

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ И ЛИТЕЙНЫЕ ИНВАРНЫЕ И СУПЕРИНВАРНЫЕ СПЛАВЫ

Открытый в конце XIX в. сплав железо-никель (36Н), названный инваром, обладает необычайными тепловыми свойствами. В определенном интервале температур ($-60\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +100\text{ }^{\circ}\text{C}$) сплав 36Н имеет очень низкий, а иногда и нулевой температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Этот сплав широко применяется в приборостроении для ряда узлов приборов и механизмов, где не должно быть изменения размеров деталей в данном температурном интервале, а также сплав 36Н применяется как пассивная составляющая для термобиметаллов.

В 30-х гг. XX в. появляются суперинвары, являющиеся по своей природе инварами, в которых часть атомов никеля замещена атомами кобальта. В суперинварах, получаемых на базе железа, никеля и кобальта, значения ТКЛР могут быть дополнительно снижены по сравнению с классическим инваром 36Н.

Классический инварный сплав 36Н наряду с особыми тепловыми свойствами имеет ряд недостатков технологического плана. К таким недостаткам относятся малая прочность сплава 36Н и низкое сопротивление коррозии и др. В то же время сплав 36Н имеет хорошую пластичность, что делает возможным его пластическую деформацию и получение изделий из данного сплава в виде ленты, листа, проволоки, прутка и т.п. В настоящее время существует большое количество деформируемых инварных сплавов, полученных путем легирования базового сплава 36Н различными элементами с целью повышения прочности: сплавы 36НКТ, 36НГТ, 36НГ6, а также коррозионной стойкости: сплавы 36НХ, 36НКД.

Известно, что все элементы (за исключением кобальта), вводимые в сплав 36Н, увеличивают ТКЛР, что нежелательно. В связи с этим дополнительное легирование сплава 36Н должно быть минимальным. Типовая термообработка деформируемых инварных и суперинварных сплавов включает в себя трехкратную закалку в воду от температуры $860\text{ }^{\circ}\text{C}$ с выдержкой при каждой операции 30 минут и последующих низкотемпературных отжигов при температуре $315\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч и $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 48 ч. Отметим, что данные режимы термообработки деформируемых инварных сплавов нуждаются в корректировке. Предложенная схема термообработки базируется на том, что напряжения различного рода понижают ТКЛР инварных сплавов. В связи с чем низкотемпературные режимы отжига деформируемых инварных сплавов

имеют целью некоторые стабилизации напряжений и некоторое увеличение прочности.

Структура деформируемых инварных и суперинварных сплавов представляет собой ферромагнитный железо-никелевый γ -твердый раствор с ГЦК решеткой, интервал инварности деформируемых инварных сплавов ограничен со стороны низких концентраций мартенситной точкой (Мн), а со стороны больших концентраций точкой Кюри.

Как любой твердый раствор деформируемые сплавы инварного и суперинварного типа имеют плохие литейные свойства. В то же время развитие современных новых отраслей техники, таких как авиастроение, ракетно-космический комплекс, оптоэлектроника, ставит задачу получения крупногабаритных изделий сложной формы. Такие изделия удобнее всего получать путем литья. Для улучшения литейных свойств инварных сплавов в них вводится углерод в разном количестве: от 0,3 % до 2,0 %. Введение углерода улучшает литейные свойства инварного сплава, позволяет получить качественные отливки, но в то же время углерод повышает ТКЛР. В связи с этим полученные путем литья изделия подвергают высокотемпературному отжигу (гомогенизации) с целью вывода углерода из твердого раствора и перевод его в свободный графит. При этом мы получаем качественную литую деталь с приемлимым ТКЛР. Особенно удобно применять в качестве легирующего элемента углерод для получения инварных сплавов, согласованных по ТКЛР с различными керамиками и стеклами.

Проведенные исследования показали, что углерод в инварных и суперинварных сплавах может находиться либо в твердом растворе, либо в виде графита, либо в цементите (Fe_3C). Полученные данные показывают, что наиболее сильно повышает ТКЛР углерод, находящийся в твердом растворе. В связи с этим режим термической обработки углеродсодержащих инварных и суперинварных сплавов включает в себя операции высокотемпературного отжига в интервале от 800 °С до 1200 °С, время выдержки при отжиге зависит от содержания углерода в сплаве и находится в пределах 3 до 20 ч. В процессе отжига происходит выделение углерода из твердого раствора и перевод большей части углерода в графит. При этом происходит уменьшение ТКЛР и перевод углерода из твердого раствора в графит. Этот процесс сопровождается снижением ТКЛР до величины $\alpha < 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. В качестве примера показано изменение ТКЛР при отжиге отливок из суперинварного сплава с различным содержанием углерода.

Предлагаемая схема термообработки литейных инварных и суперинварных сплавов, легированных углеродом, обеспечивает выход на необходимый уровень значений ТКЛР без операции закалки, что облегчает получение заданных ТКЛР, минуя стадии накопления напряжений и обеспечение большую стабилизацию размеров.