

**Милонин Е.В., Наумик В.В., Гайдук С.В.**

*(АО «Мотор Сич», ЗНТУ, г. Запоріжжє)*

**СИСТЕМА ЛЕГИРОВАНИЯ ЖАРОПРОЧНОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НАЗЕМНЫХ УСТАНОВОК**

E-mail: naumik@zntu.edu.ua

Силовые агрегаты наземных установок характеризуются специфическими условиями эксплуатации. Непредвиденная поломка лопатки не приводит к столь катастрофическим последствиям, как в случае с авиационным двигателем. При этом, как правило, используется не такое качественное топливо, как в авиации. Топливо зачастую загрязнено сернистыми и прочими вредными примесями. Поэтому на первое место выходят требования к материалу литых рабочих лопаток по сопротивлению высокотемпературной коррозии в соответствующих агрессивных средах.

Один из основных легирующих элементов широко распространённого для изготовления литых рабочих лопаток с направленной и монокристаллической макроструктурой жаропрочного никелевого сплава ЖС32-ВИ – рений – при нагреве образует соединения, не обладающие достаточной стабильностью. В результате для данных изделий необходимо нанесение дополнительного защитного покрытия, что ещё более увеличивает стоимость и без того дорогостоящих литых изделий из этого сплава.

Замена рения такими легирующими элементами, как тантал и вольфрам, образующими гораздо более стойкие соединения, позволит существенно повысить коррозионную стойкость литых лопаток при высоких температурах и может обеспечить достаточные для указанных изделий прочностные и пластические свойства. Кроме того, тантал и вольфрам существенно дешевле рения и не являются столь дефицитными металлами в Украине, что особенно важно в современных условиях, требующих принятия срочных мер по импортозамещению материалов, в частности закупаемых в России.

Тантал [1] является одним из элементов, которые оказывают сильное влияние на термическую устойчивость выделений упрочняющей  $\gamma'$ -фазы.

Положительное влияние тантала на механические свойства никелевых сплавов объясняется не только тем, что он упрочняет  $\gamma$ -твердый раствор и  $\gamma'$ -фазу, но и тем, что при легировании этим элементом образуется монокарбид тантала, более прочно связанный с матрицей по сравнению с другими видами карбидов [2]. С повышением концентрации тантала в сплаве (или при уменьшении содержания титана) он принимает более интенсивное участие в образовании карбида MeC, частично вытесняя из него титан, вольфрам, молибден [1].

Введение W или Mo (или W и Mo вместе) в никелевые сплавы способствует дальнейшему повышению жаропрочности в интервале более высоких температур. Раздельное легирование никелевых сплавов различными элементами не столь эффективно, как комплексное.

Если содержание W и Mo невелико, во многих сплавах с низким содержанием углерода они не входят в состав упрочняющих фаз. Присутствуя в твердом растворе, эти элементы оказывают благоприятное влияние, повышая термическую стойкость раствора путем торможения процессов разупрочнения при высоких температурах. Они повышают также температуру рекристаллизации твердого раствора, кроме того, молибден повышает энергию активации самодиффузии хрома в сплаве [3]. Вольфрам в жаропрочных хромоникелевых сплавах распределяется по осям дендритов, тогда как молибден и ниобий имеют тенденцию к распределению по границам зерен.

**Литература:**

1. Физико-химический фазовый анализ сталей и сплавов / Лашко Н.Ф., Заславская Л.В., Козлова М.Н. и др. – М.: Металлургия, 1978. – 336 с.
2. Бурова Н.Н. Структурные особенности никелевых сплавов, легированных

танталом / Н.Н. Бутова, С.Б. Масленков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1979. – №5. – С. 19 – 22.

3. Химушин Ф.Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов / Ф.Ф.Химушин. – М.: Оборонгиз, 1962. – 334 с.