



УДК 669.187.2.002.2

## СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧИСТОГО ХРОМА

А. П. Рудой, В. Х. Мельник, А. П. Портнов

Индукционно-дуговым способом выплавлены слитки высокочистого хрома, на основе которого получены сплавы хрома, легированные лантаном, железом, никелем и кобальтом. Исследованы твердость и температура хрупкого перехода этих сплавов. Показано, что твердость снизилась с 1350 до 1000 МПа, а температура хрупкого перехода от 20 до  $-40$  °С. Показано, что сплав Cr-La-Fe относительно легко деформируется прокаткой и ротационной ковкой. Технологическая пластичность этого сплава позволяет изготавливать из него защитные покрытия. Испытания артиллерийских стволов с таким защитным покрытием от пороховой эрозии показали увеличение ресурса стволов в три раза.

Chromium alloys, alloyed with lanthanum, iron, nickel and cobalt were produced from high-purity chromium ingots melted by induction-arc method. Hardness and transition temperature of these alloys were examined. It is shown that hardness decreased from 1350 to 1000 MPa, and temperature of brittleness decreased from 20 to  $-40$  °C. It is also shown that alloy Cr-La-Fe is easily deformed by rolling and rotational forging. Ductility of this alloy makes it possible to produce the protective coatings from it. Tests of artillery barrels with this protective coating for a gunpowder erosion showed the 3 times increase in service life of the barrels.

**Ключевые слова:** хром; сплав; твердость; температура хрупкого перехода; технологическая пластичность; защитное покрытие

Хром, относящийся к металлам VI группы периодической таблицы элементов, очень чувствителен к наличию примесей внедрения (углерода, азота, кислорода, водорода), которые имеют низкую растворимость, % мас: Н 0,00001... 0,0001, С 0,00001... 0,0001, N 0,00001, О 0,00001. Они образуют с хромом пересыщенные твердые растворы и двухфазные сплавы, что приводит к сегрегации примесей на дислокациях, следствием чего является склонность хрома к интеркристаллитному разрушению и, соответственно, к снижению низкотемпературной и технологической пластичности [1–3].

Поскольку хром имеет ряд полезных свойств и, в частности, высокую коррозионную и эрозионную стойкость в агрессивных средах, целесообразно применять его в качестве катодного материала при нанесении покрытий на поверхность изделий, испытывающих в процессе их эксплуатации агрессивные воздействия [4].

Используя в качестве исходного материала хром марки ЭРХ (ТУ 14-5-3 – 65), производимый предприятиями России, по разработанной нами технологии получения компактного хрома [5] выплавили слитки хрома чистотой 99,95% мас, массой до 10 кг. Более чистый хром можно получать в малых образцах путем йодидного рафинирования или другими методами очистки, однако во время переплава на большие слитки хром может загрязняться.

Защитные покрытия толщиной 50... 60 мкм, полученные в вакууме методом ионно-плазменного распыления сплавов высокочистого хрома с лантаном (до 0,3 % мас), обеспечивали надежную защиту изделий от эрозионного разрушения в агрессивных средах при высоких температурах. Так, например,

© А. П. РУДОЙ, В. Х. МЕЛЬНИК, А. П. ПОРТНОВ, 2002

нанесение дополнительного хромового покрытия на камеры сгорания жидкостных ракетных двигателей, изготовленных из медных сплавов с покрытиями из нержавеющей стали и кобальтовых сплавов, позволило повысить рабочие температуры камер сгорания реактивных двигателей и, соответственно, мощность последних.

Попытки защитить артиллерийские стволы с помощью покрытий из высокочистого хрома и его сплавов с лантаном не дали положительных результатов из-за растрескивания покрытий при ударных нагрузках и выстрелах, что, по-видимому, было вызвано образованием дефектов на дислокациях.

Легирование высокочистого хрома, содержащего до 0,3 % мас лантана металлами VIII группы системы элементов, имеющими близкие к хрому значения атомных номеров и растворяющимися в нем в жидком и твердом состояниях до 0,6 % мас, дало возможность понизить твердость  $HV$  и температуру хрупкого перехода  $T_x$  полученных трехкомпонентных сплавов.

На рис. 1, а приведены зависимости твердости сплавов Cr-La-Fe, Cr-La-Ni и Cr-La-Co от содержания легирующих элементов железа, никеля, кобальта. Видно, что при малых концентрациях последних (до 0,15... 0,2 % мас) твердость сплавов существенно снижается. С увеличением их концентрации  $HV$  значительно возрастает, особенно это касается сплавов Cr-La-Ni и Cr-La-Co.

Исследование влияния легирования на температуру хрупкого перехода проводили на тех же сплавах.  $T_x$  исходных сплавов была близка к нулю. Из (рис. 1, б) видно, что при малых концентрациях железа и никеля (до 0,3 % мас) температура хрупкого перехода сплавов снижается до  $-30$  и  $-40$  °С соответственно, а с увеличением их содержания наблюдается рост  $T_x$ , что свидетельствует об ухуд-

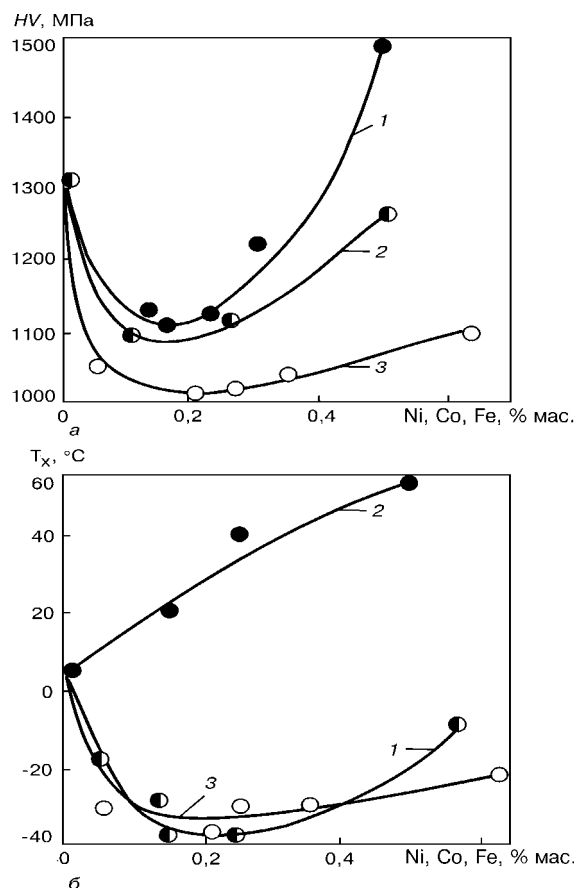


Рис. 1. Влияние никеля (1), кобальта (2) и железа (3) на твердость (а) и температуру хрупкого перехода сплавов Cr-La

шении пластичности. Кобальт однозначно ухудшает пластичность базового сплава Cr-La во всем исследованном нами интервале концентраций и поэтому не представляет интереса как легирующая добавка при создании катодного сплава.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что никель и железо оказывают благоприятное влияние на свойства сплавов системы Cr-La, причем добавки никеля в большей степени повышают пластичность, а добавки железа, наоборот, заметнее понижают твердость исследованных сплавов в литом состоянии.

Изучали также влияние температуры отжига  $t_{отж}$  литых сплавов Cr-La-Fe и Cr-La-Ni, полученных в наших условиях, на их свойства (HV и  $T_x$ ). Использовали сплавы следующих составов, % мас: Cr — основа, La 0,11, Ni 0,12 и Cr — основа, La 0,22, Fe 0,23. Одночасовые отжижки проводили в среде аргона в интервале температур от 500 до 1000 °C. Образцы сплавов до комнатной температуры охлаждали вместе с печью.

Как видно из рис. 2, а, твердость сплава Cr-La-Fe плавно снижается до температуры отжига 900 °C, а затем, при дальнейшем росте температуры, заметно возрастает, что следует связывать с перераспределением примесей между хромом и лантаном. Характер изменения твердости с ростом температуры отжига сплава Cr-La-Ni имеет ту же закономерность, но выражен не столь явно.

На рис. 2, б показано изменение температуры хрупкого перехода с ростом температуры отжига сплавов Cr-La-Fe и Cr-La-Ni. Если в случае со

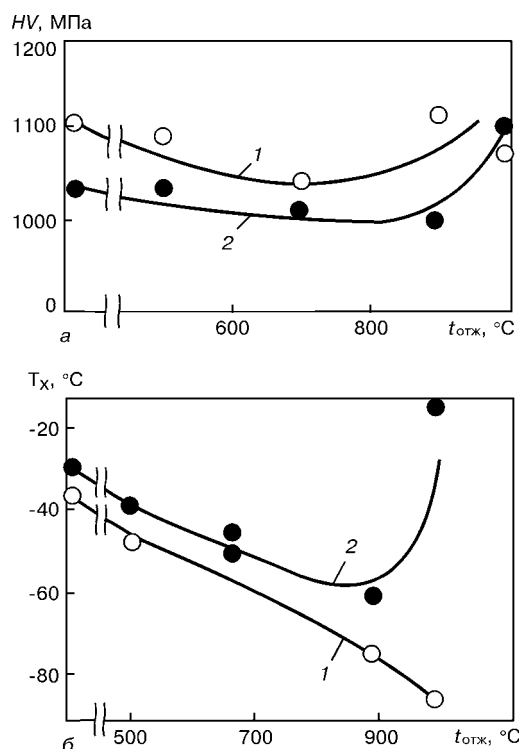


Рис. 2. Влияние температуры отжига на твердость (а) и температуру хрупкого перехода (б) сплавов Cr-La, легированных никелем (1) и железом (2)

сплавом Cr-La-Fe сохраняется характер зависимости  $T_x$  от температуры отжига, подобный зависимости HV от температуры отжига, то в сплаве Cr-La-Ni с ростом последней в исследуемом интервале температур наблюдается монотонное снижение  $T_x$ . Полученные данные позволяют рекомендовать одночасовый отжиг литых сплавов Cr-La-Fe и Cr-La-Ni для улучшения их пластичности.

Результаты проведенной нами работы показали перспективность использования в качестве катодного материала малолегированных сплавов хрома систем Cr-La-Fe и Cr-La-Ni. При высокой технологической пластичности, позволяющей изготавливать из этих сплавов катоды радиального типа, они имеют ряд достоинств: хорошая адгезия к материалу изделий, жаростойкость, стойкость к образованию трещин. Это подтвердили проведенные в России испытания артиллерийских стволов, на внутреннюю поверхность которых был нанесен защитный слой покрытия из Cr-La-Fe, показавшие увеличение живучести стволов примерно в три раза.

1. Трефилов В. И., Фирстов С. А., Мильман Ю. В. Физические основы прочности тугоплавких металлов. — Киев: Наук. думка, 1975. — 315 с.
2. Гриднев В. Н., Трефилов В. И. Исследования по проблеме хрома // Физико-химические исследования жаропрочных сплавов. — М.: Наука, 1968. — С. 160–167.
3. Трефилов В. И. Физическая природа хрупкого разрушения металлов. — Киев: Наук. думка, 1965. — 144 с.
4. Рудой А. П., Фиалковский Р. В. Индукционно-дуговой способ плавления металлов // Металлофизика. — 1976. — Вып. 65. — С. 104–106.
5. А. с. 751144 СССР. С22с 27/06. Сплав на основе хрома — ХР-3 // В. Н. Гриднев, А. М. Розворский, А. П. Рудой, В. И. Трефилов. — Приоритет от 15.06.78.

Ин-т проблем материаловедения НАН Украины, Киев

Поступила 25.06.2002