

МЕЖКРИТИЧЕСКАЯ ЗАКАЛКА

Г.А. Околович, А.Е. Сизова, Т.В. Мустафина

Рассмотрено влияние закалки из межкритического интервала температур на твердость, прочность и ударную вязкость сталей. Показано, что улучшение механических свойств сталей проявляется после закалки в узком интервале температур – выше A_{c1} на 30 – 50 °С.

Разработанные режимы закалки внедрены в производство. Достигнуто повышение эксплуатационной стойкости инструмента от 1,5 ÷ 20, до 3 ÷ 4 раз.

Ключевые слова: Межкритическая закалка. Отпуск. Твердость. Ударная вязкость. Деформация. Инструмент. Стали. Карбиды. Аустенит. Мартенсит.

На основе теоретических выводов и практических исследований предложена новая термическая обработка – закалка из межкритического интервала температур. Эффект установлен для всех сталей с $\alpha \rightarrow \gamma$ превращением и в первые наблюдался в исследованиях Ю.А. Геллера, при которой происходит уменьшение объема и размеров изделий в отличии от его увеличения во время мартенситного превращения[1].

В работе [2] было проведено исследование эффекта межкритической закалки на сталях 30ХГС и 35ХГС. Фазовые превращения для них наблюдаются при 720 – 830 °С.

Исходная обработка ударных образцов 10х10х55 мм состояла из закалки в масле от 950 и 1250 °С и отпуска при 650 °С, 2ч с охлаждением в воде. Повторную обработку проводили с нагревом до различных температур. После соответствующего отпуска образцы надрезали и испытывали на ударную вязкость. Ударная вязкость после межкритической закалки (760 – 780 °С) при всех температурах отпуска выше, чем при нормальной закалке (950 °С) в 1,5 – 2,0 раза.

Установлено, что «Межкритическая закалка» (с температур межкритического интервала A_{c1} – A_{c3}) конструкционных сталей, легированных хромом, кремнием, никелем дает более высокую ударную вязкость, ослабляет склонность стали к отпускной хрупкости, понижает порог хладноломкости, но снижает твердость и прочностные свойства стали по сравнению с закалкой от температур выше A_{c3} .

Межкритическая закалка основана на явлении магнитоэлектрического эффекта при нагреве и охлаждении сталей из межкритического интервала температур (A_{c1} – A_{c3}). Такая закалка сопровождается закрытием микропор

и повышением плотности с последующим увеличением прочности, твердости после окончательной термической обработки инструментальных сталей [3].

Сущность ее состоит в закалке от температуры $A_{c1} + 15 - 20$ °С и последующего отпуска 500-600°С (закалка из "меж критической" области), что уменьшает деформацию изделий после окончательной термической обработки [3].

Проведенные исследования показали, что закалка из "межкритической" области повышает прочность углеродистой стали У8 и легированной ХВГ в закаленном состоянии на 40%, после низкого отпуска на 18-20%, а ударную вязкость на 25% в закаленном и на 20% в отпущенном состоянии.

Повышение производительности холодновысадочных автоматов потребовало увеличение стойкости инструмента из сталей У10 и ХВГ. Освоение процесса получения внутренней конфигурации пуансонов и штампов методом холодного выдавливания лишило стали У10 и ХВГ их основного преимущества - хорошей обрабатываемости резанием. Новый способ изготовления инструмента потребовал решения задач по замене сталей с целью повышения стойкости инструмента: уменьшения сопротивления деформации при выдавливании и сохранении размеров фигуры после окончательной термической обработки. Для внедрения были выбраны стали 6Х4М2ФС (ДИ-55) и 8Х4В2С2МФ (ЭП-761), обладающие высоким комплексом механических свойств.

Холодным выдавливанием изготовлены пуансоны из стали ЭП-761 и штампы ДИ-55 в состоянии поставки, среди которых 40% пуансонов и 10% штампов имели отклонения по размерам. После окончательной термической

обработки принято к эксплуатации 20% пуансонов и 80% штампов. Низкий процент отклонений размеров штампов из стали ДИ-55 закономерен. Сталь эвтектоидного состава, без избыточных карбидов.

Исправить размеры фигуры закаленных пуансонов и штампов затруднительно, т.к. окончательная обработка внутренних полостей - только зачистка по шаблону. Нельзя скорректировать величину мастер-пуансона по причине отсутствия закономерностей в отклонении размеров фигуры.

Исследование серии режимов предварительной термической обработки позволило

сохранить точность размеров выдавленной фигуры после окончательной термической обработки.

Поставленная цель достигается закалкой из межкритической области ($A_1 \pm 10-15^\circ\text{C}$) и высоким отпуском при 720°C , 1 час на твердость 16-20 и 22-26 HRC для сталей ДИ-55 и ЭП-761, соответственно. После выдавливания и термической обработки по режиму: закалка $1020-1060^\circ\text{C}$, отпуск $520-540^\circ\text{C}$, 3 раза по 1 часу проведены стойкостные испытания (см. табл. 1), которые

Таблица 1 – Результаты стойкостных испытаний штампов

№ п/п	Марка стали	Твердость HRC	Стойкость, тыс. пуансонов штампов	Причины выхода из строя
1	ХВГ	61-63	53,0	Поломка
2	ЭП-761, без ПТО	61-63	80,0	Поломка
3	ЭП-761, ПТО	61-63	152,0	Посадка
4	У10	59-61	5,0	Поломка
5	ДИ-55, без ПТО	59-61	12,0	Посадка
6	ДИ-55, ПТО	59-61	20,0	Посадка

показали, что применение разработанного режима предварительной термической обработки позволило обеспечить получение размеров фигуры при холодном выдавливании и их сохранение после окончательной термической обработки, повысить эксплуатационную стойкость инструмента в 1,5-2,0 и 3-4 раза по сравнению со сталями ХВГ и У10 соответственно.

Назначение термической обработки стали У12 заключается в пробиваемости брони 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.

Твёрдость - определяется содержанием углерода в мартенсите, дисперсностью и количеством карбидовой 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 стали, который ведет к росту зерна и хрупкому разрушению.

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 при 100°C от 4 до 12 часов 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, ($780-790^\circ\text{C}$) и отпуска 100°C , 2 часа изделие приобретает

высокую твердость 64-65 HRC; но пробиваемость снижается до 50-60%. вследствие хрупкого разрушения. Для устранения этого «дефекта» проводят дополнительный отпуск 8 – 10 часов с целью понижения твердости до 63-64 HRC. Однако показатель пробиваемости увеличивается незначительно (до 70 %). 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. Длительная выдержка при отпуске сопровождается снижением содержания углерода в мартенсите и, как следствие, уменьшения твердости и тетраганальности 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 случай низкой твердости после закалки (62-63 HRC) и ее пытаются повысить до 63-64 HRC увеличением выдержки при отпуске. 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 ε -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.

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 про-

биваемость (80-100%) достигается при твердости 63-65 HRC и содержании углерода в мартенсите 0,6-0,7%, количестве остаточного аустенита 5-10% и балле зерна 11-12. Тогда прочность _ при изгибе составляет $\sigma_{изг}=1000$ МПа, работа разрушения $A=0,6-0,8$ Дж, т.е. повышается в 1,5-2,0 раза, что и обеспечивает стабильность показателя пробиваемости.

В данном случае температура закалки определяется точкой Кюри (758°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. То есть эффект сжатия увеличивается для парамагнитных и антиферромагнитных металлов при наличии магнитного и полиморфного превращений.

Следует отметить, что после закалки от рекомендуемой температуры 765+5°0, твердость (64-65 HRC) не снижается и не повышается, как при отпуске в течении 2-4 часов, так и при длительном отпуске 10-12. часов.

Таким образом, "устойчивость" твердости против отпуска 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 64 – 65 HRC.

Благоприятным сочетанием можно считать стабильность закалочной твердости после отпуска при 100°C, 2-4 часов, т.к. на первой стадии отпуска из мартенсита выделяется лишь ε -карбид, между решеткой которого и мартенсита сохраняется ориентационная связь; релаксация структурных и термических напряжений, обеспечивающих термомеханически устойчивое состояние и высокие показатели пробиваемости при твердости 64-65 HRC.

При всех режимах упрочняющей термической обработки с ростом твердости происходит снижение прочности. Однако, при одинаковом уровне твердости, прочность при изгибе изменяется в широких пределах в зависимости от режимов термической обработки. Это обстоятельство позволяет дифференцировать назначать режимы обработки для штампов различных групп, в соответствии с важнейшим свойством, определяющим высокую стойкость инструмента.

Для вытяжных, гибочных штампов и форм прессования порошков, применяется сталь X12M, основным требованием к которым является высокая износостойкость. Наибольшая твердость (62-63 HRC) достигается при сочетании предварительной межкритической закалки с последующей ступенчатой закалкой.

Предварительная термическая обработка включает в закалку от 850°C (выше $A_{c1}=830^\circ\text{C}$) с охлаждением в масле и высокий отпуск 740-750 °C.

Режимы окончательной термической обработки: закалка, от 1020°C с выдержкой при 500°C, 20 мин с последующим охлаждением на воздухе. После отпуска при 180°C, 1-2 часа твердость составляет 62-63 HRC, $\sigma_{изг}=3000\text{МПа}$.

Сочетание высокой твердости и удовлетворительной прочности при ступенчатой закалке стали X12M, обусловлено высшей легированностью твердого раствора, достигаемой изотермической выдержкой в области максимальной устойчивости аустенита, когда скорости диффузионного и без диффузионного превращения железа минимальные в связи с изменением механизма $\gamma - \alpha$ превращения; при условии, что количество остаточного аустенита не превышает 40%, вызывающих потерю мартенситного каркаса. Это обеспечивается предварительной термической обработкой перед ступенчатой закалкой, когда происходит наклеп аустенита и связанное с этим снижение количества остаточного аустенита [4].

Выводы

1. Улучшение вязких свойств после межкритической закалки проявляется в узком интервале температур, превышающем A_{c1} лишь на 30 – 50 °C.

2. Улучшение механических свойств после межкритической закалки достигается в результате: повышения плотности стали закрытием микропор при пластической деформации от межатомного взаимодействия.

3. Сочетание высокой твердости и прочности при изгибе обеспечивается высшей легированностью твердого раствора, достигаемой изотермической выдержкой при ступенчатой закалке в области максимальной устойчивости аустенита.

4. Предварительная термическая обработка улучшает свойства закаленной стали при использовании любого способа окончательной закалки. Эффективность ее наименьшая при прерываемой закалке; значительнее при непрерывной и ступенчатой; наиболее высокая при закалке на вторичную твердость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали [Текст] / Ю.А. Геллер – М.: Металлургия, 1983. 525 с.
2. Полякова, А.М. «Межкритическая закалка» конструкционных сталей/ А.М. Полякова, В.Д. Садовский, // Металловедение и термическая обработка металлов, № 1, Институт физики металлов АН СССР, 1970. С. 5-8.
3. Околович, Г.А. Способ предварительной термической обработки дисперсионно-твердеющих штамповых сталей [Текст] / Г.А. Околович, А.Г. Евтушенко // А.С. № 1338404 от 15.05, 1987.
4. Моисеев, В.Ф. Физико-химические основы технологических процессов / В.Ф. Моисеев, А.Г. Евтушенко// Барнаул, 1998. 167 с

Мустафина Т.В., аспирантка,

e- mail: mystaphina@mail.ru

Сизова А.Е., аспирантка,

Околович Г.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой МТнО

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»