

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗ МЕЖКРИТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА ТЕМПЕРАТУР

Г.А. Околович

Назначение термической обработки пуансонов  $\varnothing 4 - 6$  мм заключается в пробиваемости легированной стали толщиной 15 мм за счет высокой твердости стали (64-65 HRC). Предполагается, что максимальная твердость обеспечивает высокие показатели. Однако это не всегда так. Необходимо достижение оптимального сочетания твердости, прочности, вязкости и работы разрушения.

Твердость - определяется содержанием углерода в мартенсите, дисперсностью и количеством карбидной фазы; скоростью охлаждения. Остаточный аустенит снижает твердость.

Прочность - возрастает с увеличением содержания углерода в мартенсите до 0,5%, при большой концентрации снижается, в отличие от твердости, которая продолжает расти. Прочность уменьшается почти пропорционально увеличению размеров зерна и усилению неоднородности в распределении карбидов.

Вязкость - характеризует сопротивление образованию трещин и разрушению под действием ударных нагрузок. Вязкость структурно более чувствительное свойство, чем прочность. Она снижается с увеличением размеров зерна, ростом количества карбидов, ухудшением условий их распределения, состоянием границ зерен и с повышением твердости. Поэтому так опасен перегрев углеродистой стали, который ведет к росту зерна и хрупкому разрушению.

Тем не менее, в практике термической обработки изделия должным образом не учитывается влияние комплекса перечисленных свойств на конечный результат. Во-первых, следует выполнить подогрев садки над зеркалом ванны в течение 20-30 мин. (до 300°C), который необходим не только для удаления влаги, но и для сокращения времени выдержки при окончательном нагреве и снижения температурных напряжений. Кроме того, подогрев обеспечивает уменьшение концентрационной неоднородности за счет выделения дисперсных частиц  $\epsilon$ -карбидов, которые служат центрами кристаллизации при окончательном нагреве и формированию однородного мелкозернистого мартенсита при закалке.

При этом необходимо учитывать температуру и плотность воды, определяющей скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения. Так, при одинаковой твердости (64-65 HRC) и содержании углерода в мартенсите (0,7%) изменение скорости охлаждения может снизить прочностные характеристики на 50%.

Плотность и температура раствора поваренной соли в воде определяют скорость охлаждения изделий при закалке. Плотность раствора 1,075552 г/см<sup>3</sup> и температура 20-25°C позволяют получить оптимальную скорость мартенситного превращения и, как следствие, минимальные термические напряжения.

Внутренние напряжения, возникающие при закалке, весьма сильно снижают прочность на изгиб инструментальной стали, тогда как твердость почти не изменяется. Большое значение в возникновении напряжений или в их уменьшении имеют скорость охлаждения и отпуск. После закалки выполняется отпуск кипячением при 100°C на твердость 64-65 HRC.

Температура и время выдержки при нагреве под закалку определяют содержание углерода в мартенсите и его твердость.

Так, например, после закалки стали У12А, по принятой технологии, (780-790°C) и отпуска при 100°C, 2 часа изделие приобретает высокую твердость 64-65 HRC, но пробиваемость снижается на 50-60% вследствие хрупкого разрушения. Для устранения этого "дефекта" проводят дополнительный отпуск 6-10 часов с целью понижения твердости до 63-64 HRC. Однако показатель пробиваемости увеличивается незначительно. Так как после закалки на твердость 64-65 HRC содержание углерода в мартенсите достигает 1,0%, прочность при изгибе составляет  $\sigma_{изг} = 600$  МПа, работа разрушения  $A=0,4-0,5$  Дж. Длительный отпуск сопровождается снижением содержания углерода в мартенсите, уменьшением твердости и тетрагональности решетки. Прочность и вязкость, при этом не могут существенно измениться вследствие структурной наследственности, т.е. исходного крупного зерна (балла 6-8), приобретенного при нагреве.

В то же время, наблюдается случаи низкой твердости после закалки (63-64 HRC) и ее пытаются повысить до 64-65 HRC тем же длительным кипячением. Иногда такое удается.

Пониженная твердость объясняется повышенным количеством остаточного аустенита (до 15-20%) из-за увеличения времени выдержки при высоких температурах нагрева под закалку. В этом случае происходит частичное превращение остаточного аустенита с образованием вторичного мартенсита и увеличение твердости, которое накладывается на повышение твердости за счет выделения из исходного мартенсита дисперсных  $\epsilon$ -карбидов.

Отрицательное влияние аустенита становится существенным при увеличении его количества > 10-15%. Так, 6-8% остаточного аустенита снижают твердость на 0,5 HRC и на 1-2 HRC при 10-18%.

Прочность, предел текучести и упругости снижаются пропорционально росту количества аустенита порядка 30-50 МПа на каждый процент аустенита [1].

По этой причине в сталях не обеспечивается достаточная устойчивость рабочей кромки при повышенных напряжениях, т.к. при нагрузке > 500 МПа, т.е. выше предела текучести аустенита, происходит его превращение в мартенсит деформации с увеличением объема, которое сопровождается смятием и хрупким разрушением.

Наши исследования и промышленные испытания показали, что максимальная стойкость (80-100%) достигается при твердости 63-64 HRC, содержании углерода в мартенсите 0,6-0,7%, количестве остаточного аустенита 3-5% и балле зерна 11-12. Тогда прочность при изгибе составляет  $\sigma_{изг} \geq 1000$  МПа, работа разрушения  $A=0,6-0,8$  Дж, т.е. повышается в 1,5-2,0 раза, что и обеспечивает стабильность высокой стойкости.

Незначительное количество остаточного аустенита (3 – 5%) не испытывает при отпуске в течение 2 часов, каких-либо заметных превращений, однако происходит его стабилизация в отношении превращения в мартенсит при охлаждении до отрицательных температур, что сохраняет стабильность свойств и размеров при длительном хранении в различных климатических условиях.

В данном случае температура закалки определяется точкой Кюри (768°C) при которой происходит потеря магнитных свойств стали, когда проявляется магнитострикционный эффект, заключающийся в упорядочении

доменной структуры, закрытии микропор, дефектов, уменьшении объема и увеличении плотности, т.е. эффект сжатия увеличивается для парамагнитных и антиферромагнитных металлов при наличии магнитного и полиморфного превращений.

За время выдержки при нагреве под закалку (765°C) температура расплава нагревательной среды меняется в интервале  $\pm 5^\circ\text{C}$ , что сопровождается магнитострикционным термоциклированием, т.е. потерей и восстановлением магнитных свойств стали и, следовательно, более эффективным упорядочением доменной структуры, что как видно по результатам испытаний, существенно сказывается на повышении прочностных свойств, работоспособности и показателя пробиваемости.

Следует отметить, что после закалки от рекомендуемой температуры  $765 \pm 5$  C, твердость 63-64 HRC не снижается и не повышается, как при отпуске в течение 2-4 часов, так и при длительном отпуске (10-12 часов).

Таким образом, "устойчивость" твердости против отпуска (кипячения) может служить прямым доказательством соблюдения температурного режима нагрева под закалку для получения мелкого зерна балла 11-12 и равномерности распределения структурных составляющих при содержании углерода в мартенсите 0,6-0,7% и твердости 63-64 HRC.

Благоприятным сочетанием можно считать стабильность закалочной твердости после отпуска при 100 C, 2-4 часа, т.к. на первой стадии отпуска из мартенсита выделяется лишь  $\epsilon$ -карбид, между решеткой которого и мартенсита сохраняется ориентационная связь; релаксация структурных и термических напряжений обеспечивающих термомеханически устойчивое состояние и высокие показатели пробиваемости при твердости 63-64 HRC [2].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983 – 525 с.
2. Патент №2133783 РФ Мки С21Д1/78. Способ термической обработки изделий из углеродистой стали/ Околович Г.А., Исаев О.Б., Шальнева Г.А., Спасенко Н.В./ Оpubл. В БИ. 1999, №21.

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*