

УДК 669.34-194.35

Квасницька Ю. Г.¹, Григоренко С. Г.², Ясинська О. О.³, Кир'якова Н. В.⁴

¹ чл.-кор. НАН України, доктор технічних наук, завідувач відділу, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

² кандидат технічних наук, завідувач відділу, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

³ кандидат технічних наук, науковий співробітник, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

⁴ головний технолог, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ, nat.vas.kir@gmail.com

АНАЛІЗ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКРАПЛЕНЬ В ЗАЕВТЕКТОЇДНІЙ СТАЛІ, ЛЕГОВАНИЙ МІДДЮ

Останнім часом, для підвищення зносостійкості та антифрикційних характеристик сталі, застосовується легування міддю [1-4]. В роботі досліджували вплив легування міддю (масовою часткою 8%) на формування неметалевих включень в заевтектоїдній сталі (з масовою часткою вуглецю 1,3%).

Дослідження проводили на оптичному мікроскопі «Epiguant». Встановлено, в структурі сталі присутні сульфід, оксиди та оксисульфід, площа їх по відношенню до поля зору шліфа становить близько 0,3%, за легування міддю площа їх майже не змінюється, а розмір незначно зменшується (рис.1а,б). Неметалеві включення мають рівномірний розподіл, розташовуються розрізено, скупчень не спостерігається.

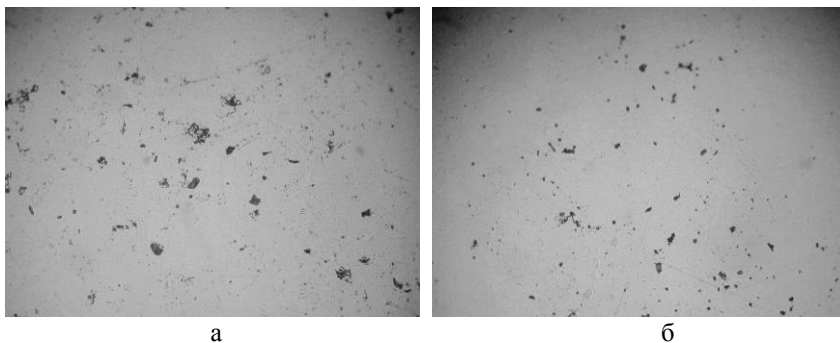


Рис.1. Топографічне розташування неметалевих включень в сталі
а – вихідна сталь; б – сталь легована міддю, x100

Кількісну оцінку забруднення сталі неметалевими включеннями проводили за методом професора Шульте Ю. А., а також з використанням

комп'ютерної програми «Image pro». Дослідження показали, що легування сталі міддю не викликає додаткового забруднення неметалевими вкрапленнями, об'ємна частка вкраплень в загальному об'ємі знаходиться в межах 0,05 – 0,1%. Розподіл неметалевих вкраплень за розмірними групами показав, що 95% вкраплень мають розмір до 2 мкм.

На електронному растровому мікроскопі з мікроаналізатором дослідили склад оксидів та оксисульфідів, спектрограми наведено на рис.2.

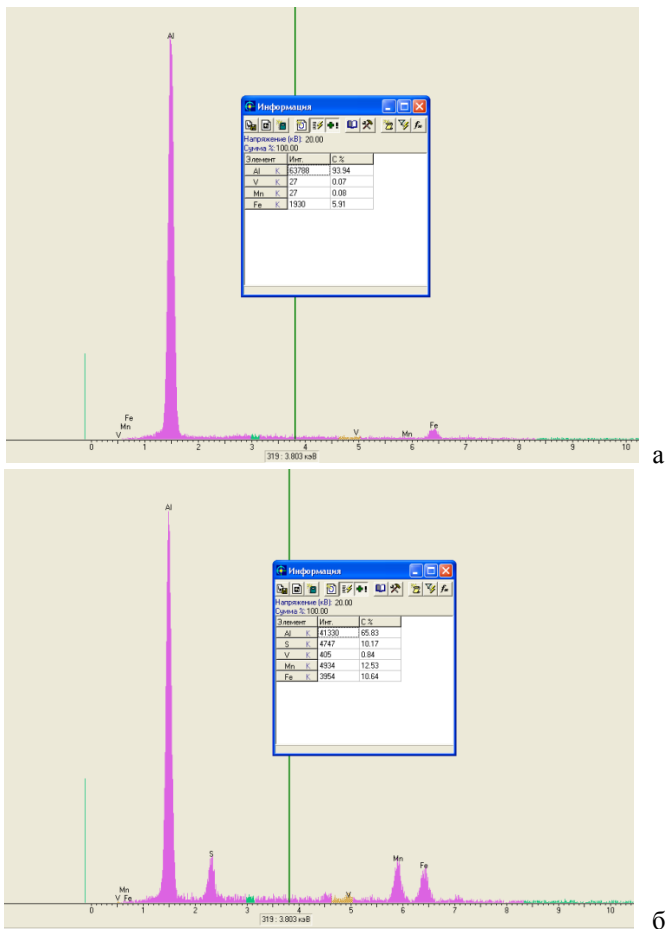


Рис. 2. Спектрограма складу оксиду (а) та оксисульфїду (б)

Комплексний оксид (рис.2а) складається переважно з оксиду алюмінію (94% Al) та оксиду заліза (6% Fe). Оксисульфід марганцю (рис.2б) в своєму складі містить комплексний оксид (66% Al та 12,5% Fe).

За легування сталі міддю формується мідиста фаза [3, 4], усередині якої спостерігаються неметалеві вкраплення (рис.3), вони могли бути центрами формування її (центрами кристалізації). Ці неметалеві вкраплення дослідили за допомогою Оже - рентгеноспектрального мікроаналіза на приладі Jamp-9500F Jeol Field Emission Auger Microprobe, в режимі SEI у вторинних електронах після глибокого іонного травлення іонами аргону. Неметалеві вкраплення іноді мають прямокутну форму (рис.3а), або більш складну конфігурацію (рис.3б).

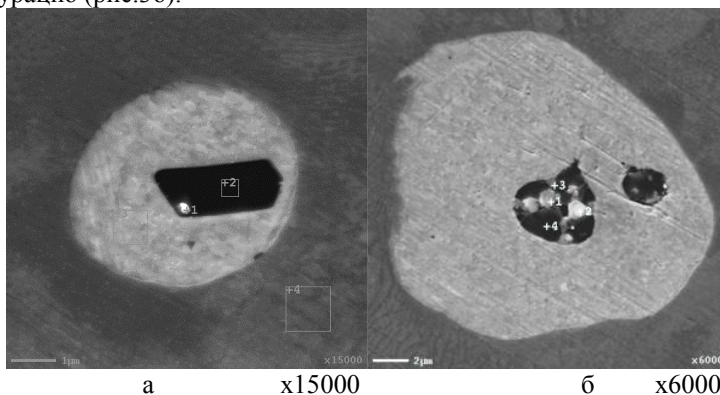


Рис.3. Неметалеві вкраплення з вказаними ділянками проведення досліджень

Спектри досліджених ділянок 1, 2 (рис.3а) представлено в табл.1

Таблиця 1. Спектри досліджених ділянок (рис.3а), в атомних відсотках

№	C	O	N	Cu	Fe	Ni	Cr	Si	S	Mn
1	4.7	2.9	0.8	36.4	3.2	2.7	0.2	0.2	21.6	27.4
2	2.5	2.2	0.4	0.6	0.9	0.4	0.2	0.1	38.3	54.5

Неметалеве вкраплення (рис.3а) за своїм складом (спектр 2) представляє собою сульфід марганцю (33,3% S та 54,5% Mn), на ділянці 1 присутня ще і мідиста фаза.

Багатокомпонентне неметалеве вкраплення (рис.3б, табл.2), в своїй основі за складом сульфід марганцю з однаковим вмістом сірки та марганцю (45%), можливі домішки в невеликій кількості сульфиду заліза та оксидів (спектр 4). Вкраплення на ділянці 3 за вмістом оксисульфід з невеликим вмістом

марганцю (6%), оксидом кремнію та нітридом заліза. На ділянці 1 спостерігали складний оксид, переважно алюмінію, а на ділянці 2 оксид магнію.

Таблиця 2. Спектри досліджених ділянок (рис.3б), в атомних відсотках

№	C	O	N	Cu	Fe	Al	Mg	Si	S	Mn
1	0.9	51.4	0.3	0.3	0.9	33.1	9.8	0.3	1.5	1.5
2	0.6	51.1	0.1	0.7	0.5	5.9	39.6	0.2	0.8	0.6
3	1,5	11,3	1,3	11,1	1,5	-	-	1,5	41,1	5,9
4	0,6	4,7	0,1	0,3	1,8	-	-	0,1	44,7	45,5

Необхідність проведення досліджень неметалевих вкраплень полягає в тому, що їх кількісний склад та розташування впливають на механічні властивості сплаву. Оксиди та нітриди за своїми характеристиками крихкі та будучи концентраторами напруги можуть значно знижувати межу витривалості та в'язкість металу. Формування сульфідних вкраплень залежить від сульфідуютьовальних компонентів, від вмісту сірки в сплаві, а також від співвідношення вмісту сірки до марганцю (більше чи менше 0,4%). Важливим є рівномірне розташування неметалевих вкраплень, як в нашому випадку в перлітній основі. Якщо спостерігається скупчення оксидів і окисульфідів на границях первинних зерен, це призводить до руйнування металу під час експлуатації.

Проведене дослідження впливу легування міддю заевтектоїдної сталі на кількісний і якісний склад неметалевих вкраплень, їх розподіл і сумарну забрудненість показало, що вказані характеристики дуже близькі до вихідної сталі. Легування міддю не призводить до додаткового забруднення неметалевими вкрапленнями і зміни структурного складу їх.

Список використаних джерел

1. Бялік О. М., Кондратюк С. Є., Черненко В. С. Структурний аналіз металів. Металографія. К. ВПІ ВПК «Політехніка». 2006. 298с.
2. Черненко В. С, Бялік О. М. Металознавство. «Політехніка». 2018. 384с.
3. Novytskyy V. G., Havryliuk V. P., Tikhonovich V. I. Effect of copper on wear rate of stainless Fe-Cr-C-Cu steels for power industry under sliding friction. // *Proceedings of 4 th European Stainless Steel Science and Market Congress. France.* 2002. P. 380 – 385.
4. Локтіонов-Ремізовський В. А., Шипіцин С. Я., Новицький В. Г., Кир'якова Н. В. Ефективність впливу легування міддю на зношування заевтектоїдних сталей // *Металознавство та обробка металів.* 2022. №4. С. 33 -38.