

7,911 Å. Кристали Al також мають ГЦК ґратку з вдвічі меншим періодом (4,0495 Å). Тому γ -Al₂O₃ є ефективною підкладкою для кристалізації Al, і при невеликих T_{пер} спостерігаються малі значення ΔT. Вище 1000 °C γ -Al₂O₃ безпосередньо або через дещо менш високотемпературні проміжні метастабільні фази (γ' , δ , θ) переходить у стабільну тригональну α модифікацію (a = 4,785 Å, c = 12,991 Å), кристалічна структура якої не відповідає чистому алюмінію. Тому на плівці з α -Al₂O₃ алюміній починає кристалізуватися при більшому переохолодженні, чим на γ -Al₂O₃. При подальших дослідженнях зразку, який раніше був нагрітий до температури вище 1000 °C, на його поверхні зберігається стабільна оксидна плівка з α -Al₂O₃, тому зберігаються і великі значення ΔT навіть після незначних перегрівів. Механічна деформація руйнує оксидну плівку. В місцях її руйнування утворюється нова плівка з аморфного Al₂O₃ та AlO(OH), яка при подальшому нагріванні переходить в γ -Al₂O₃.

УДК 621.745.55

М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВІ ЖАРОСТІЙКІ ХРОМОАЛЮМІНІЄВІ СТАЛІ ДЛЯ РОБОТИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

Експлуатаційні характеристики низьковуглецевих залізохромистих сплавів з алюмінієм досліджені достатньо глибоко та через низькі показники ливарних властивостей, такі матеріали обмежено використовують для виготовлення виробів методами лиття.

Ливарні середньовуглецеві хромоалюмінієві сталі належать до нових жаростійких матеріалів. Технологічні характеристики (ливарні та механічні властивості, оброблюваність і зварюваність) цих сплавів авторами досліджені досконало. Також встановлена можливість тривалої роботи за температур до 1250 °C в атмосфері перегрітого повітря виробів, виготовлених із цих сталей литтям.

Основним легуючим елементом хромистих жаростійких сталей є хром. За результатами дослідження окалинотійкості середньовуглецевих хромистих сталей підтверджена доцільність додаткового легування алюмінієм, хоча ці сталі і є найекономічнішими і надійно працюють до температур 1100 °C. Проте слід зазначити, що за

вмісту хрому 17–20% в середньовуглецевих сталях їх окалиностійкість порівняно невисока, оскільки значна частина хрому зв'язана в карбіди, а легований ферит збіднений на хром.

Спільна дія хрому та алюмінію полягає, насамперед, у тому, що вони змінюють склад, структуру та властивості окалини, яка утворюється на поверхні виробу, а отже, і швидкість окиснення металу. Проте наразі не встановлене оптимальне співвідношення вмістів цих елементів, за якого утворювалася б стабільна, міцна та щільна захисна плівка, яка забезпечувала б максимальну окалиностійкість і надійну довготривалу роботу виробів. Таке завдання є досить актуальним.

У роботі зроблена спроба наблизитися до вирішення цього завдання. Для визначення оптимального співвідношення вмістів хрому та алюмінію досліджено окалиностійкість середньовуглецевих (0,30–0,35% C) сталей з вмістом хрому в діапазоні від 13,6 до 35,8% (ряд промислових жаростійких хромистих сталей) та алюмінію до 7,4%.

За результатами аналізу одержаних результатів встановлено, що збільшення вмісту алюмінію суттєво покращує окалиностійкість (зменшує приріст маси) всіх досліджених сталей: для забезпечення високої окалиностійкості (збільшення маси на 4–6 мг/см² за 100 год) сталь повинна містити 25–35% хрому та 2–3% алюмінію. Подальше підвищення вмісту алюмінію в цих сталях не сприяє помітному покращенню окалиностійкості в наведених умовах, але суттєво погіршує ливарні та механічні властивості, що утруднює виробництво якісних фасонних виливків.

Результати дослідження оксидів, утворених на поверхні виробів із сталей, які містять 25–30% хрому та 2–3% алюмінію, свідчать, що захисна плівка складається в середньому на 65–80% з оксидів Al₂O₃, причому на зовнішній поверхні плівки, тобто на межі розділу «навколишнє середовище-оксиди», виявлено до 8% оксиду Cr₂O₃, близько 65% оксиду Al₂O₃, до 2% Fe₂O₃ та близько 20% FeO.

На внутрішній поверхні плівки, тобто на межі розділу «оксиди-метал», внаслідок інтенсивних дифузійних процесів алюмінію із металу на поверхню виробу склад плівки суттєво змінюється. У плівці виявлено понад 78% оксиду Al₂O₃, майже 20% Cr₂O₃ й незначна кількість Fe₂O₃ та FeO.

Така оксидна плівка має високі щільність і захисні властивості, оберігає поверхню металу від подальшого інтенсивного окиснення й суттєво подовжує тривалість експлуатації виробів за температур аж до 1250 °C.

Висновки

Оптимальним вмістом хрому в жаростійких хромистих сталях для роботи виробів за температур до 1100 °С слід вважати 25–30%.

Для забезпечення високої окалиностійкості виробів, які працюють за температур до 1250 °С в агресивних газових середовищах, вміст хрому в металі має бути в межах 25–30%, а вміст алюмінію – від 2,0 до 3,5%, при цьому має зберігатись відношення $[\%Cr] / [\%Al] = 7-10$.

УДК 621.74.04

В. В. Ясюков, Т. В. Лысенко, Е. А. Пархоменко

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В СТАЛЬНЫХ ОТЛИВКАХ

Под включениями традиционно понимают неметаллические частицы, как дисперсную фазу в суспензии, которая представляет собой дисперсионную среду – расплав. По морфологии неметаллические включения разделяют на две группы: включения, образующиеся как продукты металлургических реакций при плавке (эндогенные) и включения, которые попадают в расплав извне (экзогенные). В железоуглеродистых сплавах (плотность железа 6,8 г/см³) экзогенные включения, как правило, легче расплава: например, плотность FeO составляет 5,7 г/см³, Fe₃O₄ – 5,1 г/см³, Fe₂O₃ – 5,2 г/см³, SiO₂ – 2,3 г/см³, Cr₂O₃ – 5,2 г/см³. Поэтому перенос неметаллических включений в жидкой стали к межфазной поверхности металл – шлак осуществляется либо всплыванием в соответствии с законом Стокса $v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_{ш} - \rho_{ж}}{\eta}$, либо движением частиц вместе с конвективными потоками металла. Закон Стокса справедлив для включений сферической формы в спокойной ванне, размер таких включений 10 – 20 мкм и более.

Мелкие включения переносятся к границе металл – шлак медленно и, в основном, конвективными потоками металла. Кроме того, для их удаления из расплава необходимо учитывать явления смачивания: Al₂O₃, ZrO₂ плохо смачиваются металлом, включения FeO, MnO, SiO₂ хорошо смачиваются металлом и легко переходят в шлак, накапливаются на границе раздела двух фаз и возвращаются в металл.