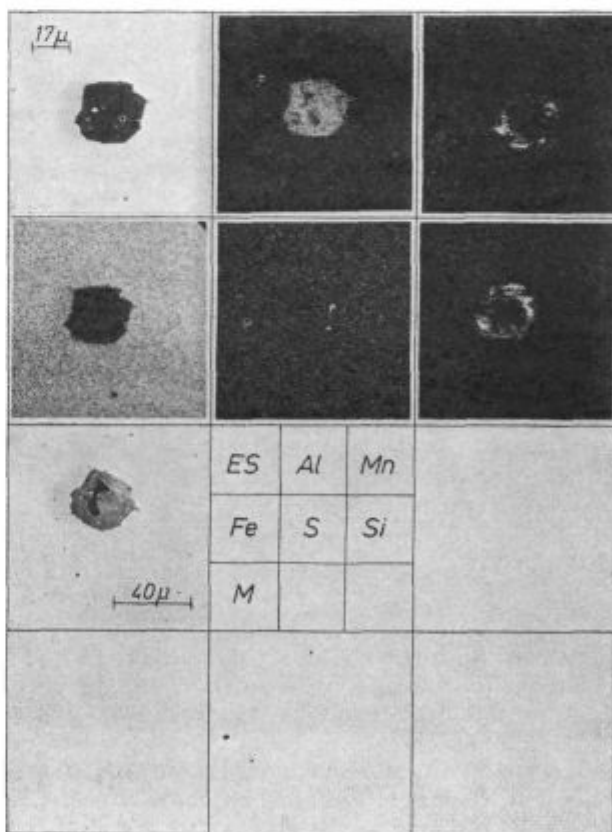
Zaradi velike redukcije pri valjanju trakov so bili sulfidni vključki zelo tanki, debelina je bila v vseh primerih blizu 0,001 mm, zato je pri poprečnem ocenjevanju količine vključkov nismo posebej upoštevali.

Količinske faktorje za različna preiskana jekla podajamo v tabeli 1, na sliki 18 pa vidimo raz-

merje med vsebnostjo žvepla v jeklu in količinskim faktorjem. Kljub temu, da je bilo preiskano razmeroma malo talin, pokaže diagram, da je pri isti skupni količini žvepla v jeklu tipa Č.0361 manj vključkov, kot v jeklih ostalih vrst (Č.0560, Č.0561, Č.0562, Č.1430, Č.1730 in Č.1832). Podobna, vendar manj izrazita razlika se pokaže tudi med vsebnostjo žvepla v jeklih in etalonskim številom za vsoto vključkov A in C po JK skali. V eni talini je bilo toliko silikatnih vključkov, da je izrazito odstopala od ostalih po količini vključkov tipov A in C in je imela zato nenormalno visok količinski faktor. Podatki v tabeli povedo še, da je v jeklih tipa Č.0361 mnogo manjši delež vključkov, ki so daljši od 0,1 mm.

V vseh jeklih raste količina vključkov z naraščanjem vsebnosti mangana, vendar je bilo število preiskanih vzorcev premajhno, da bi lahko opredelili zanesljivo korelacijo. Dolžine in števila vključkov nismo uspeli povezati z vsebnostjo drugih elementov v jeklu (npr. kisik, aluminij) in s postopkom dezoksidacije.

S tem ne mislimo trditi, da takih odvisnosti ni, ampak ie, da je bilo število analiziranih jekel premajhno, da bi se pokazale.

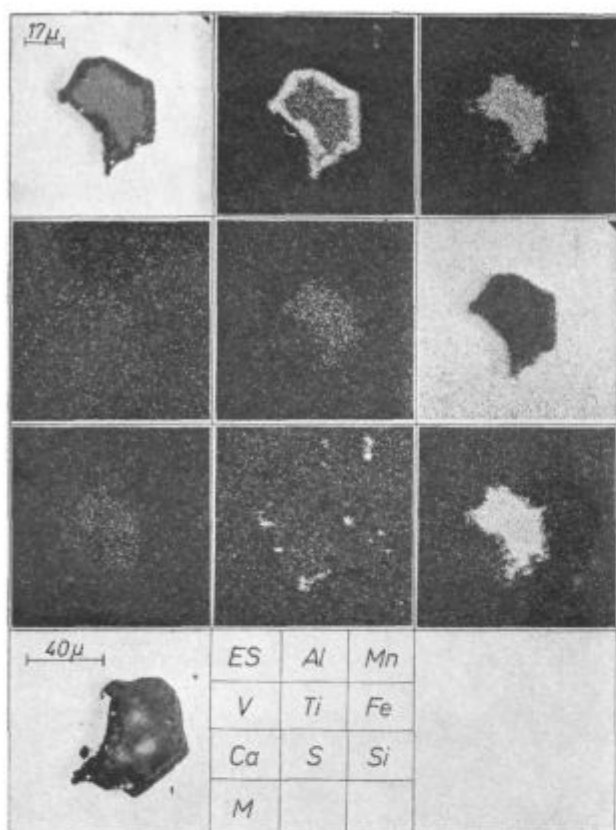


Slika 10

Zrnat zraščeneec Al oksida in Mn alumosilikata. Vzorec vzet iz peči pred prebodom.

Fig. 10

Granular intergrowth of Al oxide and Mn aluminosilicate. The sample is taken from the furnace before tapping.

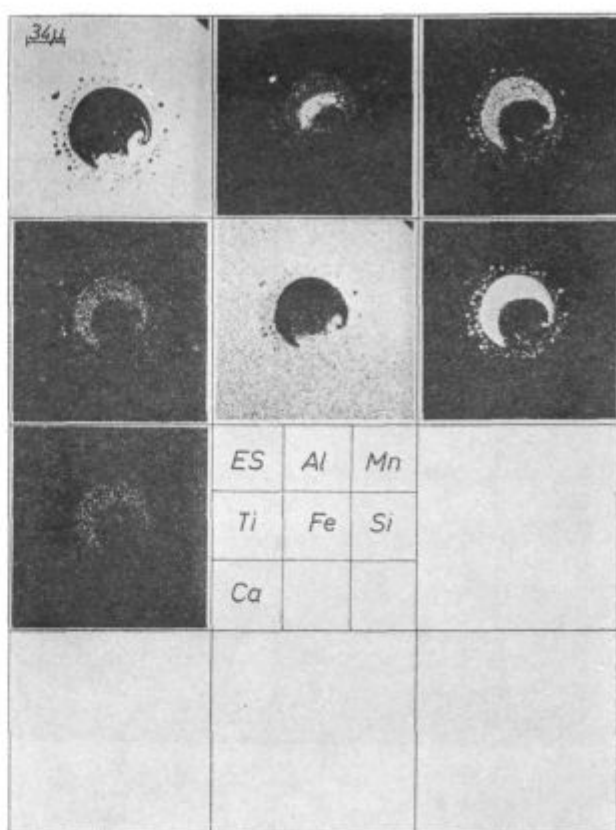


Slika 11

Vključek MnAl silikata z ovojem Al oksida. Vzorec vzet iz peči pred prebodom.

Fig. 11

MnAl silicate inclusion enveloped by Al oxide. The sample taken from the furnace before tapping.



Slika 12

Zraščen vključek Mn alumosilikata in Al oksida eksogene porekla. Vzorec vzet iz ponovce.

Fig. 12

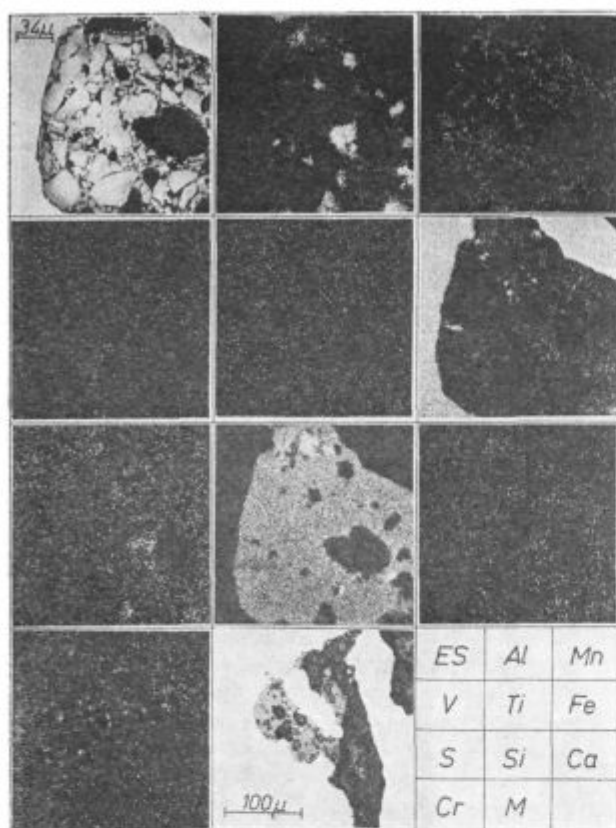
Intergrown inclusion of Mn aluminosilicate and Al oxide of exogenic origin. The sample taken from the ladle.

Tabela 1 — Količina in dolžina plastičnih vključkov

Sarža	Kvaliteta	Poprečna gostota (mr <sup>-1</sup> )	Poprečna dolžina (mm)	Količinski faktor <sup>1</sup> (f)	Vključki daljši od 0,2 mm delež (%)	poprečna dolžina (mm)
146958	Č. 0562	3,9 ± 1	0,117	0,45 ± 0,1	32	0,274
146962	Č. 0361	11,4 ± 1,8	0,030	0,35 ± 0,05	0	—
146986	Č. 0361	18,8 ± 2,2	0,037	0,70 ± 0,08	4	0,150
147003	Č. 0560	14,3 ± 2,1	0,098	1,4 ± 0,2	31	0,184
100089	Č. 0562	18,2 ± 1,7	0,178	3,2 ± 0,3	51	0,308
100560	Č. 1730	10,1 ± 1,2	0,144	1,4 ± 0,17	48	0,250
100626	Č. 0361	27,8 ± 4,1	0,054	1,5 ± 0,22	18	0,136
100681	Č. 0562	23,0 ± 2,7	0,107	2,4 ± 0,27	38	0,199
100686	Č. 0361	41 ± 4,9	0,208	8,5 ± 1,02 <sup>2</sup>	42	0,437
147708	Č. 0561	44,5 ± 3	0,048	2,14 ± 0,15	8	0,143
100191	Č. 1430	1,15 ± 0,6	0,061	0,08 ± 0,03	17	0,179
100582	Č. 1830	7 ± 1,5	0,144	1,0 ± 0,21	51	0,252
147534	Č. 0361	1,8 ± 1,0	0,020	0,04 ± 0,02	—	—
147538	Č. 0362	13,8 ± 2,7	0,085	1,17 ± 0,23	22	0,141

1 — produkt (poprečna gostota) × (poprečna dolžina)

2 — sulfidni in silikatni vključki



Slika 13

Kompleksen vključek eksogenega porekla. Vzorec vzet iz peči pred prebodom.

Fig. 13

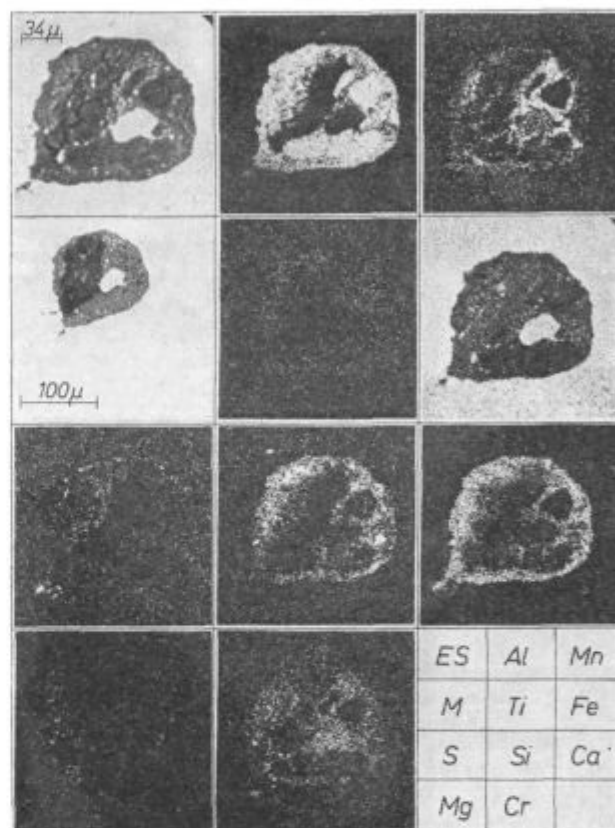
Complex inclusion of exogene origin. The sample taken from the furnace before tapping.

Različna sestava jekla, predvsem različna vsebnost ogljika, torej vpliva na količino sulfidne faze ki se v jeklu pokaže v obliki nekovinskih vključkov. Z namenom, da bi prišli do podatkov, ki bi pomagali ta pojav razložiti, smo z elektronskim mikroanalizatorjem določili vsebnost železa v sulfidnih vključkih v nekaj trakovih iz šarž, ki so se razlikovale po količini ogljika, mangana, aluminija in kisika. Rezultati teh analiz v tabeli 2 kažejo, da je razlika v vsebnosti železa premajhna, da bi lahko povzročila kake pomembne razlike v plastičnosti vključkov in da ni v povezavi z vseb-

Tabela 2 — Vsebnost železa v sulfidnih vključkih (rezultati niso korigirani) ter vsebnost nekaterih drugih elementov v izbranih valjanih vzorcih

Šarža	Kvaliteta	Mn	S	Al v %	O	Fe
						v sulfidnih vključkih
14.6961	Č. 0361	0,37	0,021	0,02	0,0031	7, 7, 7, 6, 8, 8, 5, 5, 4, 4, poprečno 6
10.0626	Č. 0361	0,37	0,028	0,002	0,0146	8, 8, 7, 7, poprečno 7,5
10.0681	Č. 0562	1,10	0,020	0,009	0,0062	7, 6, 8, 5, 6, 8, poprečno 7
10.0089	Č. 0562	1,12	0,018	0,037	0,0053	7, 6, 6, 5, 4, 6, poprečno 6
14.7003	Č. 0562	1,19	0,011	0,001	0,014	9, 8, 7, 7, 7, poprečno 7,5
10.0582	Č. 1832	0,65	0,012	0,025	0,0051	5, 5, 6, 6, 6, 4, poprečno 5
10.0560	Č. 1730	0,72	0,016	0,048	0,0051	11, 12, 11, 11, 10, poprečno 11

nostjo mangana, aluminija, kisika in ogljika v jeklih. Razlika, ki jo kaže diagram na sliki 18 med jeklom z malo in jeklom z več ogljika, izvira torej lahko le iz različne kristalizacije sulfidne faze, ali različne topnosti žvepla v železu pri kristalizaciji jekla. V prvem primeru bi morala biti znatno manjša količina vključkov, ki jih ne pokaže opazovanje pri povečavi 500-krat. Nadaljnje delo bo pokazalo ali je ena ali druga hipoteza pravilna.



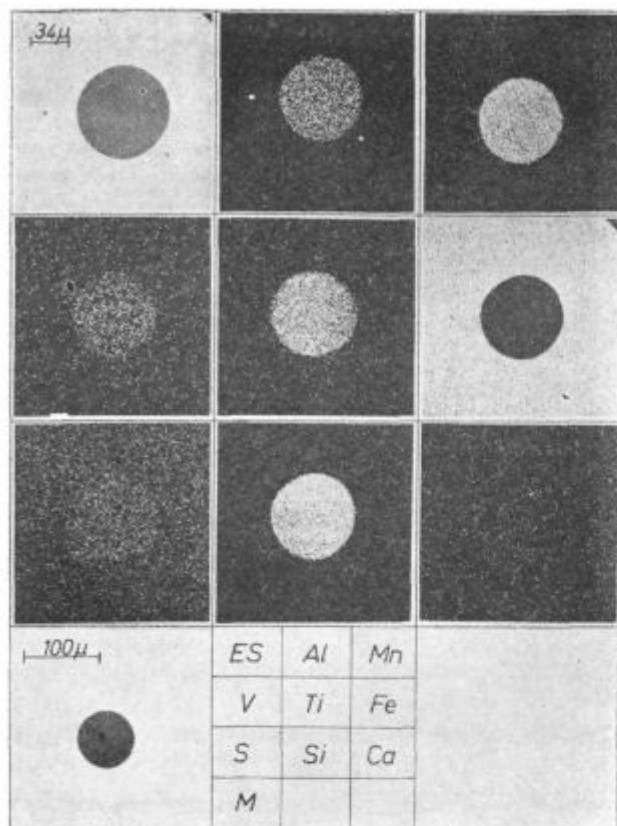
Slika 14

Kompleksen vključek eksogenega porekla. Vzorec vzet iz peči po pihanju kisika.

Fig. 14

Complex inclusion of exogene origin. The sample taken from the furnace after oxygen blowing.

Vzorci jekla, ki smo jih vzeli iz ponovce, so pokazali, da je različna kristalizacija sulfidnih vključkov iz tekočega jekla. Vzorec, ki se zelo

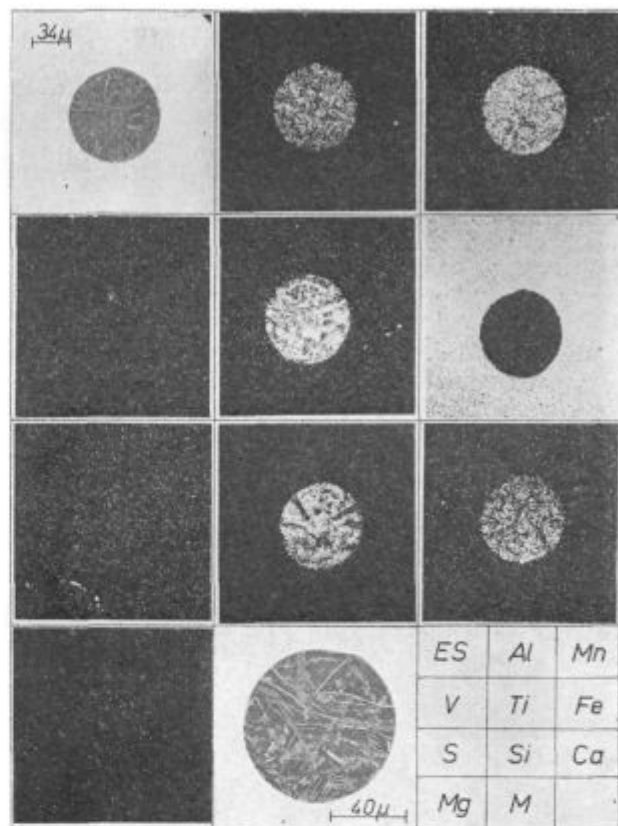


Slika 15

Optično enofazen vključek MnAlTi silikata. Vzorec vzet iz ponovce.

Fig. 15

Optically single phased MnAlTi silicate inclusion. The sample taken from the ladle.



Slika 16

Kompleksen vključek s silikatno osnovo in različnimi zrastki. Vzorec vzet iz ponovce.

Fig. 16

Complex inclusion with silicate matrix and various intergrowths. The sample taken from the ladle.

hitro strdi, pa ne more dati prave slike o vključkih, ki nastanejo med počasnim strjevanjem jekla v brami. Zato iz rezultatov preiskav vzorcev iz ponovce nismo mogli sklepati ničesar zanesljivega, čeprav je pri nekaterih jeklih sulfid kristaliziral praktično le v eutektični obliki, v drugih jeklih pa so bila poleg eutektika še mnogo večja osamljena sulfidna zrna, ali celo samo taka zrna.

Temperatura valjanja močno vpliva na razliko v plastičnosti med austenitom in manganovim sulfidom. Ker so bila jekla valjana po načeloma enakem, ali vsaj zelo podobnem režimu valjanja, mislimo, da bi lahko tudi deformacijske razmere izključili kot možen povzročitelj razlike v količini in velikosti vključkov.

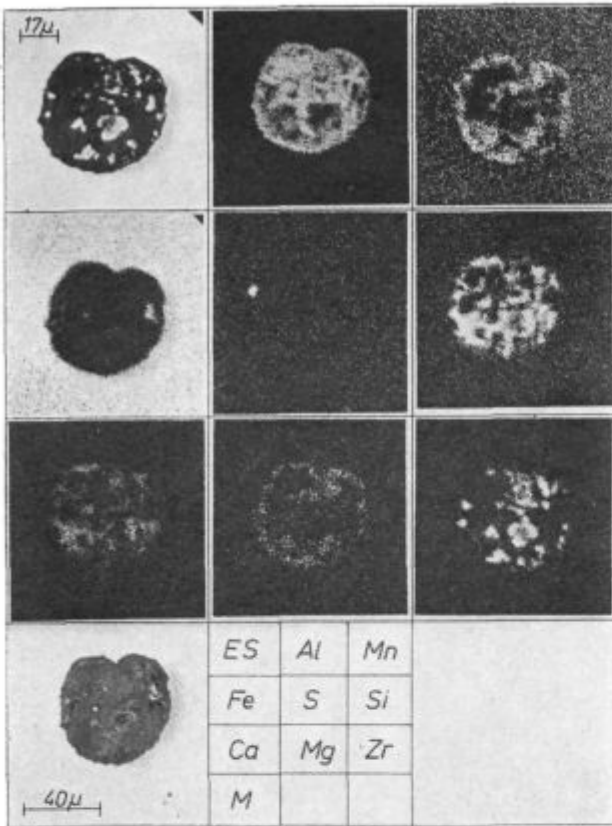
Na trakovih so bile izvršene tudi mehanske preiskave. Preizkušance smo vzeli v smeri valjanja in pravokotno nanjo. Določili smo trdnost, mejo plastičnosti, raztezek in kontrakcijo v smeri debeline. Ta poizkus sicer ni v navadi pri razmeroma tankih trakovih, je pa praktično edini, pri katerem prihaja močnejše do izraza učinek sulfidnih vključkov. Če te vključke gledamo v ravnini valjanja, so kot nekake zaplate s podolžno osjo v smeri valjanja. Take zaplete pospešujejo razdelitev perlita in ferita v trakove in fizikalno loču-

jejo jeklo v različnih nivojih, kar spreminja njegove lastnosti pravokotno na ravnino valjanja.

Preiskana jekla so imela različno sestavo in zato tudi različne trdnostne lastnosti. Da bi bila mogoča objektivnejša primerjava med njimi, rezultate mehanskih poizkusov ne dajemo v absolutni vrednosti, ampak kot razmerje med lastnostmi v prečni smeri in lastnostmi v vzdolžni smeri (K). Na sliki 19 vidimo, da vsa razmerja padajo z naraščanjem količinskega faktorja za sulfidne vključke, na sliki 20 pa vidimo, da je ta padec manj izrazit in se pojavlja pri višji vsebnosti žvepla pri trakovih iz jekla Č. 0361, kot pri trakovih iz drugih jekel.

Raztros posameznih točk v teh diagramih je sicer precejšen, vendar so razlike tolike, da ne more biti dvoma, da so nakazane zakonitosti realne. Torej na trakovih iz vseh jekel pada razmerje med lastnostmi jekla pravokotno na smer valjanja in v smeri valjanja s povečanjem količine plastičnih sulfidnih vključkov, vendar je vpliv teh vključkov manjši v jeklu tipa Č. 0361, kot v drugih preiskanih jeklih.

Morfološko je mogoče vpliv vključkov lepo zaznati tudi na prelomni površini. Ta je na vzdolžnih vzorcih iz značilnih drobnih jamic, na preč-

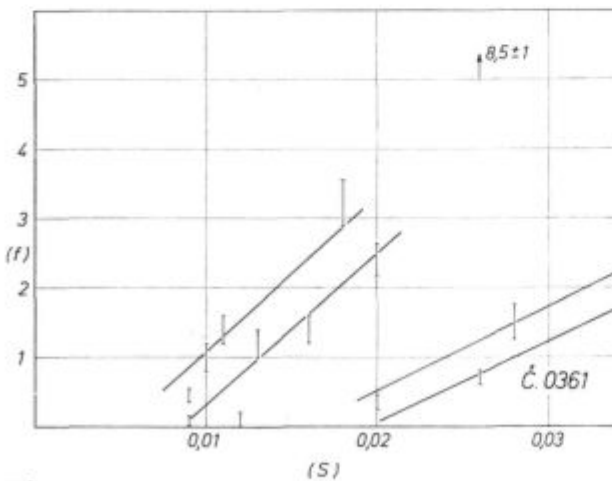


Slika 17

Kompleksen vključek z zrastki Zr oksida. Vzorec vzet pred prebodom.

Fig. 17

Complex inclusion with Zr oxide intergrowths. The sample taken before tapping.

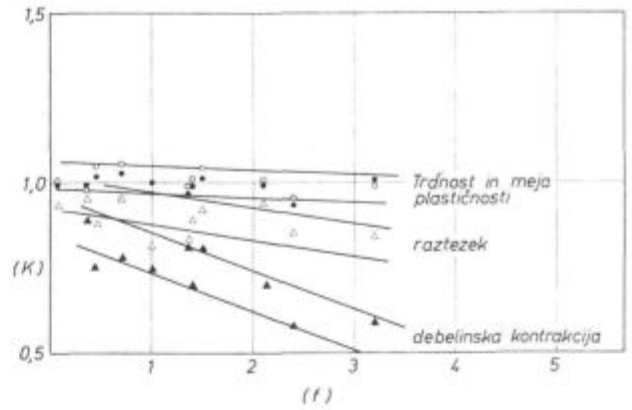


Slika 18

Razmerje med vsebnostjo žvepla in količinskim faktorjem za plastične vključke v trakovih.

Fig. 18

Relationship between the sulphur content and the quantity parameter for plastic inclusions in strips.

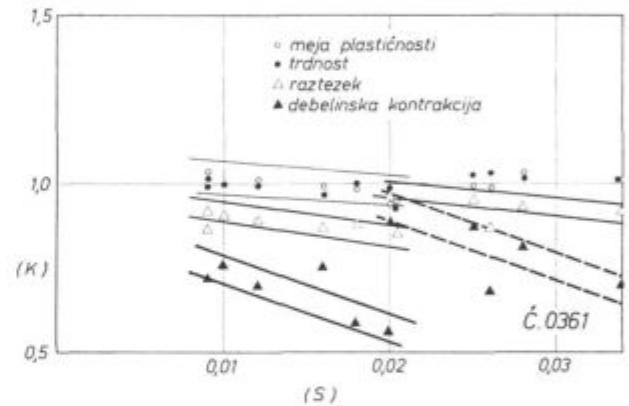


Slika 19

Vpliv količinskega faktorja za plastične vključke na razmerje med lastnostmi jekla v prečni in v vzdolžni smeri.

Fig. 19

Influence of the quantity parameter for plastic inclusions on the ratio between steel properties in transversal and longitudinal direction.

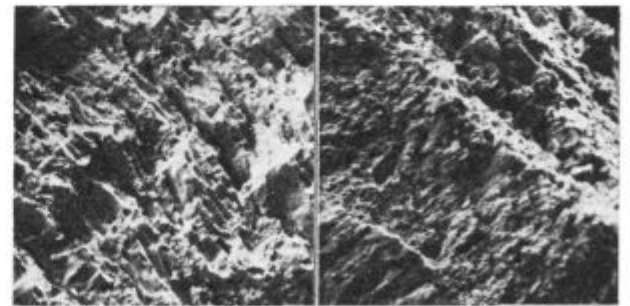


Slika 20

Vpliv količine žvepla na razmerje med lastnostmi jekla v prečni in v vzdolžni smeri.

Fig. 20

Influence of sulphur content on the ratio between steel properties in transversal and longitudinal direction.



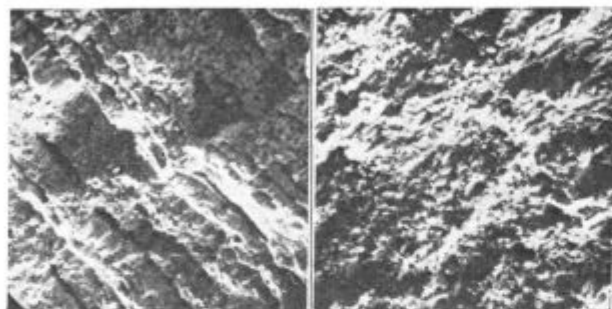
Slika 21

Prelomna površina na prečnem in na vzdolžnem trgalnem preizkušancu. Jeklo vrste Č. 0361.

Fig. 21

Fracture surface of the transversal and longitudinal test piece. Steel Č. 0361.

nem preizkušancu pa vidimo številne ustničaste odprtine na mestih, kjer je ravnina napredujoče razpoke srečala vključke (slika 21). Podoben je prelom jekla tipa Č. 0561 v vzdolžni smeri, zrnatost je celo bolj fina. To potrjuje dobro deformacijsko sposobnost jekla. Na prelomu pravokotno na smer valjanja pa je mogoče opaziti sicer bolj redke, vendar večje in bolj izrazite ustničaste brazde, v katerih so ležali sulfidni nekovinski vključki (slika 22). Podoben je prelom jekla z visokim ogljikom, kjer na vzdolžnem preizkušancu vidimo že posamezne krhke kristale, na prečnem preizkušancu pa podobne brazde kot na jeklu Č. 0562 (slika 23).

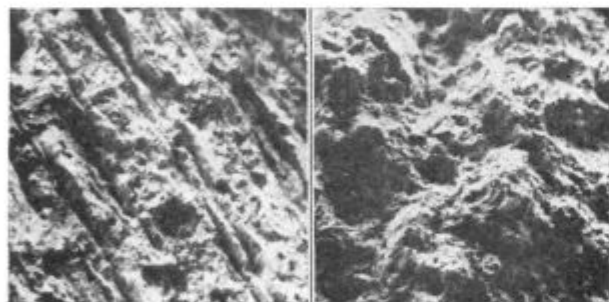


Slika 22

Prelomna površina na prečnem in na vzdolžnem trgalnem preizkušancu. Jeklo vrste Č. 0562.

Fig. 22

Fracture surface of the transversal and longitudinal test piece. Steel Č. 0562.



Slika 23

Prelomna površina na prečnem in na vzdolžnem trgalnem preizkušancu. Jeklo vrste Č. 1730.

Fig. 23

Fracture surface of the transversal and longitudinal test piece. Steel Č. 1730.

### III. SKLEPI

V delu smo opisali nekovinske vključke, katere smo našli v jeklih za hladno valjane trakove, ki so bila izdelana v elektropeči, katerih dezoksidacija je bila izvršena na različne načine. Ugotovili smo, da med procesom izdelave teh jekel v peči in po različnih dodatkih v talino, nastajajo v talini različne vrste vključkov, primerna dezoksidacija

pa vse te vključke odpravi tako, da so v valjanih trakovih le vključki Al oksida, vključki Ca aluminata zraščeni s Ca sulfidom in vključki Mn sulfida. Silikatne vključke najdemo v jeklu le po neuspešni dezoksidaciji, ki se pokaže tudi v tem, da je v jeklu premalo topnega Al.

Vključke Al oksida smo našli v jeklu v obliki poligonalnih zrn in v obliki prozornih kroglic. Za te domnevamo, da nastanejo pri hitri kristalizaciji vzorcev jekla, ki se vzamejo iz taline in v kokilici močno dezoksidirajo z aluminijem. Izražena je hipoteza, da ti vključki nastanejo iz kisika, ki je bil v jeklu raztopljen v trenutku dezoksidacije in so prehodna stopnja pri nastanku zrnatih vključkov Al oksida tudi pri dezoksidaciji jekla v proizvodnem obsegu.

Redukcija vključkov (MnFe)O v talini poteka po dodatku aluminija v dveh stopnjah, v prvi se reducira železo in dobimo vključek, ki ga sestavlja galaksitni skelet, v njem pa so kapljice staljenega železa, v drugi fazi pa se reducira galaksit v Al oksid. Pri tem nastaja ovoj Al oksida, ki zavira reakcijo.

Tudi pri redukciji silikatnih vključkov z aluminijem v talini nastane okoli njih ovoj trdnega Al oksida, ki zavre hitrost reakcije.

Izvor vključkov Ca aluminata je dodatek metalnega Ca v talino zaradi dezoksidacije ali odžveplanja, pa tudi nečistoče v izzidavi peči in zlinidra na jeklu. V nobenem vzorcu nismo našli sledov vključkov čistih kalcijevih spojin, oksida ali sulfida, temveč le vključke Ca aluminata, ki so imeli zrastle ali ovoj Ca sulfida. Jekla, ki so imela take vključke v trakovih, so bila bolj nečista od jekel, ki so imela le vključke Al oksida. To kaže, da se vključki Ca aluminata počasneje izločajo iz taline kot vključki Al oksida. V valjanem jeklu opazimo te vključke kot siva poligonalna zrna nepravilne oblike, ki so običajno večja kot optično zelo podobni vključki Al oksida. Vse to pove, da je potrebno dezoksidacijo s kalcijem izvršiti šele potem, ko je bilo jeklo zadostno dezoksidirano z aluminijem in so lahko splavali iz taline nastali vključki Al oksida, torej v talini ni centrov, na katere bi se lahko pripojili oksid in sulfid kalcija, ki nastaneta po dodatku tega elementa v talino, in s tem zmanjševali tudi hitrost izločanja Al oksida iz jeklene taline.

Sulfidna faza je bila v preiskanih jeklih v obliki kalcijevega in manganovega sulfida. Kalcijev sulfid je imel le redko nekaj mangana in je bil vedno v zrastkih s Ca aluminatom.

Vključki manganovega sulfida so se pri valjanju preoblikovali v tanke lasnate vključke, katerih količina je bila tem večja, čim več je bilo v jeklih žvepla.

Pri isti vsebnosti žvepla je bilo manj vključkov v jeklu tipa Č. 0361 kot v drugih jeklih. Z naraščajočo količino sulfidnih vključkov se zmanjšuje razmerje med lastnostmi trakov pravokotno na



smer valjanja in v smeri valjanja. Ker je pri isti količini žvepla v jeklu tipa C.0361 manj sulfidnih vključkov, je učinek žvepla v njih manjši kot v drugih preiskanih jeklih. Razpoložljivi podatki nam sedaj ne omogočajo, da bi razložili, kaj je vzrok te razlike med jeklom tipa C.0361 in drugimi preiskanimi jekli. Navedeni sta dve možni razlagi, ena je razlika v količini vključkov, ki so premajhni, da bi jih bilo mogoče razločiti pri povečavi 500-krat, druga pa je razlika v količini žvepla, ki ostaja raztopljen v jeklu.

## Reference

1. J. Arh in sodelavci: bo objavljeno
2. F. Vodopivec in B. Ralič: Zelezarski zbornik 6, 1972, št. 4, 215
3. H. Straube in sodelavci: Arch. Eisenhüttenwesen 38, 1967, 509.
4. W. J. M. Salter in F. B. Pickering: Journal of ISI 207, 1969, št. 7, 992
5. F. Vodopivec in B. Ralič: Zelezarski zbornik 8, 1974, št. 2, 111.
6. L. Meyer, H. E. Bühler in F. Heisterkamp: Thyssen-forschung 3, 1971, št. 1 + 2, 8.
7. L. Luyck, B. N. Ferry in A. D. McLean: Journal of Metals, 1974, junij, 35.

## ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen der nichtmetallischen Einschlüsse in Warmbändern aus Elektro Stahl, verschiedenartig desoxydiert, sind durchgeführt worden. Wir haben festgestellt, dass während der Stahlherstellung im Lichtbogenofen und nach verschiedenen Zusätzen zu der Schmelze in der Schmelze verschiedene Arten der Einschlüsse entstehen. Eine geeignete Desoxydation verändert alle diese Einschlüsse in der Weise, dass im Warmband nur Einschlüsse von Al-oxyd, Ca-aluminat verwachsen mit CaSulfid und Einschlüsse von Mn Sulfid, zu finden sind. Silikateinschlüsse können im Stahl nur nach einer nichteffectiven Desoxydation gefunden werden, wenn also im Stahl zu wenig Aluminium vorliegt. Die Aluminiumoxydeinschlüsse haben wir im Stahl in Form der Polygonalen Körner und in Form durchsichtiger Kugelchen gefunden. Wir vermuten, dass diese durchsichtigen Kugelchen bei der schnellen Kristallisation der Probe, wenn diese aus der Schmelze genommen und im Löffel mit Aluminium stark desoxydiert wird, entstehen. Es besteht eine Hypothese nach welcher diese Einschlüsse aus dem im Stahl gelösten Sauerstoff im Zeitpunkt der Desoxydation entstehen und eine andere nach welcher solche Einschlüsse eine Übergangsphase beim Entstehen der körnigen  $Al_2O_3$  Einschlüsse auch bei der Desoxydation des Stahles im Produktionsmaas bilden.

Die Reduktion der (MnFe)O Einschlüsse verläuft in der Schmelze nach dem Zusatz von Aluminium in zwei Stufen, in der ersten wird das Eisen reduziert und der entstandene Einschluss besteht aus einem Galaxit-skelet in dem Tropfchen vom geschmolzenen Eisen eingebettet sind, und in der zweiten Stufe wird Galaxit zu Aluminiumoxyd reduziert. Dabei entsteht eine Aluminiumoxydhülle welche die Reaktion hemmt.

Die Ca Aluminatinschlüsse haben ihren Ursprung in der Zugabe der Kalziumlegierung zu der Schmelze wegen der Desoxydation oder Entschwefelung und auch in der Ofenausmauerung und der Schlacke. In den Proben waren keine reinen Kalziumverbindungen zu finden, wie Kalzium-

oxyd oder Sulfid sondern nur Einschlüsse von Kalziumaluminat mit Verwachsungen oder Umhüllungen von Ca Sulfid. Der Stahl mit diesem Einschlusstyp im Fertigprodukt war unreiner als der mit Einschlüssen aus Aluminiumoxyd. Das ist der Hinweis, dass die Kalziumaluminatinschlüsse langsamer aus der Schmelze ausscheiden wie diejenigen aus Aluminiumoxyd. Diese Einschlüsse sind im gewalzten Stahl als graue polygonale unregelmässige Körner zu finden, welche üblich grösser sind als optisch sehr ähnliche Einschlüsse von Aluminiumoxyd. Das heisst dass Kalzium erst nach einer genügender Aluminiumdesoxydation, wenn die Aluminiumoxydeinschlüsse aus der Schmelze herausgeschieden sind, zuzugeben ist.

Die Sulfidphase war in den untersuchten Stählen in der Form des Kalzium und Mangansulfides. Kalziumsulfid enthielt nur selten etwas Mangan und war immer in den Verwachsungen mit Kalziumaluminat zu finden.

Die Mangansulfideinschlüsse haben sich beim Walzen in haardünne Einschlüsse verformt deren Menge dem Schwefelgehalt des Stahles proportionell war.

Bei demselben Schwefelgehalt enthält der Stahl der Sorte C 0361 weniger Einschlüsse als andere Stahlarten. Mit der wachsenden Menge der sulfidischen Einschlüsse wird das Verhältnis der Band eigenschaften quer auf die Walzrichtung und in der Walzrichtung kleiner. Da bei derselben Schwefelmengen im Stahl der Sorte C 0361 weniger Sulfideinschlüsse vorhanden sind ist der Einfluss des Schwefels in diesen kleiner als in den anderen untersuchten Stählen. Die verfügbaren Daten ermöglichen uns noch nicht die Ursachen dieser Unterschiede zwischen den Stahlarten C 0361 und anderen zu erklären.

Zwei mögliche Erklärungen sind angewendet, die eine bezieht sich auf den Unterschied in der Einschlussgrösse, welche zu klein sind um bei der Vergrösserung 500 x erklärt zu werden, die andere bezieht sich auf den Unterschied des im Stahl gelösten Schwefels.

## SUMMARY

Non-metallic inclusions found in steel for cold rolled strips manufactured in electric furnace where deoxidation was performed in various ways are described in the paper. Various types of inclusions were found to be formed in the process of steel manufacturing in the furnace and after addition of constituents in the melt but suitable deoxidation can eliminate them so that rolled strips can contain only inclusions of Al oxide, intergrown inclusions of Ca aluminate and sulphide, and inclusions of Mn sulphide. Silicate inclusions are found in steel only after unsuccessful deoxidation which is indicated also by a too low concentration of dissolved aluminium in steel. Al oxide inclusions were found in steel in form of polygonal particles or transparent spheroids. They are sup-

posedly formed during the fast crystallization of steel samples taken from the melt and they are strongly deoxidized by aluminium in the small ladle. A hypothesis exists that they are formed from oxygen dissolved in steel in the moment of deoxidation, and a hypothesis that they are only a transition step in forming grained Al oxide inclusions also in the industrial scale of steel deoxidation.

Reduction of (Mn, Fe) O inclusions in melts has two steps after adding aluminium. In the first step iron is reduced and the inclusion consists of galaxite skeleton with grains of molten iron in it, and in the second step galaxite is reduced into Al oxide. The formed Al oxide envelope hinders the reaction.

Also in reduction of silicate inclusions by aluminium in the melt the formed envelope of solid Al oxide reduces the reaction rate.

Ca aluminate inclusions are originated from addition of metallic Ca in the melt necessary for deoxidation or desulphurisation, and also from impurities in the furnace lining or from the slag. In no case inclusions of pure calcium compounds, oxide or sulphide were found but only in form of Ca aluminate intergrown or enveloped by Ca sulphide. Steel with such inclusions in strips was less pure than steel with inclusions of Al oxide alone. It means that Ca aluminate inclusions more slowly precipitate from the melt than Al oxide inclusions. In rolled steel these inclusions appear as grey irregular polygonal grains which are usually bigger than optically similar Al oxide inclusions. Therefore, deoxidation by calcium must be performed after sufficient deoxidation by aluminium so that the formed Al oxide inclusions could precipitated to the surface of the melt, and no nuclei existed in the melt to agglomerate with Ca oxide and sulphide which are formed after adding calcium in the melt. This agglomeration also reduces the precipitation rate of Al oxide inclusions from the steel melt.

The sulphide phase was in the investigated steel in form of calcium and manganese sulphide. Calcium sulphide contained very seldom small amounts of manganese and it was always intergrown with Ca aluminate. Mn sulphide inclusions were deformed by rolling into this hairy inclusions, and their amount increases with the increased sulphur content in steel.

At the same sulphur content amount of inclusions in C.0361 steel was smaller than in the other steel. The increased amount of sulphide inclusions reduces the ratio between properties in transversal and longitudinal direction of rolling. Since C.0361 steel contains a smaller amount of sulphide inclusions at the same sulphur content, their influence is smaller than in the other investigated steel. The present available data are not sufficient to explain the reason of this difference between C.0361 steel and the other investigated steel, but two possible explanations are cited. One of them can be that many inclusions are so small that they cannot be distinguished at the magnification 500 times. The other possibility is that there exists difference in the amount of dissolved sulphur in various steel.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описаны некоторые неметаллические включения в сталях для холодной прокатки полос. Стали были изготовлены в электропечи с различными способами раскисления. Установили, что во время процесса производства этих сталей в печи и после добавления различных добавок в расплав образуются в расплаве разные виды включений, соответственное раскисление все эти включения устранит так что в прокатанных полосах останутся только включения окиси алюминия, Са-алюмината в сращении с Са-сульфидом и включения Mn-сульфида. Силкатные включения обнаружены в плохо раскисленных сталях, это подтверждает также недостаточное количество растворимого в стали алюминия. Включения алюминия в стали обнаружены в форме полигональных и в форме прозрачных шариков. Предполагается что они образуются вследствие быстрой кристаллизации образцов стали, взятых из расплава и сильно раскисленных в стакане с алюминием. Выражена гипотеза, что эти включения образовались из кислорода растворённого в стали во время раскисления, также и гипотеза, что эти включения представляют собой переходную фазу образования зернистых включений окиси алюминия также при раскислении стали в производственном объеме.

Редукция включений (MnFe)O в расплаве после добавки алюминия происходит в двух фазах; в первой фазе происходит редукция железа и получается включение которое представляет собой галакситный скелет с зёрнами расплавленного железа; во второй фазе происходит редукция галаксита в окись алюминия, образуется мономолекулярный слой окиси алюминия который замедлит быстроту реакции.

Происхождение включений Са-алюмината представляет собой последствие добавки металлического Са в расплав для раскисления или десульфурации, также и вследствие загрязнений при облицовании печи и из шлака на расплавленном металле. Ни в одном случае не обнаружены в образцах следы включений чистых соединений кальция, окиси или сульфида, лишь только включения Са-алюмината с сращениями или с мономолекулярным слоем Са-сульфида.

Стали с такими включениями в полосах были более загрязнены в сравнении с сталями которые содержали включения только окиси алюминия. Это указывает, что включения Са-алюмината выделяется из расплава медленнее чем включения окиси алюминия. В прокате эти включения обнаруживаются в форме серых неправильных полигональных зёрен, которые обыкновенно по величине немного больше оптически очень похожим включениям окиси алюминия. Всё это указывает, что раскисление стали с кальцием надо выполнять после того, как хорошо выполнено раскисление с алюминием и включения окиси алюминия выпалили из расплава; это значит, что в расплаве нет центров на которые бы могли подкислиться окиси и сульфиды кальция, которые образуются после добавки этого элемента в расплав и, таким образом уменьшали быстроту выделения окиси алюминия из расплавленной стали.

Сульфидная фаза находилась в исследованных сталях в форме сернистого кальция и сернистого марганца. Сернистый кальций редко содержал немного марганца и всегда был сращён с Са. Включения сернистого марганца во время прокатывания приобретали форму тонких ниток, количество которых увеличивалось с повышением в стали серы.

При одном и том же количестве серы обнаружено, что содержание включений меньше в стали марки С.0361 при сравнении с другими марками. С увеличением содержания сульфидных включений уменьшается отношение между свойствами полос под прямым углом и в направлении прокатывания. Так как при одном и том же содержании серы в стали марки С.0361 сульфидных включений меньше, то влияние в них серы слабее чем в остальных исследованных сталях.

Данные которые нам теперь в распоряжении не позволяют выяснить причину разницы между сталью марки С.0361 и остальными исследованными сортами стали; можно лишь подать два возможные объяснения: первое в том, что включения так незначительны по величине, что нет возможности их просмотреть при 500-ом увеличении, второе, в разницы содержания серы которая остается в стали в расплавленном состоянии.

# **RHEIN - DONAU - STAHL**

**WIEN - MÜNCHEN - CHUR - MILANO**

OSKRBUJEMO EVROPSKE JEKLARNE IN  
LIVARNE S STARIM ŽELEZOM.

SMO GENERALNI ZASTOPNIK:

**RHEINSTAHL A.G.**

KASSEL / B.R.D.

V HENSCELOVIH  
NAPRAVAH ZA PREDELAVO  
STAREGA ŽELEZA KOT:  
-ŠKARJE ZA STARO  
ŽELEZO  
-PAKETIRNE STISKALNICE  
-NAPRAVE ZA SORTIRANJE  
DELOV IZRABLJENIH  
AVTOMOBILOV.

**A.VOIGT**  
BIRKENFELD -  
NAHE / B.R.D.

V ODŽIGALNIH NAPRAVAH  
ZA KABLE

VPRAŠANJA IN INFORMACIJE:

**RHEIN - DONAU - STAHL**  
**HANDELSGES. M.B.H.**

**A 1030 WIEN, SALESIANERGASSE 5**

TELEFON: 735506 SERIE  
TELEX: 11908

# Razvoj ležajnega bronu CuSn8P za obdelavo na avtomatih

UDK: 669.35.6  
ASM/SLA: SG A-c

Bojan Breskvar

V tem delu smo z analizo ustreznega vzorca, kakor tudi s pomočjo izkušenj na podobnih zlitinah izdelali, predelali in obdelali ležajni kositrov bron, ki je sposoben obdelovanja na avtomatih. Ugotovili smo glavne metalurške pogoje, ki omogočajo industrijsko izdelavo nove ležajne zlitine, dotaknili pa smo se tudi enega od odločilnih pogojev obdelave — obdelovalnosti pri srednjih in velikih hitrostih struženja.

## I. UVOD

Gnetne kositrove brone — malolegirane zlitine bakra s kositrom in fosforom — uporabljamo pretežno zaradi odličnih drsnih lastnosti za drsne ležaje. Pri končni obdelavi ležajnega bronu si želimo čim boljšo obdelovalnost, kajti le na osnovi te lahko dosežemo natančne in ozke dimenzijske tolerance ležajev.

Z izboljšanjem obdelovalnosti<sup>1</sup>, to je oblike ostružkov in hrapavosti površine, prilagodimo ležajni bron zahtevam obdelave na avtomatskih obdelovalnih strojih.

Naveden ležajni kositrov bron CuSn8P je slabo obdelovalen in neprimeren za obdelavo na avtomatih. Obdelovalnost bronu poboljšamo z dodatnimi legirnimi elementi, kot so žveplo, selen in telur, ostanejo pa odprta vprašanja vpliva dodatnih legirnih elementov na mehanske in fizikalne lastnosti, tehnologijo izdelave in predelave, kakor tudi drsnih lastnosti.

## II. PREISKAVE IN POSKUSNA IZDELAVA LEŽAJNEGA BRONA CuSn8PS

### 1. Metalografske preiskave, elektronska mikroanaliza in kemična sestava

Od Mariborske livarne (MLM) smo prejeli tri vzorce kositrovega ležajnega bronu, in sicer palice s premeroma 15 in 30 mm ter cev s premerom 19 in 30 mm. Vzorce smo metalografsko pregledali, dodatni legirni element žveplo smo kvalitativno določili na elektronskem mikroanalizatorju, kvantitativno pa s kemično analizo.

Mikroposnetki slik 1 do 3 kažejo vzdolžna preseka in prečni presek posameznih vzorcev. Kositer

je v zmesnih kristalih bakra skoraj popolnoma raztopljen. Na mikroskopskih posnetkih so razvidne poleg osnove še tri faze (dejansko nastopajo štiri faze), ki smo jih analizirali s pomočjo elektronskega mikroanalizatorja.

Črna faza na sliki 1 je  $Cu_3P$  (lahko nastopa samostojno), temnomodra faza sestoji iz kositra, fosforja in bakra ter je največkrat zraščena s  $Cu_3P$ . Količinsko največ je svetlo modre faze, ki je bakrov sulfid in nastopa kot CuS ali  $Cu_2S$ . Sestavi

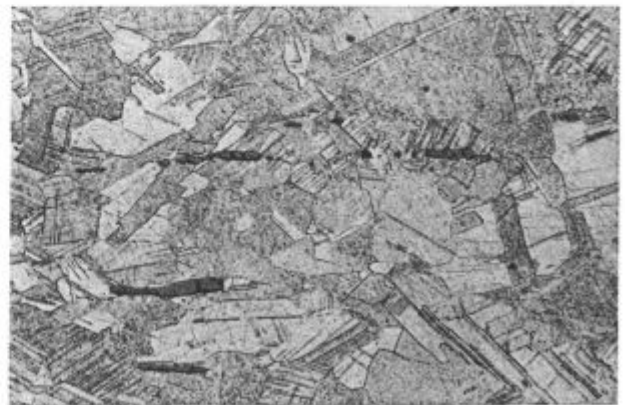


Slika 1

Struktura palice premera 15 mm, vzdolžno, 200 x

Fig. 1

Structure of the rod 15 mm in diameter, longitudinally, 200 times.



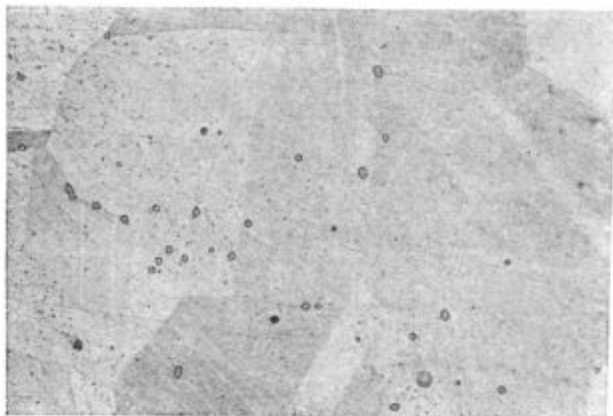
Slika 2

Struktura palice premera 30 mm, vzdolžno, 500 x

Fig. 2

Structure of the rod 30 mm in diameter, longitudinally, 500 times.

Bojan Breskvar, dipl. ing. metalurgije, samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

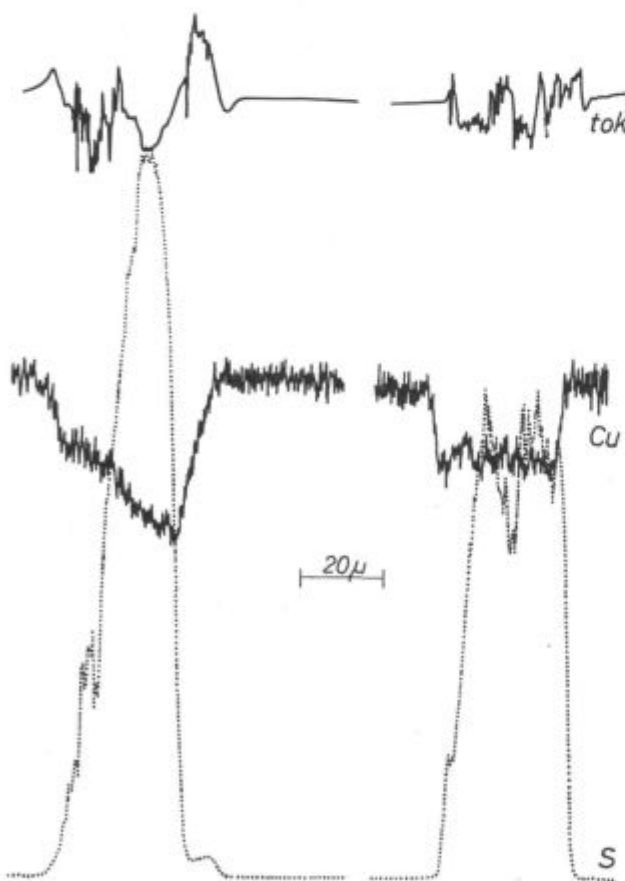


Slika 3  
Struktura cevi 19 x 30 mm, prečno 500 x  
Fig. 3

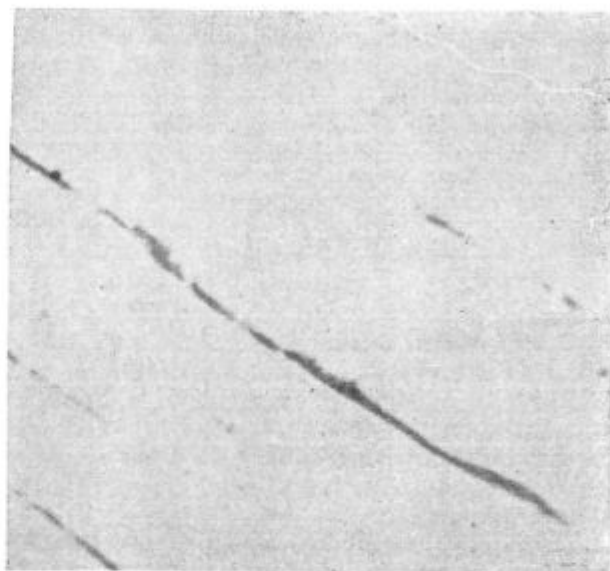
Structure of the pipe 19 x 30 mm, transversally, 500 times.

bakrovega sulfida smo ugotovili in izračunali na osnovi črtne analize dveh vključkov, ki jo prikazujemo na sliki 4.

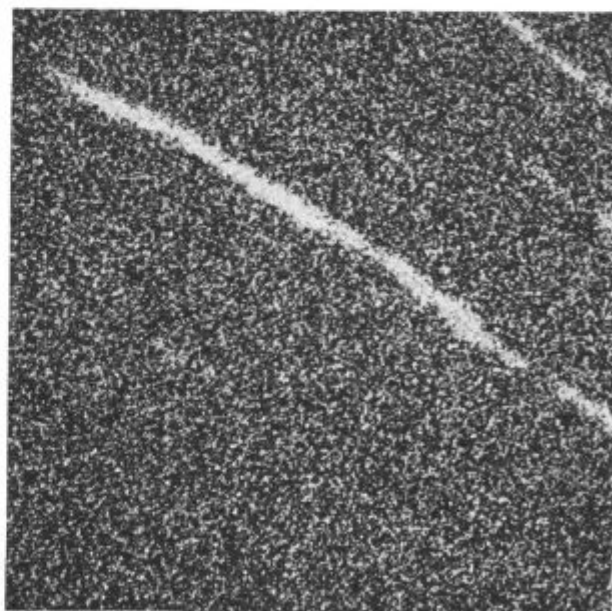
Posamezne faze smo kvalitativno in delno tudi kvantitativno (CuS, Cu<sub>2</sub>S in Cu<sub>3</sub>P) določili z elektronskim mikroanalizatorjem. Kvalitativni prikaz legiranega žvepla v preiskovanem bronu ilu-



Slika 4  
Vključka Cu<sub>2</sub>S v kositrovem bronu  
Fig. 4  
Inclusions of Cu<sub>2</sub>S in bronze.



Slika 5  
Elektronski posnetek sestave, 840 x  
Fig. 5  
Electron picture of composition, 840 times.



Slika 6  
Rentgenski posnetek žvepla, 840 x  
Fig. 6  
X ray picture of sulphur, 840 times.

Ker smo predpostavljali, da sta lahko tehnologiji izdelave palice in cevi iz kositrovega bronu različni, smo kemično analizirali palico premera 15 mm in cev. Žveplo smo analizirali po sežigni metodi in titraciji z lugom. Ustaljena metoda določevanje fosfora z obarjanjem ne poda zanesljivih rezultatov ob prisotnosti kositra. Zato smo morali prilagoditi metodo s fotometričnim določevanjem fosfora. Povprečno vrednost rezultatov kemičnih analiz navajamo v tabeli 1.

Tabela 1: Kemični analizi preiskovanega ležajnega bronu za obdelavo na avtomatih

	Kositer	Žveplo	Fosfor	Selen	Telur
		v %			
Palica premera 15 mm	8,02	0,045	0,084	<0,08	0,01
Cev premerov 19 x 30 mm	8,22	0,058	0,300	<0,08	0,01

Legirni elementi v preiskovanih vzorcih so kositer, žveplo in fosfor. Predhodne analize selena na elektronskem mikroanalizatorju so pokazale, da je selen enakomerno drobno porazdeljen po osnovi. Vrednost manj kot 0,08 % selena v zlitini (tabela 1), je posledica že osvojene metode analize, ki pri manjših vsebnostih dopušča večje napake. Fosfora je v palici občutno manj kot v cevi, kar je lahko delno posledica opaženih izcej (slika 1), vendar pa so vsebnosti okoli 0,3 % fosfora v bronu značilne za zahtevne kontinuirno ulite izdelke.

## 2. Laboratorijske poskusne zlitine in vpliv žvepla na hladno predelavo in obdelovalnost zlitin CuSn8PS

Izbrane zlitine 8-kilogramske zatehte smo izdelali v indukcijski peči na Metalurškem inštitutu (MI) iz tehnično čistih sestavin z naslednjo tehnično dela:

- oksidacijsko taljenje elektrolitskega bakra z oksidacijsko žlindro,
- dezoksidacija bakra s predzlitino CuP10 odstranitvi oksidacijske žlindre,
- zaščita taline z ogljem in dolegiranje fosforja in kositra,
- dolegiranje žvepla v prahu s pomočjo zvona in
- ulivanje palic v forme iz peska.

Pri izdelavi prve zlitine smo ugotovljeni izkoristek legiranja žvepla 50 % upoštevali pri legiranju žvepla pri preostalih zlitinah. Različni odgori posameznih elementov (tabela 2) so posledica delikatne izdelave majhnih zateht talin in dvakratnega preliivanja talin (iz peči v lonec in nato v formo).

Vpliv množine žvepla na hladno preoblikovalnost in obdelovalnost izdelanih malolegiranih kositrovih bronov smo predvsem ugotovljali na bronu z 0,126 % in 0,096 % žvepla.

Ulitim površinsko ostruženim palicam smo v MLM na vlečnem stroju ugotovili največjo stop-

Tabela 2: Kemične sestave poskusnih zlitin

	Element	Izbrana sestava (%)	Kemična analiza (%)	Odgor (%)
Bron 1	Sn	8,0	7,60	5
	P	0,05	0,047	6
	S	0,3	0,15	50
Bron 2	Sn	8,0	7,20	10
	P	0,1	0,03	70
	S	0,12 + 50%	0,126	30
Bron 3	Sn	8,0	6,30	21
	P	0,1	0,084	16
	S	0,1 + 50%	0,096	36

njo hladne deformacije 43 %, to je do pojava prvih površinskih napak. Posamezne redukcije obeh preizkušanih kvalitete so bile enake (po 0,5 mm). Iz opisanega smo zaključili, da legirane množine žvepla zlitinam tipa CuSn8P ne poslabšajo sposobnosti za hladno predelavo, saj se v praksi uporabljajo maksimalno 20 % stopnje hladne deformacije, večinoma pa samo nekaj odstotkov, potrebnih za utrditev in kalibracijo profilov.

Izhodišče za relativno subjektivno ocenjeno obdelovalnost, to je kvaliteto površine in obliko ostružkov, sta bili palici obeh kvalitete z enako 19 % stopnjo hladne deformacije.

Ugotovili smo, da se s povečano vsebnostjo žvepla v zlitini CuSn8P pri enakih pogojih obdelave (geometriji noža, hitrosti obdelave, globini reza in pomiku) poboljša kvaliteta površine, kakor tudi oblika ostružkov.

## III. IZDELAVA IN LASTNOSTI KONTINUIRNO ULITEGA LEŽAJNEGA BRONA CuSn8PS

### 1. Izdelava in predelava

V MLM smo izdelali v naftni nagibni peči 100 kilogramov taline po ustaljeni tehnologiji taljenja bakra, za vložek pa smo vzeli čiste komponente. Žveplo smo legirali tako, da smo v lonec za preliivanje taline iz talilne peči v livno peč dali na dno žveplov prah, zavrt v bakreno pločevino in ga prelili s talino. Pri tako enostavnem legiranju smo predvideli 100 % izgube žvepla. Rezultate kemičnih analiz prikazujemo v tabeli 3.

Tabela 3: Kemična analiza kontinuirno ulitega bronu CuSn8PS

	Izbrana sestava %	Kemična analiza ulite palice		
		začetek %	konec %	povprečje %
Sn	8,0	7,88	7,72	7,80
P	0,3	0,07	0,06	0,065
S	0,1 + 100%	0,16	0,17	0,165

Bron smo na horizontalni kontinuirni livni napravi<sup>2</sup> (MLM) ulili s hitrostjo 25 cm/min v palico premera 30 mm in pri tem ugotovili, da razen začetnih težav legirana količina žvepla ne vpliva na ustaljeno tehnologijo kontinuirnega litja v primerjavi z litjem navadnih bronov na isti napravi. Prav tako je pri izbranem najenostavnejšem in najcenejšem načinu legiranja žvepla odgor le 35 % (tabela 3), izguba kositra normalna (2,5 %), večji odgor fosforja pa je posledica nepopolne dezoksidacije pred legiranjem in oksidacije pri dvakratnem prelivanju taline.

Kontinuirno ulite ter optimalno homogenizacijsko žarjene palice<sup>3</sup> (3 ure na temperaturi 650°C), smo na vlečni klopi površinsko luščili iz premerov 30 mm na 29 mm (odprava površinskih nehomogenosti kontinuirnega litja) in s tremi prevleki 26 % hladno deformirali. Mehanske lastnosti izhodnega materiala za nadaljnje preiskave so bile: natezna trdnost 55,4 kp/mm<sup>2</sup>, raztezek 6 % in trdota 192 HV 10/10.

Z metalografskimi preiskavami vzorcev začetka, sredine in konca ulite ter vlečene palice smo potrdili, da izbrana temperatura in čas homogenizacije tudi ustrezata bronu z dodatkom žvepla in da je bakrov sulfid enakomerno drobno porazdeljen po preseku in po dolžini ulite palice.

## 2. Relativna primerjalna obdelovalnost

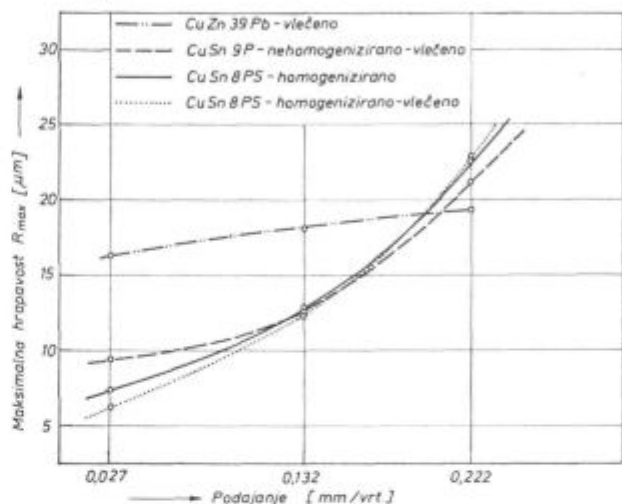
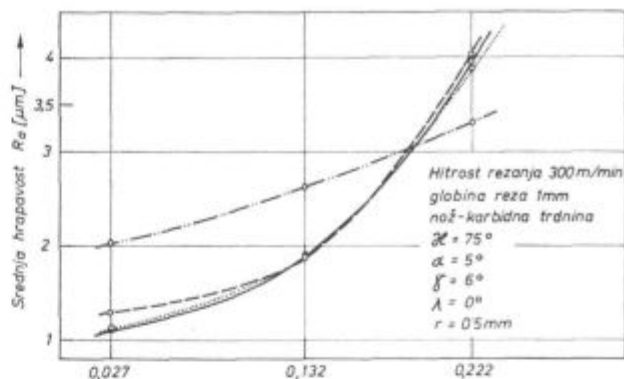
Za približno oceno, prav posebno pa še za primerjalno obdelovalnost, zadostuje<sup>1,4</sup> vrednotenje oblike ostružkov in merjenje hrapavosti površin, s tem da pri konstantnih pogojih dela (hitrost rezanja, globina reza, geometrija noža) zasledujemo spremembe pri različnih podajanjih in zlitinah.

Ceprav novejša raziskave<sup>5</sup> vrednotenja površin skušajo upoštevati s funkcijami srednje vrednosti in s korelacijsko funkcijo tudi vrednotenje površin v smeri abscisne osi (periodične ali slučajnostne funkcije), ki je popolnejše in pravilnejše, smo se zaradi enostavnosti in primerjalnosti zadovoljili le z oceno kvalitete površine na osnovi meritev aritmetične srednje hrapavosti —  $R_a$  in največje hrapavosti površine —  $R_{max}$ . Dodatno pa je še izbira pravilnega območja za preizkušanje odločilnega pomena pri zanesljivosti rezultatov<sup>6</sup>.

### 2.1 Obdelovalnost pri hitrosti rezanja 300 m/min.

Za vrednotenje rezalnih sposobnosti smo izbrali dve stanji zlitine CuSn8PS — homogenizirano in vlečeno, za primerjavo smo vzeli standardno med CuZn39Pb in kasneje ugotovljeno nehomogenizirano vlečeno zlitino CuSn9P (v MLM ni bilo na zalogi 8 % bronu).

Na osnovi literaturnih virov<sup>7,8</sup> smo izbrali hitrost rezanja in geometrijo noža, ki je kompromis med razpoložljivimi in priporočenimi vrednostmi, izbranimi tako, da nekako ustrezajo obdelavi medi in bronov (sliki 7 in 8).



Sliki 7 in 8

Hrapavosti površin posameznih zlitin in stanj pri različnih podajanjih ter hitrosti rezanja 300 m/min.

Figs. 7 and 8

Surface roughness of single alloys and states at various feed rates and the cutting speed 300 m/min.

Poizkuse smo izvršili na Inštitutu za strojništvo v Ljubljani na posebni, za podobne preiskave prirejani strojnici (brezstopenjsko kontinuirno spreminjanje hitrosti od 0 do 8500 vrt/min, šest različnih podajanj v območju od 0,028 do 0,36 mm na vrt.). Hrapavost površin smo ugotavljali na merilniku Talysurf 4.

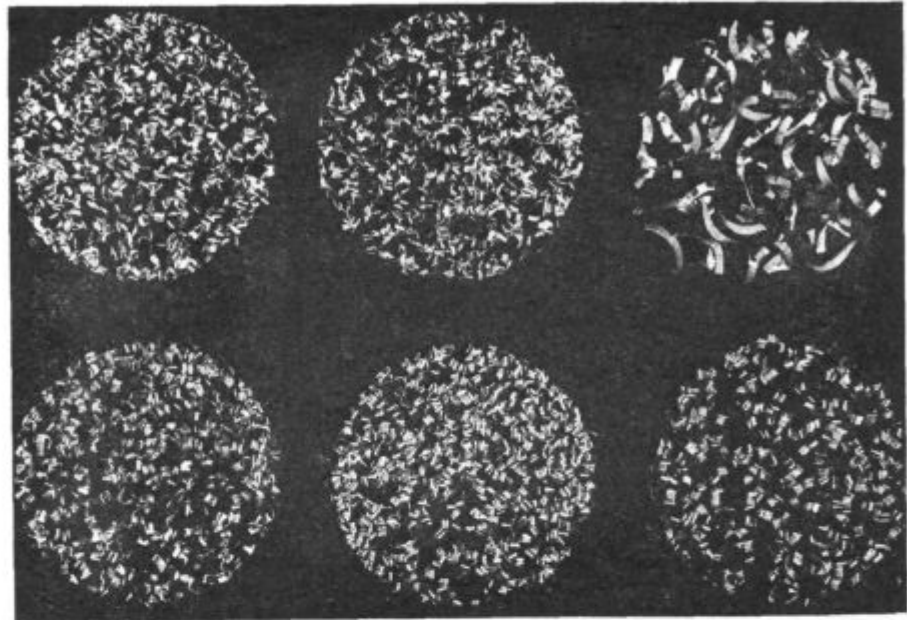
Rezultate posameznih meritev hrapavosti površin preiskovanih zlitin prikazujemo v slikah 7 in 8, obliko ostružkov pa na slikah 9 in 10. Pri izbranih pogojih odrezovanja lahko na osnovi rezultatov (slike 7 do 10) ugotovimo:

a) Za preiskovane zlitine velja, da z manjšimi podajaji poboljšamo kvaliteto površine in poslabšamo kvaliteto ostružkov (velikost in obliko), razen pri homogeniziranem bronu CuSn8PS.

b) Pri podajanju 0,132 mm/vrt je kvaliteta površine in ostružkov za vse preiskovane zlitine enaka. Pri manjših in večjih podajanjih je obdelovalnost najboljša pri homogeniziranem bronu CuSn8PS.

c) Površina primerjalne medi je pri majhnih in srednjih podajanjih občutno slabša od bronov,

Podajanje (mm/vrt.) - vertikalno

0,222  
 $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ): 3,300,132  
2,630,027  
2,03CuZn39Pb  
vlečenoCuSn9P  
nehomogeniz.,  
vlečeno $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ): 4,03

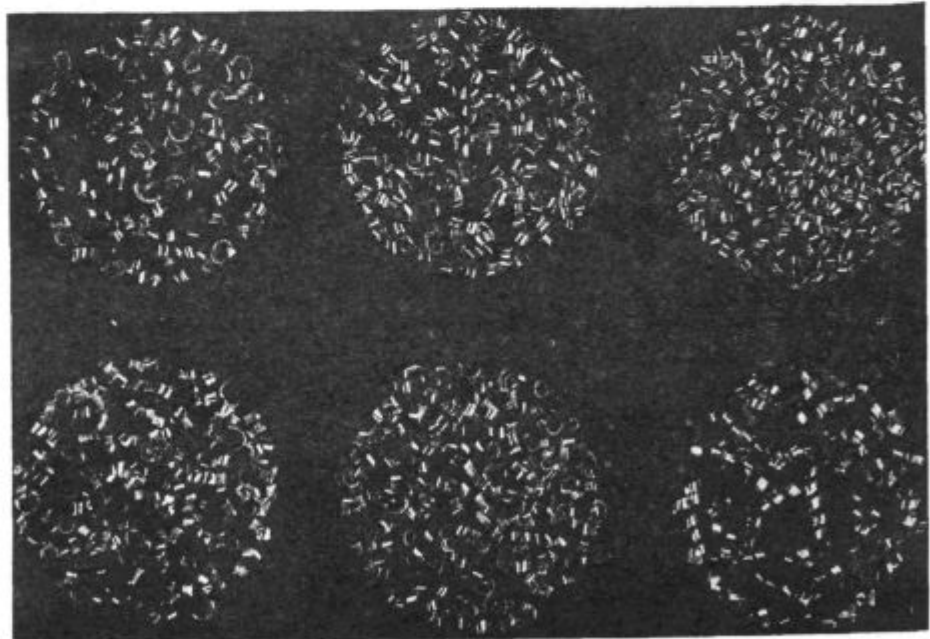
1,86

1,29

 $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ): 3,96

1,89

1,12

CuSn8PS  
hemogeniz.CuSn8PS  
homogeniz.,  
vlečeno $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ): 3,88

1,89

1,13

Sliki 9 in 10

Oblika in velikost ostružkov pri konstantnih pogojih rezanja (sliki 7 in 8) različnih zlitin pri treh podajanjih. Merilo 1:1

Figs. 9 and 10

Shape and size of chips at constant cutting conditions (Figs 7 and 8) for various alloys at three different feed rates. Scale 1:1.



pri podajanju 0,222 mm/vrt pa je boljša. Iz tega sledi, da izbrana geometrija noža bolj ustreza **grobi obdelavi** medu (najmanjša glavna rezalna sila).

d) Primerjava obeh stanj bronu CuSn8PS ne podaja izrazitih razlik v kvaliteti površine in ostružkov, le v primeru vlečenega bronu so ostružki slabši pri najmanjšem podajanju, vendar za prakso še vedno sprejemljivi.

4. Najboljšo obdelovalnost ima pri vseh podajanjih nehomogeniziran bron CuSn9P. Žal pa je tako stanje ležajnega materiala za praktično uporabo neprimerno.

Končno lahko trdimo, da z legiranjem žvepla navedenim ležajnim bronom poboljšamo kvaliteto ostružkov.

## 2.2 Obdelovalnost pri hitrosti rezanja 110 m/min.

Neizrazita odstopanja obdelovalnosti posameznih zlitin, kakor tudi neustrezna primerjava z nehomogeniziranim bronom CuSn9P, so nas napotila k razširitvam preiskav obdelovalnosti na srednje hitrosti. Preizkuse smo izvršili na novi navadni stružnici na MI, zaradi česar smo morali izbrati druga podajanja. Izbrali smo tudi primerno geometrijo noža<sup>1</sup>, prilagojeno finemu in grobem struženju (sliki 11 in 12). Hrapavost površin smo merili na isti napravi kot pri prvih preizkusih; rezultati meritev so prikazani na slikah 11 in 12, obliko in velikost ostružkov pa prikazuje slika 13.

Interakcije med posameznimi parametri obdelave, stanji zlitine in kvalitete ostružkov so razvidne iz diagramov na slikah 11 in 12 ter slike 13, glavne značilnosti pa so:

a) Dodatek žvepla k malolegiranim bronom za obdelavo na avtomatih ne poboljša kvalitete površine, temveč samo kvaliteto ostružkov (kratki, lomljivi, neoluminozni) pri vseh podajanjih.

b) Obdelovalnost medu je pri srednjih in grobih podajanjih najboljša.

c) Najslabša je kvaliteta površine pri homogeniziranem bronu CuSn8PS pri srednjih in grobih podajanjih.

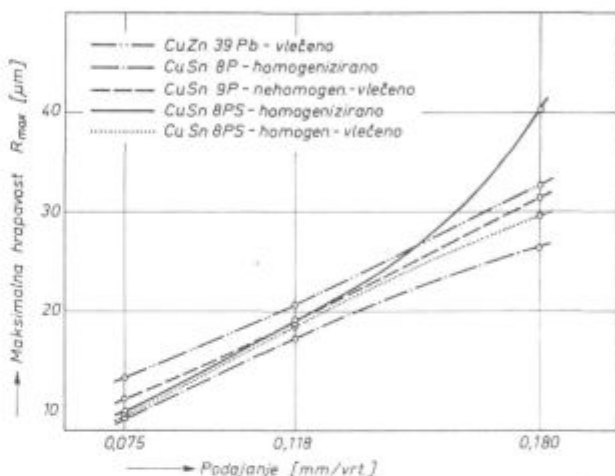
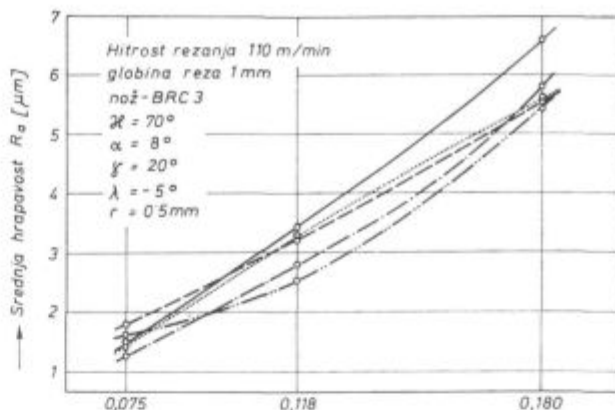
d) S hladno deformacijo zlitini CuSn8PS poboljšamo obdelovalnost.

e) Najslabšo kvaliteto ostružkov ima navadni bron CuSn8P pri vseh podajanjih, vendar glede na ostale brone relativno kvalitetnejšo površino.

## IV. SKLEPI

1. Gnetnim ležajnim kositrovim bronom že z malimi dodatki žvepla poboljšamo obdelovalnost.

2. Mali dodatki žvepla k navadnim bronom (do 0,16 %) ne vplivajo na ustaljeno tehnologijo izdelave in hladne predelave in jih lahko izdelujemo po obstoječih postopkih in v napravah za kontinuirno litje.



Sliki 11 in 12

Hrapavosti površin posameznih zlitin in stanj pri različnih podajanjih in hitrosti rezanja 110 m/min.

Figs. 11 and 12

Surface roughness of single alloys and states at various feed rates and the cutting speed 110 m/min.

3. Pri legiranju žvepla v prahu v industrijskih agregatih je potrebno upoštevati 30–40 % odgor žvepla. Žveplo v kontinuirno ulitih palicah ni izejalo in je bilo enakomerno drobno porazdeljeno po preseku in dolžini.

4. Dodatek žvepla do 0,16 % bistveno ne vpliva na mehanske lastnosti.

5. Z naraščajočo množino legiranega žvepla poboljšamo obdelovalnost.

6. Izdelani ležajni bron CuSn8PS se dobro obdeluje pri srednjih (110 m/min) in velikih (300 m/min) hitrostih obdelave in ustreza zahtevam za obdelavo na avtomatih.

7. Dodatek žvepla h gnetenim kositrovim bronom ne poboljša kvalitete površine pri struženju, temveč samo kvaliteto ostružkov. Pri enakih pogojih odrezovanja je kvaliteta površine boljša pri navadnem bronu brez dodatka žvepla, medtem ko je kvaliteta ostružkov najslabša.

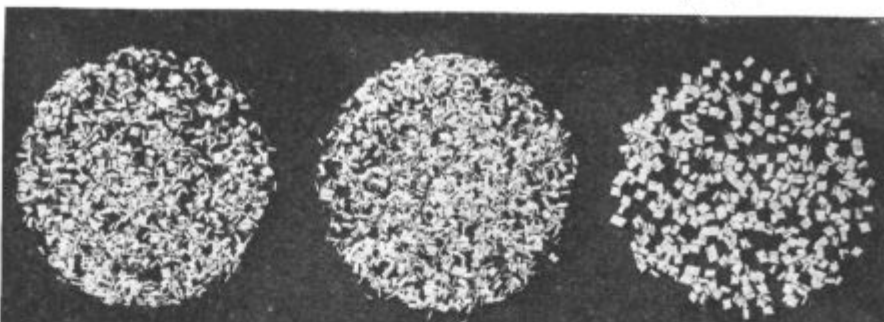
8. S hladno deformacijo bronu z dodatkom žvepla poboljšamo obdelovalnost.

0,18

0,118

0,075

CuZn39Pb  
vlečeno  
R<sub>a</sub> (μm):  
5,50; 2,65; 1,60



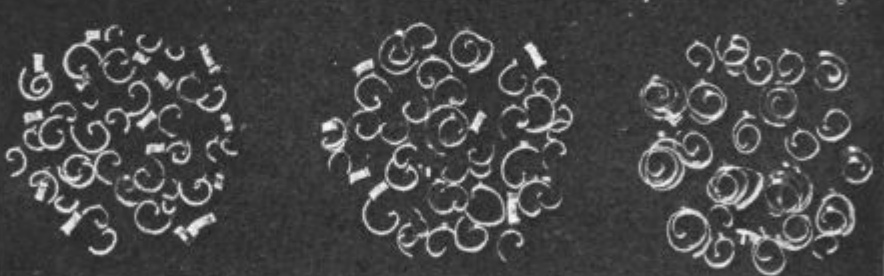
CuSn9P  
nehomogen.,  
vlečeno  
R<sub>a</sub> (μm):  
5,53; 3,25; 1,76



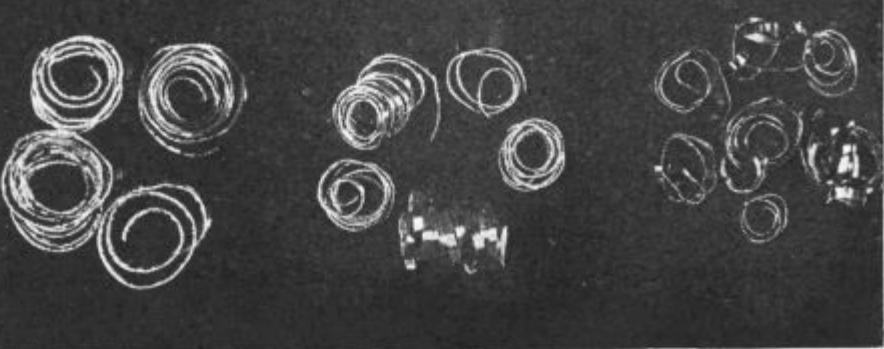
CuSn8PS  
homogen.  
R<sub>a</sub> (μm):  
6,60; 3,40; 1,49



CuSn8PS  
homogen.,  
vlečeno  
R<sub>a</sub> (μm):  
5,60; 3,30; 1,40



CuSn8P  
homogenizirano  
R<sub>a</sub> (μm):  
5,80; 2,80; 1,30



Slika 13

Kvaliteta ostružkov različnih zlitin pri konstantnih parametrih rezanja (sliki 11 in 12) in treh podajanjih. Merilo 1:1

Fig. 13

Quality of chips for various alloys at the constant cutting conditions (Fig. 11 and 12) at three different feed rates. Scale 1:1.

## V. ZAHVALA

Zahvaljujemo se skladu Borisa Kidriča in Mariborski livarni Maribor, ki sta nam omogočila to delo.

## VI. Literatura

1. A. Podgornik, B. Breskvar, A. Križman: »Razvoj nizkolegiranih visokoprevodnih bakrovih zlitin za avtomatsko obdelavo«, Poročilo MI, Ljubljana, 66—89, 1968
2. L. Križman: Strukturne in mehanske lastnosti kontinuirno ulitih palic iz Cu zlitin, diplomsko delo, 1965

3. A. Podgornik, L. Kosec, B. Ralič: Kinetika homogenizacije zlitine CuSn8P, Poročilo FNT, Ljubljana, 1970
4. P. Leskovar: »Nekaj značilnosti pri preiskavah odrezovalnosti aluminijevih zlitin z orodji iz hitroreznega jekla«, Strojniški vestnik, št. 4/5, str. 116—122, 1969
5. P. Leskovar: »Prispevek k vrednotenju kvalitete površine«, Strojniški vestnik, št. 2, str. 33—38, 1970
6. P. Leskovar: »Eksperimentalne raziskave odrezovalnosti zlitin za avtomate«, Strojniški vestnik, št. 4/5, str. 129—135, 1971
7. K. Dies: Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1967
8. Deutsches Kupfer Institut: Die spanabhebende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen, Berlin, 1956

## ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel ist die Entwicklung einer Zinnbronze mit geringem Schwefelzusatz für die Verbesserung der Bearbeitbarkeit beschrieben.

Die gegebenen technologischen Lösungen der Bearbeitung der Schmelze, der Schwefellegierung, das Gießen und Umformen sind an laboratorischen und nachher an halbindustriellen Schmelzen und Untersuchungen der Legierung Cu Sn 8 PS entwickelt worden. Es ist festgestellt worden, dass der Zusatz von 0.16 % Schwefel zu der Bronze Cu Sn 8 P keinen wesentlichen Einfluss auf die

Technologie des Stranggiessens, der Kaltverformung und die mechanischen Eigenschaften ausübt. Soeben wird auch die Oberflächenqualität beim Drehen nicht beeinflusst, sondern nur die Spänenqualität (kurzbrechig und nicht voluminös). Die Vergleichsbearbeitbarkeit die Qualität der Oberfläche und der Spänen — des Messings und der Bronze zeigen, dass sich die entwickelte Lagerbronze CuSn 8 PS bei der mittleren (110 m/min) und höheren (300 m/min) Bearbeitungsgeschwindigkeiten gut bearbeiten lässt.

## SUMMARY

The development of wrought tin bronze (bearing alloy) with small additions of sulphur which improves machinability and enables this alloy as a free-cutting alloy is described in the paper. Technological solutions of melt treatment, alloying of sulphur, casting and working are cited. They are based on laboratory investigations and were latter applied in pilot plant production with simultaneous investigations of CuSn8PS alloy. 0.16 % sulphur addition in CuSn8P bronze was found to have no essential

influence on the used technology of continuous casting, cold working, and mechanical properties. It also does not improve the surface quality in turning but only the quality of chips which are short, crushable, and small. Comparison between the machinability the surface quality, and the quality of chips for brasses and bronzes show that the manufactured bearing bronze CuSn8PS can be well machined at medium (110 m/min) and high (300 m/min) speeds.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрено развитие деформируемой оловянной бронзы (подшипниковый сплав) с небольшой добавкой серы, которая улучшает обрабатываемость и позволяет вести обработку бронзы на автоматах.

Полученные технологические решения обработки расплава, легирование с серой, литье и деформация основаны на лабораторных а позже на полупромышленных исследованиях сплава CuSn8PS. Установлено, что добавка серы в количестве 0.16 % к бронзе CuSn8P существенно не оказывает влияние на поставленную технологию непрерывного литья, холодную переработку

и на механические свойства, также не улучшает качество поверхности при обтачивании; положительное улучшение только на качестве ошников — они короткие, легко отламываются и небольшие.

Сравнение способности к обработки, качество обработанной поверхности и качество ошников меди и бронзы показали, что изготовленная подшипочная бронза CuSn8PS хорошо обрабатывается при средних (110 м/мин) и больших (300 м/мин) скоростях обработки.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Zagar, 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: ZPS2 — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-231 int. 385 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj