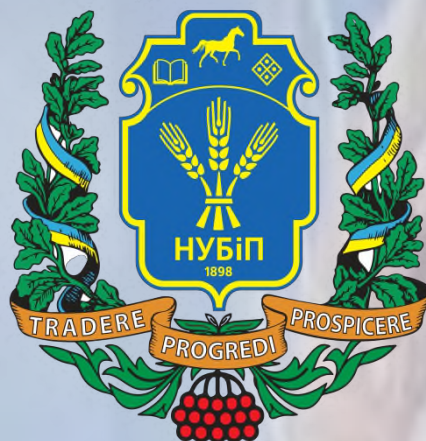


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**  
**ФАКУЛЬТЕТ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**  
*міжнародної науково-практичної онлайн конференції*  
*«Сучасні проблеми та перспективи розвитку*  
*машинобудування України»,*  
*присвяченої 20-й річниці з дня створення*  
*факультету конструювання та дизайну*  
*Національного університету біоресурсів і*  
*природокористування України*

**23-24 вересня 2021 року**

**м. Київ**

## ВПЛИВ БОРУ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ

*Савченко В.М., к.т.н., доц.*

*Куликівський В.Л., к.т.н.*

*Некрашевич Д.Ю.*

*Сливинський В.О.*

*Поліський національний університет, м. Житомир*

*E-mail: [dgs-ua@ukr.net](mailto:dgs-ua@ukr.net)*

Добавка бору до легованим конструкційних сталей дозволяє значно знизити ступінь їх легування такими елементами, як хром, нікель, марганець і молібден, при одночасному збереженні необхідного рівня різних механічних властивостей.

Так добавка до 0,003% бору збільшує межу пружності і дозволяє створювати нові борвмісні ресорно-пружинні сталі 55ХГР і 55СГ2Р. Тут підвищення вмісту бору призводить до виділення боридних фаз і збіднення бором скупчень навколо дислокацій, що знижує межу пружності.

Борвмісні вуглецеві сталі з успіхом замінюють і марганцеві, мають підвищену схильність до утворення тріщин при термообробці. Заміна марганцевих сталей борвмісними дозволяє отримати 10% економії. З досвіду автомобільних заводів Західної Європи добавка 0,002...0,005%В дозволяє звільнитися від дефіцитних легуючих елементів – молібдену і нікелю та замінити дорогу цементовану сталь, що йде на виготовлення важко навантажених деталей, більш дешевою. Борвмісна сталь має більш високу міцність і після цементації набуває більш високої твердості.

Цементована поверхню містить меншу кількість залишкового аустеніту, що значно підвищує зносостійкість і довговічність деталей зі сталі 20ХГР.

Крім збільшення прокалювання адсорбційні шари бору затрудняють процес розчинення надлишкових карбідів, наприклад,  $Cr_{23}C_6$  як в сталі Х15Н25, при загартуванні та їх виділення при старінні. Утворення адсорбційного шару на межі розділу зерен супроводжується тим, що активні ділянки поверхонь розділу виявляються вже зайнятими, і процеси розчинення карбідів при загартуванні, а також зворотне виділення в результаті міграції на внутрішні поверхні при старінні виявляються неможливими.

Легування бором в межах 0,4...0,7% аустенітних сталей з карбідним X18H12B і інтерметалідним 10X16H25B5Ю2Т зміцненням також підвищує їх властивості міцності. Характеристики тривалої міцності таких аустенітноборидних сталей при 650-700 °С значно перевищують аналогічні сталі без бору. Крім того, для сталей з боридним зміцненням характерна висока тривала пластичність, не зменшується зі збільшенням тривалості випробувань. Висока тривала пластичність аустенітно-боридних сталей X18H12BP, X15H24B4T2P, 10X16H25B51-02TP обумовлена високою стабільністю структури і властивостей в процесі тривалої витримки при температурах 800-700 °С.

Аустенітноборидні сталі, на відміну від аналогічних сталей без бору, в результаті більш дрібного зерна і коагуляції зміцнюючої фази мають високу гарячу пластичність поблизу температури солідусу. Ці сталі завдяки наявності двофазної аустенітно-боридної структури не схильні до утворення гарячих тріщин у шві і біля шовної зони при зварюванні плавленням, боротьба з якими складна при зварюванні жароміцних аустенітних сталей.

Так, легування бором сталі X25H2C8 в кількості 0,2...0,5% покращує її зварюваність, дозволяє позбутися від біля шовних гарячих тріщин, не знижуючи міцності при збереженні довготривалої пластичності.

Ефективність впливу бору на жароміцні властивості сталей пояснюється зміцненням кордонів зерен боридами, що утворюються в прикордонних зонах, проте розчинність бору в твердому розчині сплавів на основі заліза незначна. Внаслідок горофільності бор накопичується біля кордонів зерен, викликає місцеве перенасичення твердого розчину і тим самим сприяє утворенню боридів на кордонах зерен навіть при дуже малій загальній концентрації його в сплаві.

Так при електронному мікроскопічному дослідженні тонкої фольги сталі в феритній оторочці по межах аустенітного зерна виявлені бориди заліза ( $Fe_2B$  і  $FeB$ ) вже при вмісті в сталі до 0,0025% В.

У більшості ж легованих сталей по межах зерен бор утворює складні бориди типу  $(Mo, W, Cr, Ni)_x B_y$  і карбоборидні фази  $(Cr, Fe)_2 BC$ ,  $(Cr, Fe)_{22}(B,C)_6$  і  $(Cr, Fe)_{23}(BC)_6$ . Таким чином, адсорбована по межах зерен боридних фаз при надзвичайно малій товщині міжзернових прошарків забезпечує максимальне гальмування повзучості.

Слід зазначити, що вплив бору на зміну фазового складу легованих сталей полягає в основному в зменшенні розчинності легуючих елементів (наприклад, хрому і вольфраму). Отже, легування сталі бором корисно тільки при малому його вмісті, коли гальмування пластичної деформації, що

викликається виділенням карборидних фаз, переважає в зміцненні сталі. При великому вмісту бору значна частина легуючих елементів, зміцнюючих твердий розчин, зв'язується в карбоборидних фазах і тому не бере участь в зміцненні твердого розчину.

Наявність бору сприяє і деякому перерозподілу елементів.

Так, присутність бору в білому чавуні зменшує розчинність хрому і марганцю в цементиті. У процесі відпалу концентрація зазначених елементів в цементиті зростає, бор при цьому гальмує вплив.

Істотний інтерес представляє також і технологічна можливість поліпшення деформованості деяких марок борвмісних сталей. Так, отримання деформованих нержавіючих сталей аустенітного класу ОХ18Н10РЗ і ОХ18Н6Г9РЗ, що містять більше 1,8%В, затруднено різким зниженням пластичності, що виключає можливість гарячої деформації в литому стані. Структуру цих сталей утворюють тендітні великі бориди, що нагадують первинний цементит в заевтектоїдних білих чавунах. Обробка таких сталей в процесі кристалізації ультразвуковими коливаннями викликає значне подрібнення боридних фази у всіх зонах злитка. Структура стає більш однорідною, що сприяє підвищенню механічних властивостей і поліпшенню технологічної пластичності. З'являється можливість кування заготовок зі сталі, що містить 3,5% В.

Зниження пластичності і ударної в'язкості, укрупнення аустенітного зерна і здатність його до зростання при нагріванні, а також можливість утворення зламів представляють технічні недоліки та інших марок борвмісних сталей. Деякі технологічні заходи дозволяють уникнути зазначених недоліків. Наприклад, вже описана обробка борвмісних сталей ультразвуком і введення елементів, що збільшують в структурі кількість аустеніту, підвищують пластичність і ударну в'язкість.

Введення в сталь поряд з бором до 0,02-0,03% Ті гальмує вплив на зростання зерна при нагріванні до 370 °С. Збільшення вмісту титану до 0,1..0,15% перешкоджає росту зерна у всьому інтервалі температур нагріву (870...1200 °С) при 1,5-годинний витримці.

Такий вплив титану можна пояснити бар'єрною дією різних його сполук, нерозчинних в аустеніті навіть при дуже високих температурах.