

## ХРУПКОСТЬ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ НИКЕЛЕМ И МЕДЬЮ

Л.С. Ляхович, И.А. Рижев

Большинство исследователей [1-7 и др.] сходятся в мнении, что добавки никеля снижают склонность стали к хрупкому разрушению. Однако исследования [1-4] выполнены на малоуглеродистых сталях, в то время как в промышленности широко применяются среднеуглеродистые стали. В работе [5] температура перехода стали в хрупкое состояние определялась по арбитражному значению ударной вязкости стали, что не позволяет достаточно точно определить ее критерий хладноломкости. В литературе имеются данные [6] о том, что никель понижает температуру перехода в хрупкое состояние среднеуглеродистой (0,4% С) стали. Наряду с этим имеется мнение [7], что при наличии в стали более 0,33% углерода, никель (до 4,5%) способствует хрупкому разрушению стали и повышает ее критическую температуру хрупкости.

Влияние меди на склонность стали к хрупкому разрушению практически не изучалось, а имеющиеся данные [1, 8] (получены на малоуглеродистых сталях) весьма противоречивы.

В связи с изложенным, в настоящее время нет единого мнения о влиянии добавок никеля, а данные по влиянию меди отсутствуют. Поэтому представляется целесообразным провести изучение влияния этих элементов на ударную вязкость и склонность к хрупкому разрушению среднеуглеродистой стали в тех концентрациях, которые обычно вводятся в конструкционные стали.

В литературе не имеется достаточного количества данных о возникновении хрупкости в стали при непрерывном ее охлаждении после отпуска. Эти сведения позволили бы установить пределы возможного использования быстрого охлаждения после отпуска как средства уменьшения охрупчивания стали при термообработке изделий значительной толщины.

Исследование проводилось на опытных плавках стали 40 с добавками никеля (0,84 и 1,76%) или меди (0,34 и 0,65%). Для предотвращения влияния плавочных характеристик на  $T_K$  стали проводилась фракционная разливка. Прокованные и отожженные заготовки (15x15x180 мм.) выжили от температуры выше  $A_{C3}$  на 30-40<sup>0</sup>С в воду и подвергались

лись отпуску при температурах: 450, 500, 550, 600, 650°C в течение одного часа с последующим охлаждением в масле или с печью (20–30°/ч).

Испытания на ударную вязкость проведены на образцах типа I (ГОСТ 9454–60) при температурах: +20, 0, –20, –40, –60 и –80°C.

Результаты испытаний при +20°C свидетельствуют о том, что ударная вязкость стали 40Н(0,86% Ni) примерно такая же как и стали 40. Но при температурах ниже нуля обнаруживается её меньшая склонность к хрупкому разрушению (рис. I, а). С повышением температуры отпуска наблюдается постепенное увеличение значений ее ударной вязкости. При –20°C и ниже на кривых  $a_H = f(t_{опт})$  имеет место перегиб, который соответствует температуре отпуска 550°C (рис. I, б).

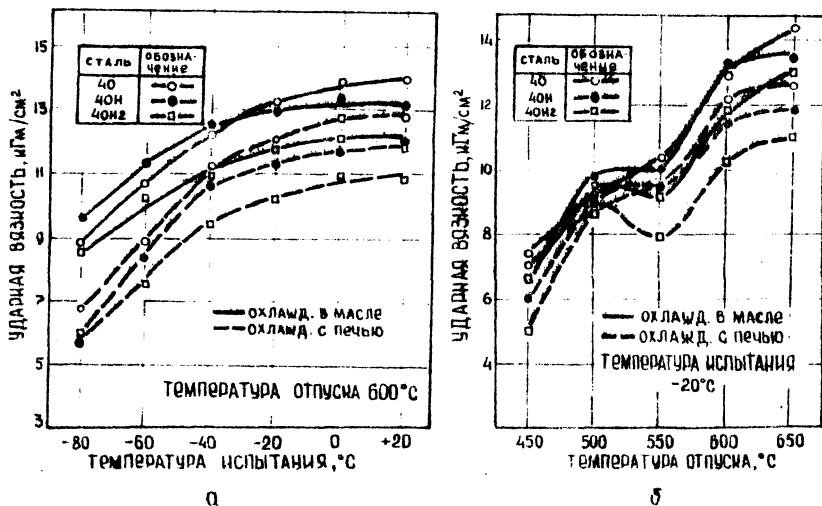


Рис. I. Изменение ударной вязкости никелевых сталей в зависимости от температуры испытания (а) и температуры отпуска (б).

В интервале температур от +20 до –20°C ударная вязкость улучшенной стали 40Н2 (1,76% Ni) несколько ниже, чем у стали 40. Одна-

по ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  у стали 40Н2 наблюдается меньшая склонность к хрупкому разрушению, чем у последней (рис. I, а). После отпуска при  $550^{\circ}\text{C}$  на кривых  $\alpha_H = f(t_{отп})$  обнаруживается резкий перегиб (рис. I, б).

Скорость охлаждения после отпуска не оказывает существенного влияния на ударную вязкость никелевых сталей до  $-60^{\circ}\text{C}$ . При более низких температурах значения  $\alpha_H$  стали 40Н снижаются на  $2 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$  ( $19,6 \cdot 10^4 \text{ дж}/\text{м}^2$ ), а стали 40Н2 - на  $4 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$  ( $39,2 \cdot 10^4 \text{ дж}/\text{м}^2$ ) при охлаждении их с печью после высокого ( $600-650^{\circ}\text{C}$ ) отпуска.

Влияние небольших присадок меди на ударную вязкость среднеуглеродистой стали оказывается аналогичным влиянию никеля (рис. I, а и б). Однако перегиб на кривых  $\alpha_H = f(t_{отп})$  у сталей с 0,34% (40Д0,3) и 0,65% (40Д0,6) меди при температуре отпуска  $550^{\circ}$  оказывается более плавным, чем у никелевых сталей. Добавки меди снижают склонность стали к хрупкому разрушению, способствуя сохранению высоких значений ударной вязкости ( $9 \cdot 10 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$  или  $88,2 \cdot 98 \cdot 10^4 \text{ дж}/\text{м}^2$ ) до температуры  $-80^{\circ}\text{C}$ . Ударная вязкость медистых и никелевых сталей практически одинакова, но влияние медленного охлаждения после отпуска в отношении снижения ударной вязкости оказывается меньшим у медистых сталей.

Отсутствие резких перегибов на кривых  $\alpha_H = f(t_{исп})$  изученных сталей (рис. I, а) не позволяет, по имеющимся методикам, с достаточной точностью определить их критические температуры хрупкости ( $T_R$ ). В связи с этим, значения последних определялись с помощью установленной вероятностной зависимости [9] между процентом хрупкой составляющей ( $X$ ) в изломе образцов и ударной вязкостью сталей ( $\alpha_H$ ), которая выражается уравнением:

$$X = 100 \cdot e^{-A \alpha_H^B},$$

где  $A$  и  $B$  - эмпирические коэффициенты, значения которых зависят от химического состава стали и режима ее термической обработки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что добавки никеля в малых количествах уменьшают склонность стали к хрупкому разрушению. После отпуска в интервале температур  $500-650^{\circ}\text{C}$  критическая

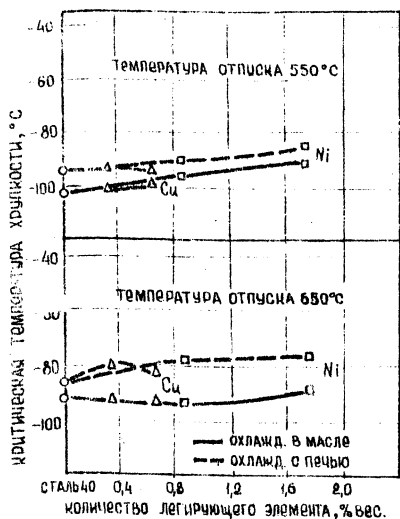


Рис.2. Влияние добавок никеля и меди на критическую температуру хрупкости стали

более высоком (0,65%) содержания меди, а с увеличением температуры отпуска (500–650°C)  $T_K$  стали 40Д0,6 несколько снижается.

Скорость охлаждения после отпуска не оказывает существенного влияния на критическую температуру хрупкости медистых сталей. Повышение  $T_K$  последних в результате медленного охлаждения после отпуска от температуры 650°C оказывается меньшим, чем у никелевых сталей.

### Выводы

Медь по характеру действия на склонность среднеуглеродистой стали к хрупкому разрушению является аналогом никеля и в изученных количествах может быть использована как его заменитель. Добавки никеля и меди не снижают ударной вязкости стали 40 и уменьшают ее склонность к хладноломкости.

температура хрупкости стали 40Н соответствует  $-93 + -98^\circ\text{C}$ . При больших количествах никеля (1,76%)  $T_K$  стали 40Н2 практически не повышается (рис.2).

В результате медленного охлаждения никелевых сталей после отпуска их склонность к хрупкому разрушению увеличивается. Об этом можно судить по повышению  $T_K$  сталей 40Н и 40Н2.

Влияние изученных количеств меди на критическую температуру хрупкости стали оказывается подобным влиянию небольших (0,84%) добавок никеля (рис.2). Независимо от температуры отпуска (450–650°C),  $T_K$  стали 40Д0,3 соответствует  $-90 + -100^\circ\text{C}$ . Не наблюдается существенных изменений в значениях  $T_K$  стали и при

## Л и т е р а т у р а

1. Е. М. Шевандин . Склонность к хрупкости низколегированных сталей. Металлургиздат, 1953.
2. П. Б. Михайлов-Михеев . Тепловая хрупкость стали. Машгиз, 1956.
3. В. А. Делле . Журнал технической физики. Т.24, вып.4, 1954.
4. А. Ргеезе, R.D. Carter. J. Iron an - eel Inst., Т.173, вып.4. 1953.
5. В. Д. Садовский, Н. Ш. Чупракова . Труды ИМФим УФАН СССР, вып.6, Свердловск. 1945.
6. А. П. Гуляев . Митом, №12, 1962.
7. Я. Н. Гольдштейн, Г. А. Чарушникова . Митом, №12, 1962.
8. В. А. Делле . Легированная конструкционная сталь. Металлургиздат, 1953.
9. Л. С. Ляхович, И. А. Рицев . Изв. АН БССР, №4, 1965.