

## Vpliv oligoelementov na mehanske karakteristike jekla za globoki vlek

Ph. Aubrun\*

Zmanjšanje količine lastnega starega železa v železarni SOLLAC zaradi razvoja kontinuirnega vlivanja bo potrebno kompenzirati z nabavo zunanjega starega železa in vse kaže, da bo zaradi tega zrasla količina oligoelementov v jeklu, proizvedenem v železarni SOLLAC. Poznano je, da imajo oligoelementi več ali manj izrazit utrditveni vpliv na jeklo<sup>1</sup>. Ob tem je torej upravičena bojazn, da bi uporaba zunanjega starega železa preprečila jeklom za globoko vlečenje vrste ES\*\*, ki predstavljajo tretjino naročil hladno valjanih trakov v železarni SOLLAC, zadovoljevati predpisane kriterije.

Cilj tega poročila je prikazati utrdilni vpliv kontroliranih dodatkov:

1. štirih oligoelementov, ki so najbolj pogosto v starem železu; posamično so to: krom (Cr), baker (Cu), nikelj (Ni) in kositer (Sn);

2. silicija za simulacijo kontinuirno odlitega jekla; ta element smo dodali v eni količini pri študiju vpliva Cr, Ni ali Sn in v dveh količinah pri bakru, tj. elementu, za katerega vemo, da lahko dosega visoke koncentracije v nekaterih pošiljkah starega železa.

Teh pet elementov Cr, Cu, Ni, Sn in Si smo dodajali po dva (v paru so bili prvi štirje elementi z zadnjim) v ingote zelo mehkega jekla, pomirjenega v kokili z aluminijem (stabilizirano jeklo), ki se najbolj pogosto uporablja pri SOLLAC za proizvodnjo vrste ES. Jeklo ima poprečno analizo (v 10<sup>-3</sup> %)

C	Mn	P	S	Al
57	320	13	12	30—60.

Mehanske lastnosti jekla za debeline blizu 1 mm so:

— trdota	42,7 HRB	$s\sigma = 1,1$
— meja plastičnosti	174 N/mm <sup>2</sup>	$s\sigma = 11$
— trdnost	321 N/mm <sup>2</sup>	$s\sigma = 7$
— raztezek	39,3 %	$s\sigma = 1,5$

(preizkušane ISO 20 × 80)

V tabeli 1 so prikazane koncentracije oligoelementov, določene na hladno valjanih trakovih na mestih, ki ustrezajo sredini ingota. Vsaka vrsta v

\* SOLLAC, BP 11 57190 Florange, France

\*\* Po normah AFNOR A 36 401, mora ta kvaliteta dosegati: mejo plastičnosti < 225 N/mm<sup>2</sup>, trdnost < 340 N/mm<sup>2</sup>, raztezek > 36 % (na preizkušancu ISO 20 × 80), trdoto HRB < 50.

## Influence d'éléments résiduels sur les caractéristiques mécaniques d'aciers extra — doux pour emboutissage profond

La prochaine diminution de la quantité de ferrailles internes de SOLLAC due au développement de la coulée continue devra être compensée par l'achat de ferrailles extérieures dont tout permet de penser qu'elles feront monter les teneurs en éléments résiduels des aciers de SOLLAC. Or, on sait que ces éléments résiduels ont tous un effet durcissant plus ou moins marqué<sup>1</sup>. On peut donc craindre que l'utilisation de ferrailles extérieures empêche les aciers pour emboutissage prévus pour la qualité ES\*, qui constituent le tiers du carnet de SOLLAC pour les tôles à froid, de satisfaire aux critères régissant cette qualité.

Ce rapport vise à prévoir les effets durcissants des teneurs contrôlées:

1. des quatre éléments résiduels les plus courants dans les ferrailles, pris isolément: chrome (Cr), cuivre (Cu), nickel (Ni) et étain (Sn);

2. de silicium (Si) pour simuler le métal de coulée continue; cet élément a été introduit à un seul niveau quand il s'agissait d'étudier les effets de Cr, Ni ou Sn et à deux niveaux pour Cu, élément dont on sait qu'il peut atteindre des teneurs fort élevées dans certains lots de ferrailles.

Ces cinq éléments, Cr, Cu, Ni, Sn et Si ont été introduits deux à deux (à savoir l'un des quatre premiers plus le cinquième) dans des lingots de l'acier extra-doux calmé à l'aluminium en lingotière (acier «stabilisé»), qui est le plus couramment utilisé à SOLLAC pour produire la qualité ES et dont l'analyse moyenne est (10<sup>-3</sup> %)

C	Mn	P	S	Al
57	320	13	12	30—60.

et dont les caractéristiques mécaniques pour des épaisseurs voisines de 1 mm sont de

Dureté	42,7 HRB	avec $\sigma = 1,1$
Re	174 N/mm <sup>2</sup>	avec $\sigma = 11$
R	321 N/mm <sup>2</sup>	avec $\sigma = 7$
A %	39,3 %	avec $\sigma = 1,5$

(éprouvette ISO 20 × 80)

Le tableau 1 indique les teneurs en éléments résiduels dosés dans la tôle à froid dans la position qui correspondait au milieu de lingot. Chaque ligne de ce tableau correspond à six lingots issus de 3 coulées de l'aciérie LWS 65 t de SOLLAC et relatifs

\* D'après la norme AFNOR A 36 401, cette qualité doit satisfaire Re < 225 N/mm<sup>2</sup>, R < 340 N/mm<sup>2</sup>, A % > 36 (éprouvette ISO 20 × 80), HRB > 50.

tabeli predstavlja šest ingotov iz treh šarž LWS 65 t jeklarne v SOLLAC, ki imajo enako koncentracijo oligoelementov; od vsake šarže smo izbrali 6 ingotov, stabiliziranih z aluminijem: dva ingota sta služila za primerjavo, v dva ingota je bila dodana določena količina po enega oligoelementa v eni koncentraciji, dva zadnja ingota pa sta bila legirana z istim oligoelementom, vendar v različni koncentraciji.

Vsak ingot je bil izvoljan v toplo valjani kolobar; vsak hladno valjani kolobar je bil sestavljen iz dveh toplo valjanih kolobarjev, pripravljenih iz dveh različnih šarž z isto koncentracijo oligoelementov. Žarjenje jekla se je izvršilo po navadnem postopku za jeklo, vrste ES v peči z enim kupom in s šaržami iste teže, ki so bile sestavljene na enak način iz jekel z istim oligoelementom. Po žarjenju so bili vsi kolobarji hladno valjani na istem valjčnem ogrodju in kasneje razrezani.

Tabela 1

Dobljene količine (10 <sup>-3</sup> %) Teneurs obtenues					Zunaj norme ES % Hors-norme ES %
Si	Cr	Cu	Ni	Sn	
28	7	10	45	<5	27
28	47	10	45	5	46
28	93	10	45	5	48
28	7	10	45	5	10
28	7	46	45	5	3
28	7	68	45	5	17
28	7	101	45	5	47
28	7	165	45	5	70
28	7	10	45	5	0
28	7	10	100	5	3
28	7	10	193	5	27
28	7	10	45	5	0
28	7	10	45	20	7
28	7	10	45	47	67
22	7	10	45	<5	0
22	7	48	45	5	0
22	7	73	45	5	4

Mehanske lastnosti smo določili na petih pozicijah v ingotu, in to pri nogi, pri 1/4 od noge, v sredini, pri 1/4 od glave in pri glavi bloka.

Na prikazu mehanskih karakteristik so prikazani primeri, pri katerih zaradi ene ali več karakteristik (Re, R, A in trdota) preizkušanci ne zadovoljujejo norm za kvaliteto ES, ampak samo za kvaliteto E, ki leži neposredno pod ES po normah AFNOR. Ovrednotenje sloni na populaciji 30 preizkušancev v vsaki črti v tabeli 1; zato lahko menimo ali trdimo, da daje ovrednotenje predstavo o vplivu vsebnosti oligoelementov na doseganje kvalitete ES po postopku kontinuirnega litja.

à la même teneur en résiduels; dans chacune de ces coulées, on avait choisi 6 lingots stabilisés à aluminium: deux servaient de référence, deux autres étaient chargés d'un élément résiduel à une teneur et les deux derniers étaient chargés du même élément résiduel mais à une teneur différente.

Chaque lingot a donné une bobine laminée à chaud; chaque bobine laminée à froid était constituée de deux bobines laminées à chaud issues de coulées différentes mais ayant les mêmes teneurs en élément résiduel. Le recuit, suivant le cycle habituel de cet acier pour qualité ES, a été fait dans des fours à une seule pile, avec des charges de même poids, constituées de la même façon et se rapportant au même élément résiduel. Les bobines ont toutes été écrouies dans des conditions identiques sur le même train écrouisseur, puis elles ont été cisailées. Les caractéristiques mécaniques classiques ont été déterminées en cinq positions du lingot (pied, 1/4 pied, milieu, 1/4 tête, tête).

Sur les relevés de caractéristiques mécaniques, on a dénombré les prélèvements dont une ou plusieurs des caractéristiques (Re, R, A % et dureté) font que ces prélèvements ne satisfont pas à la norme de la qualité ES, mais seulement à celle de la qualité E qui est située juste au-dessous de la qualité ES dans la norme AFNOR. La comptabilisation de ces prélèvements hors-norme concerne une population de 30 échantillons par ligne du tableau 1: on peut donc considérer que cette comptabilisation donne une image de l'incidence des teneurs en éléments résiduels sur le taux de réussite de la qualité ES dans la version coulée continue de l'acier de base en question.

## DISCUSSION

Les résultats du tableau 1 appellent plusieurs remarques.

1. Il semble que les caractéristiques mécaniques des aciers «référence» se scindent en deux catégories suivant que l'on a ajouté Cr ou Cu ou que l'on a ajouté Ni ou Sn aux autres lingots de leurs coulées (cas où Si: 28 · 10<sup>-3</sup> %): en effet, la première catégorie est affectée d'un pourcentage hors norme important, ce qui n'est pas le cas de la seconde catégorie. Aussi, pour éprouver cette apparence, a-t-on déterminé les moyennes et les écarts-types des trois caractéristiques mécaniques Re, Rm et A des aciers de référence afin de les comparer entre eux (tableau 2).

Sans qu'il soit nécessaire de procéder à des tests sur ces chiffres, le tableau 2 montre qu'il n'y a pas de différence significative notable entre les catégories de caractéristiques mécaniques: on peut donc considérer les divers aciers de référence comme appartenant à la même famille.

2. Les aciers de référence sont légèrement plus raides que l'acier que SOLLAC affecte couramment à la qualité ES: il faut y voir très vraisemblable-

#### 4. RAZPRAVA

Rezultati v tabeli 1 kažejo na več značilnosti.

1. Kaže, da se mehanske karakteristike primerjalnega jekla delijo v dve kategoriji, odvisno od tega, ali je bil dodan Cr ali Cu, oz. dodatno legirana Ni ali Sn drugim ingotom istih šarž (primer, kjer je Si  $28 \cdot 10^{-3} \%$ ). Za prvo kategorijo je značilen velik procent odstopanja od mehanskih karakteristik po normah; tega pa ni v drugi kategoriji šarž. Za verifikiranje tega smo določili povprečje in tipična odstopanja za tri osnovne mehanske karakteristike, in to: Re, Rm in A referenčnih jekel, da bi jih bilo mogoče primerjati med seboj (tab. 2).

Ne da bi številke preverjali, pokaže tabela 2, da ni zaznavnih pomembnih razlik v kategorijah mehanskih karakteristik. Zato lahko domnevamo, da pripadajo različna referenčna jekla isti skupini.

Tabela 2

Referenčna jekla Acier de référence	Re (N/mm <sup>2</sup> )		Rm (N/mm <sup>2</sup> )		A %	
	Povprečje Moyenne $\sigma$		Povprečje Moyenne $\sigma$		Povprečje Moyenne $\sigma$	
Cr	187,6	10,1	337	3,7	38,5	1,2
Cu	188,3	13,9	326,8	7,4	38,9	1,2
Ni	185,9	12,9	330,4	6,4	38,6	1,1
Sn	192,8	9,7	332,6	5,7	38,9	0,7

2. Referenčna jekla so nekoliko bolj trda od jekel, katere SOLLAC namenja za kvaliteto ES; gre verjetno za posledico vpliva silicija. Utrditev je zadostna, da je določeno število vzorcev zunaj norm za kvaliteto ES; predvsem zaradi prevelike trdnosti, medtem ko dosegamo kvaliteto ES vedno 100 % z navadnim jeklom.

3. Delež zunaj norme ES narašča z naraščajočo vsebnostjo oligoelementa (glej tabelo 1).

4. Vsi oligoelementi niso enako škodljivi za kvaliteto ES. Kvalitativno z upoštevanjem njihove količine v zunanem starem železu in neprimernosti za odstranjevanje v jeklarni lahko rečemo, da predstavljajo Cu, Sn in Si največjo nevarnost, Ni pa manjšo nevarnost. Pridemo tako do rezultatov, ki so opisani v literaturi in obravnavajo utrdilne vplive Cu, Si<sup>1</sup> in Sn<sup>2</sup>.

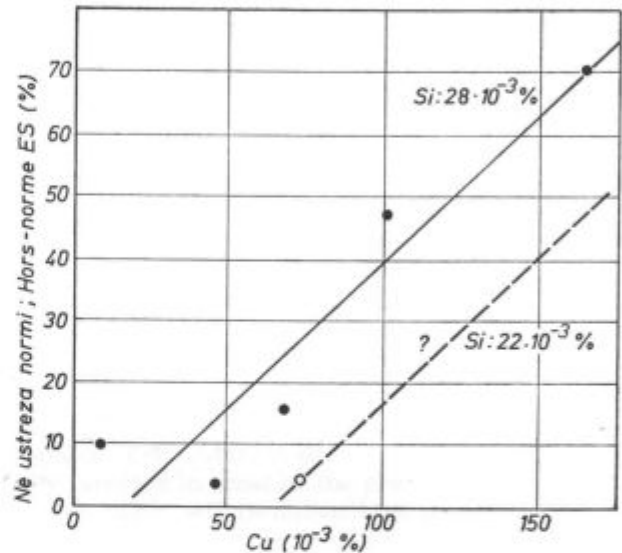
5. Če obravnavamo samo Cu in upoštevamo kot gotovo nič en delež zunaj norme, ki smo ga dobili pri najnižji koncentraciji Si ( $22 \cdot 10^{-3} \%$ ), se bo vpliv Cu v tem jeklu pokazal v premici, ki je vzporedna s premico za  $28 \cdot 10^{-3} \%$  Si na sliki 1. Iz tega sledi, da lahko dovolimo toliko več Cu, kolikor nižji je Si, zato, da je določen delež preizkušancev zunaj norme.

S pogojem, da nove raziskave, ki so v teku, potrdijo in razširijo te rezultate, lahko ocenimo, da pri koncentraciji silicija  $25 \cdot 10^{-3} \%$  pomeni povečanje za  $6 \cdot 10^{-3} \%$  tako utrjenost jekla, da je po karakteristikah zunaj ES norm toliko trakov, kot pri dodatku  $50 \cdot 10^{-3} \%$  Cu.

ment l'incidence de la teneur en silicium. Le durcissement s'avère suffisant tant qu'un certain nombre de prélèvements tombe en-dehors des normes de la qualité ES, principalement pour une résistance R trop élevée, alors que cette qualité ES est réalisée à 100 % avec l'acier habituel.

3. Le pourcentage hors norme ES croît avec la teneur en élément résiduel (cf. tableau 1).

4. Tous les éléments résiduels ne sont pas également redoutables pour la qualité ES. Qualitativement, eu égard à leur abondance dans les ferrailles extérieures et à leur inaptitude à être éliminés à l'aciérie, on peut exprimer que Cu, Sn et Si représentent le plus grand danger et Ni le moindre. On retrouve ainsi des résultats décrits dans la littérature et concernant les effets durcisants de Cu et Si<sup>1</sup> et de Sn<sup>2</sup>.



5. Si on ne s'intéresse qu'à Cu et si on considère comme sûr le seul taux hors norme non nul obtenu avec la plus faible des deux teneurs en silicium ( $22 \cdot 10^{-3} \%$ ), l'effet de Cu dans un acier à  $22 \cdot 10^{-3} \%$  Si se traduira par une droite parallèle à celle relative à  $28 \cdot 10^{-3} \%$  Si sur la figure 1. On voit que l'acier peut tolérer d'autant plus de Cu qu'il renferme moins de Si, pour un taux donné d'hors norme.

Sous réserve que de nouveaux essais en cours de réalisation confirment et étendent ce résultat, on peut estimer que, au niveau de  $25 \cdot 10^{-3} \%$  Si, une augmentation de la teneur en Si résiduel de  $6 \cdot 10^{-3} \%$  crée autant de hors norme par rapport à la qualité ES que  $50 \cdot 10^{-3} \%$  Cu.

#### CONCLUSION

Des premiers résultats de cette étude, il ressort que les éléments les plus gênants pour la réussite de la qualité d'emboutissage ES de l'AFNOR à partir d'acier coulé en continu sont le cuivre et l'étain apportés par les ferrailles et le silicium provenant des réfractaires de poche prin-

## ZAKLJUČEK

Prvi rezultati te raziskave kažejo, da imata največji vpliv na trakove kvalitete ES za globoki vlek po AFNOR normah, ki se izdelajo iz kontinuirno vlitega jekla, baker in kositer, ki prideta iz starega železa, pa tudi silicij, ki pride v talino iz obzidave ponovce. Če je lahko omejiti škodo zaradi kositra s selektivnim nakupom starega železa, potem je potrebno prinos bakra z odpadki kompenzirati s strogo omejitvijo silicija v kontinuirnem jeklu. Zaradi tega je SOLLAC pričel uporabljati v jeklar- ni ponovce z aluminatno obzidavo, da se lahko drži koncentracija silicija na minimalnem nivoju. Nadaljevanju teh raziskav bo omogočilo, da določimo dovoljeno koncentracijo bakra, ki jo lahko še toleriramo pri naši nizki koncentraciji silicija.

cipalement. Si on peut limiter les dégats dus à l'étain par des achats sélectifs de ferrailles, il s'avère que l'enfournement de ferrailles plus ou moins chargées en cuivre implique la limitation sévère de la teneur en silicium résiduel des aciers en continu. C'est la raison pour laquelle SOLLAC garnit ses poches de briques à haute teneur en alumine afin de maintenir la teneur en silicium résiduel à une valeur très faible. La suite de cette étude permettra de fixer la teneur limite en cuivre tolérable compte tenu de nos basses teneurs en silicium.

## Literatura - Bibliographie

1. Voir, par exemple, F. B. Schunk, in D. J. Blickwede: »New Knowledge about sheet steels«, ASM éd., Metals Park, 1970, P. 29.
2. P. Rocquet, G. Jegaden et R. Tarriant: Revue de Métallurgie, 1959, 249—255.