

## КРЕМНИЙ И АЛЮМИНИЙ В ПРОБЛЕМЕ ХЛАДНОЛОМКОСТИ СТАЛИ

Л.С.Ляхович, И.А.Рицев

Изучению влияния кремния на хладноломкость стали посвящено очень мало работ, а данные о восприимчивости к отпускной хрупкости чисто кремнистых сталей в литературе отсутствуют. Исследование этого вопроса является важным, так как кремний всегда присутствует в стали.

В работе [1] кремний рассматривается как нейтральный элемент в отношении влияния на отпускную хрупкость стали, а в работе [2] сделан вывод, что этот элемент в количестве до 1,5% повышает температурный запас вязкости стали. Следует заметить, что эти мнения высказаны на основании результатов испытаний на ударную вязкость стали при +20°C, которые не позволяют надежно выявить склонность стали к хрупкому разрушению. При введении в сталь кремния свыше 1,5% наблюдается резкое увеличение ее склонности к охрупчиванию, о чем свидетельствуют результаты работ [2-4].

Влияние алюминия на склонность к хрупкому разрушению изучалось на сложнелегированных сталях, в то время как более точные данные по этому вопросу можно получить на стали, легированной одним элементом.

Из приведенных данных следует, что еще нет единого мнения о склонности к хрупкому разрушению сталей, легированных кремнием в пределах до 1,5%, но повышенные количества этого элемента способствуют охрупчиванию стали. Все данные о влиянии алюминия получены на легированных сталях и необходимы исследования на одинарных алюминиевых сталях с целью выяснения влияния этого элемента на склонность стали к хрупкому разрушению.

Изучение влияния кремния (0,98 и 2,08%) и алюминия (0,53 и 1,09%) проведено на опытных плавках среднеуглеродистой стали (0,4%С), которая находит широкое применение в машиностроении. Прокованные и отожженные заготовки (15 x 15 x 180 мм) закачивались от температуры выше  $A_{C_3}$  на 30-40°C в воду или масло, после чего подвергались отпуску при температурах 450°, 500°, 550°, 600 и 650°C в течение одного часа и затем половина заготовок охлаждалась в масле, а остальные в печи.

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

Ударная вязкость стали 40С при +20°C оказывается несколько выше, чем у стали 40 (отпуск 550-650°C), но при температурах ниже -20°C обнаруживается большая тенденция к снижению значений ударной вязкости (рис.1, а). Независимо от скорости охлаждения после отпуска наблюдается резкое падение значений ударной вязкости кремнистых сталей, отпущенных при температуре 550°C. Большие количества кремния (2,08%) способствуют снижению ударной вязкости стали. Минимальные значения  $\alpha_H$  быстро и медленно охлажденной стали 40С2 наблюдаются после отпуска при 550°C. Влияние медленного охлаждения после отпуска в отношении снижения ударной вязкости кремнистых сталей оказывается существенным при охлаждении их от температур высокого отпуска.

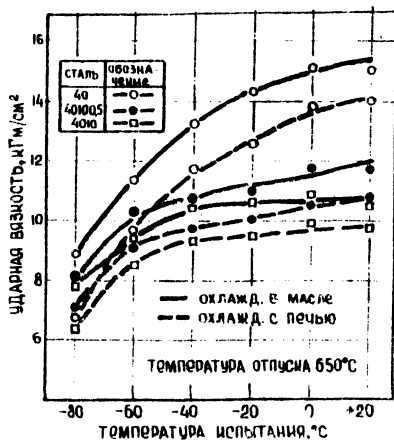
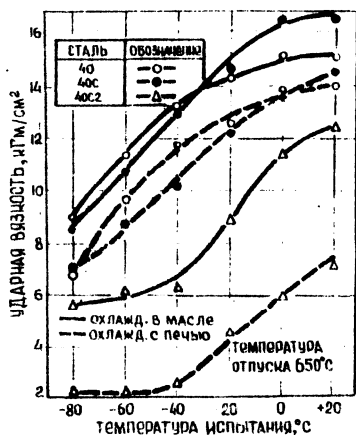


Рис.1

Изменение ударной вязкости стали, легированной кремнием (а) и алюминием (б) в зависимости от температуры испытания.

Добавки алюминия в указанных количествах снижают ударную вязкость среднеуглеродистой стали. После отпуска при 550°C, как и у стали 40, на кривых изменения ударной вязкости алюминиевых сталей в

зависимости от температуры отпуска наблюдается перегиб. Обе алюминиевые стали (40Ю0,5 и 40Ю), отпущенные при 600–650°C, имеют примерно одинаковую ударную вязкость. Однако после отпуска при 450–550°C значения  $\sigma_H$  стали 40Ю ниже, чем стали 40Ю0,5. Серийные испытания позволяют выявить весьма плавное снижение ударной вязкости стали, легированной алюминием, но после высокого отпуска (650°C) при -60°C обнаруживается резкое падение ее ударной вязкости. Медленное охлаждение после отпуска не оказывает существенного влияния на  $\sigma_H$  сталей 40Ю0,5 и 40Ю (рис.1, б).

Существующие методики оценки склонности стали к хрупкому разрушению не позволяют с достаточной точностью определить критические температуры хрупкости  $T_K$  изученных сталей, так как с понижением температуры испытания их значения  $\sigma_H$  снижаются плавно. В связи с этим значения  $T_K$  определялись с помощью установленной вероятностной зависимости между ударной вязкостью стали и процентом хрупкой составляющей в изломе образцов [5] .

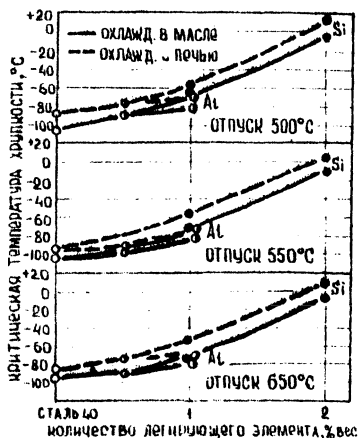


Рис.2 .

Влияние добавок кремния и алюминия на критическую температуру хрупкости стали.

Независимо от температуры отпуска повышение  $T_K$  стали 40C2 остается постоянным (15+16°C). Наибольшая разница в значениях  $T_K$  стали 40C

Полученные данные свидетельствуют о том, что кремний в изученных количествах увеличивает восприимчивость стали к охрупчиванию (рис.2). Критические температуры стали 40C выше, чем у нелегированной. Наиболее высокое ее значение (-66°C) наблюдается после отпуска при 500°C. С увеличением температуры отпуска  $T_K$  стали 40C снижается до -72+ -80°C. Аналогичным оказывается влияние и больших количеств (2,08%) кремния, но в этом случае  $T_K$  стали 40C2 соответствует -10+ -6°C (отпуск 500–650°C). Охлаждение этих сталей после отпуска с печью сопровождается увеличением их склонности к хрупкому разрушению.

(23°C) наблюдается после медленного ее охлаждения от температуры отпуска 600°C.

По сравнению с нелегированной сталью добавки алюминия в количестве 0,53% (40Ю,5) способствуют повышению критической температуры хрупкости. После отпуска в интервале температур 500–650°C  $T_K$  стали 40Ю,5, охлажденной после отпуска в масле, соответствуют критическим температурам хрупкости стали 40, охлажденной от указанных температур с печью. Восприимчивость стали к охрупчиванию возрастает с увеличением в ней содержания алюминия до 1,09% (40Ю). Указанные добавки алюминия в большей мере (на 33°C) повышают  $T_K$  стали по сравнению с таким же количеством (0,98%) кремния (отпуск 450°C). Отпуск в интервале температур 450–500°C сопровождается резким снижением (до -80°C)  $T_K$  стали 40Ю. После отпуска при 500–650°C положение  $T_K$  практически не изменяется, хотя и наблюдается тенденция к повышению этого критерия (рис.2).

В результате медленного охлаждения алюминиевых сталей после отпуска большее повышение  $T_K$  наблюдается у стали 40Ю,5.  $T_K$  стали 40Ю, медленно охлажденной от температур 550–650°C, практически не повышается. Максимально высокое значение  $T_K$  (-40°C) этой стали соответствует температуре отпуска 450°C.

## В ы в о д ы

Кремний и алюминий увеличивают склонность стали к хрупкому разрушению и снижают ее ударную вязкость. Резкое падение значений  $A_H$  кремнистых сталей наблюдается после отпуска при 550°C.

У сталей с добавками алюминия, при указанной температуре, на кривых  $A_H = f(t_{отп})$  отмечается прогиб. Добавки кремния оказывают менее благоприятное влияние на  $T_K$  стали, чем изученные количества алюминия.

Скорость охлаждения после отпуска оказывает большее влияние на ударную вязкость и  $T_K$  кремнистых сталей, чем на те же характеристики стали, легированной алюминием.

## Л и т е р а т у р а

1. А. С. З а в њ я л о в . К теории легирования и термической обработки стали. ДНИИ НКТП. Свердловск, 1943.
2. В. А. Д е л л е . Легированная конструкционная сталь. Металлургиздат, 1953.
3. В. А. С а д о в с к и й , Н. П. Ч у п р а к о в а . Труды ИМФМ УФАИ СССР, вып.6, Свердловск, 1945.
4. В. С. Т о м с и н с к и й , И. В. П а и с о в . Изв. вузов - "Черная металлургия", №II, 1964.
5. Л. С. Л я х о в и ч , И. А. Р и щ е в . Изв. АН БССР, №4, 1965.