

## Особенности отпускной хрупкости броневых сталей

Студентка Эргардт Е.В.

Научный руководитель – Пацеко Е.К.

Белорусский национальный технический университет  
Республика Беларусь, г. Минск

В настоящее время большое внимание уделяется термообработке сталей благодаря тому, что с помощью правильного выбора вида или комплекса видов термообработки, можно добиться требуемых свойств не используя дорогостоящие легирующие элементы. Следует учитывать, что существуют нюансы при выборе температур, так как они могут существенно повлиять на окончательный результат значений механических свойств.

Отпуск – вид термообработки, который применяется после закалки для уменьшения внутренних напряжений, которые образуются после закалки. Закалка повышает не только твердость, но и хрупкость, что делает детали и изделия из закаленных сталей невозможными в эксплуатации. Чтобы совместить высокую твердость и высокую ударную вязкость применяют отпуск стали после закалки. Выделяют три вида отпуска: низкий (120...250 °С), средний (350...400 °С) и высокий (450...600 °С). Нужно понимать, что эти диапазоны температур условны и, в зависимости от содержания легирующих элементов, могут колебаться. Как можно заметить, интервал температур от 250 до 400 °С не используется по причине отпускной хрупкости стали.

Отпускная хрупкость стали – это сильное снижение ударной вязкости при определенном интервале температур отпуска. Выделяют два вида отпускной хрупкости: необратимая (первого рода) и обратимая (второго рода). Первая наблюдается в температурном диапазоне отпуска от 250 до 350 °С и не зависит от скорости охлаждения после отпуска. Причина такой отпускной хрупкости – распад мартенсита с неравномерным выделением карбидов по границам (преимущественно) и в объеме зерна. Все это вызывает повышение хрупкости по границам бывших аустенитных зерен, но при этом все остальные параметры стали (твердость, прочность и др.) остаются неизменными. Отпускная хрупкость первого рода будет протекать в любых случаях, независимо от присутствия или отсутствия легирующих элементов в стали.

Обратимая отпускная хрупкость соответствует высокому отпуску (450-600 °С). Очень распространена для марганцевых, хромистых, хромо-никелевых сталей, например, 40Х, 40ХН. Не проявляется у углеродистых сталей, например, Сталь 40; сталей, легированных молибденом или вольфрамом, например, 40ХМ, 40ХВ. Введение молибдена до 0,4...0,5 % и вольфрама до 1,2...1,5 % уменьшает, а чаще полностью подавляет склонность стали к обратимой отпускной хрупкости, но при большем содержании этих элементов хрупкость вновь усиливается. Также на охрупчиваемость такого рода влияет сурьма, фосфор, мышьяк – вредные примеси, даже в малом количестве.

Любое незнание выбора режимов термообработки чревато последствиями. В качестве примера можно привести одну из версий быстрого потопления британского линкора «Худ» в битве с немецким линкором «Бисмарк». Считается, что отпускная хрупкость сыграла большую роль в том, что линкор потонул в считанные минуты, когда снаряд попал в палубную часть. Для начала нужно сказать, что линкоры – это линейные корабли, которые участвовали в сражениях. Защитой таких кораблей служила броневая сталь, которая должна была удовлетворять таким требованиям, которых можно достичь только с помощью термообработки (высокая прочность, высокая твердость, высокая ударная вязкость при низких температурах эксплуатации). Такая броня должна распределять кинетическую энергию, с которой она сталкивается при попадании снарядов, что позволяет снизить точечный урон и спасти корабль от повреждений. На данный момент в открытом доступе составы броневых сталей этого линкора нет. Но по современным данным броневая сталь практически не отличается от стандартных легированных сталей. Чаще всего в составе присутствуют около 0,5% углерода, 2% кремния,

1,5% марганца, 2% хрома, 1,8% никеля, 0,3% молибдена, 0,15% алюминия, 0,35% меди, 0,15% титана, до 5% кобальта и остальное – железо. Сталь становится броней не при помощи введения в сплав дополнительных материалов, а с помощью специальной закалки и отпуска в течение установленных промежутков времени, которые изменяют структуру материала на молекулярном уровне.

### **Список использованной литературы**

1. Теория термической обработки металлов. Учебник. / Изд. 3-е, испр. и доп. Новиков И.М., «Металлургия», 1978. – с. 321-331.
2. В. Б. Мужеников. Часть IV. // Линейные крейсера Англии. – СПб.: ИСТФЛОТ, 2006. – 112 с. – (Боевые корабли мира). – 250 экз.
3. В. Дж. Юренс. Гибель линейного крейсера Худ = W. J. Jurens. The Loss of HMS Hood – A Re-Examination / пер. с англ. В. В. Пенский. – СПб., 1994. – 52 с.