ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Г.А. Околович, Д.В. Кураков
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

На машиностроительных предприятиях нашего края выполняют множество деталей штамповкой и ковкой, с охлаждением на воздухе. После чего следует термическая обработка: отжиг, нормализация, закалка и высокий отпуск, который вполне можно заменить одинарной обработкой в кипящем слое. Одной из этого множества деталей является клин тягового хомута для сцепки грузовых вагонов, изготавливаемый на заводе ОАО «Алтайвагон».

Клин тягового хомута – ответственная деталь, которая должна характеризоваться не только достаточной прочностью, но и хорошей сопротивляемостью ударным нагрузкам. Поэтому к ней предъявляются высокие требования одновременно по нескольким свойствам: твердость – в пределах 269…341НВ, $\sigma_в \geq 950$ МПа; $\sigma_т \geq 750$ МПа; $\delta \geq 12\%$; KCU ≥ 490 кДж/м^2. Изготавливается из стали 38ХС, поставляемой на завод в круге диаметром 75 мм.

Химический состав стали 38ХС приведен в табл. 1.

Таблица 1 - Химический состав стали 38ХС

C	Si	Mn	Cr	Ni	A_1	A_3	Мн	tн
0,41	1.36	0.50	1.41	–	755	810	320	900
0,42	1.01	0.38	1.50	0.25	740	795	315	910

Техпроцесс изготовления клина включает в себя следующие операции: резка круга на заготовки длиной 240 мм, нагрев заготовок в пламенной печи до 900…1050^{0}С, протяжка на молоте до размера 40х80х295 мм. После чего следует второй нагрев (подогрев) и штамповка на молоте 3ТС. Затем следует обрезка облоя и деталь передается на термическую обработку. Термообработка включает в себя закалку с t = 900…920ºС с охлаждением в масле и высокий отпуск при t = 600ºС с выдержкой 2…3 часа с последующим охлаждением в воде, так как сталь 38ХС подвержена отпускной хрупкости 2 рода. Требуемая микроструктура после термообработки – мелкодисперсный сорбит. Допускается наличие феррита в виде отдельных включений по границам зерен.

Формированию благоприятной структуры стали 38ХС, обеспечению надежности изделия и достижению высоких механических свойств способствует измельчение зерна. Однако при анализе существующей технологии было выявлено, что двойные нагревы способствуют обратному эффекту – росту зерна, который затруднительно исправить последующей термообработкой. При двойном нагреве неизбежен перегрев металла, так как между началом штамповки заготовки первой садки и началом штамповки последней заготовки садки проходит значительное время. Вследствие чего, наблюдается расслоение металла при протяжке.

Следующим узким местом термической обработки является отпускная хрупкость легированных сталей при замедленном охлаждении с температуры отпуска.

Известны следующие меры борьбы с обратимой отпускной хрупкостью:

1) уменьшение содержания вредных примесей,

2) ускоренное охлаждение с температуры высокого отпуска (выше 600ºС),

3) введение небольших добавок молибдена (0,2…0,3%),

4) использование высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО).

Так как способы 1 и 3 в условиях машиностроительного предприятия неприменимы, авторами выполнены исследования по нагреву и ковке клина тягового хомута после одинарного нагрева по схеме «ВТМО + одинарная термообработка с нагрева под штамповку» (совмещение способов 2 и 4).

Наиболее эффективное измельчение субструктуры достигается при ***высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО)***. Пластическая деформация при ВТМО изменяет характер распределения и увеличивает плотность несовершенств кристаллического строения – дислокаций, вакансий, дефектов упаковки, мало- и высокоугловых границ. Так как дефекты кристаллической решет-

ки сильно влияют на формирование структуры стали при фазовых превращениях, то пластическую деформацию перед фазовыми превращениями или в период их развития можно использовать для создания оптимальной структуры термически обработанной стали.

Важнейшее преимущество ВТМО - способность обеспечивать наиболее благоприятное сочетание высокой прочности с повышенной пластичностью, вязкостью и сопротивлением разрушения.

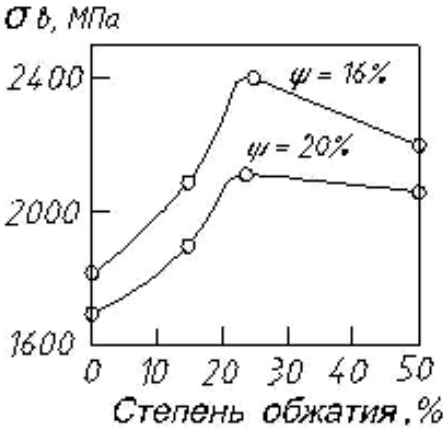

Рисунок 1 - Зависимость временного сопротивления при постоянном относительном сужении от степени обжатия при ВТМО стали 55ХГР

Степень горячей деформации при ВТМО не должна быть слишком большой, иначе развивается рекристаллизация, снижающая упрочнение (рис.1).

Применение дробной деформации (чего легко добиться при штамповке на молоте) с суммарным обжатием, равным большому обжатию за один проход, облегчает деформирование и способствует развитию динамической полигонизации.

С помощью ВТМО можно резко ослабить обратимую и необратимую отпускную хрупкость.

Одинарная термическая обработка заключается в том, что сталь охлаждается с более высокой скоростью, чем при нормализации. Охлаждающей средой является сжатый воздух, который обеспечивает скорость охлаждения большую, чем при нормализации (на спокойном воздухе) и получение структуры тонкопластинчатого перлита с минимальными выделениями избыточного феррита. При этом достигаются механические свойства выше, чем после нормализации.

Причина, по которой этот процесс, энергосберегающий уже по определению, в прошлом не нашел распространения - это чрезвычайная дешевизна энергоносителей – 0,5 коп за 1 кВт/ч (до 1991г.).

Кроме того, несмотря на простоту обработки, данная технология не нашла широкого применения из-за нестабильности получаемых механических свойств, в связи с нестабильной средой охлаждения.

Для решения этой проблемы в качестве стабильной охлаждающей среды предлагается кипящий слой мелкозернистого материала. Что позволяет получить высокие механические свойства у деталей из углеродистых и низкоуглеродистых сталей (60,65,40Х,38ХС). Кроме того, возможно проведение термической обработки в заготовках с тепла нагрева под штамповку.

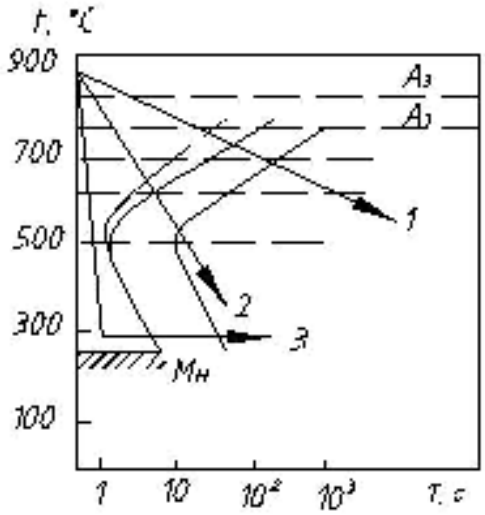

Рисунок 2 - Схема диаграммы изотермического превращения аустенита стали 60 с нанесенными на нее векторами скоростей охлаждения при осуществлении: 1 – нормализации (охлаждение на воздухе); 2 - одинарной обработки (охлаждение в кипящем слое); 3 – изотермической закалки (охлаждение в жидких средах, расплавах)

Скорость охлаждения изделий возрастает при снижении температуры охлаждающего слоя (рис.2) в зависимости от марки стали и сечения (массы) охлаждаемых изделий. Для получения заданных механических свойств, обеспечиваемых образованием сорбитной структуры, используется как обогреваемый кипящий слой, так и «холодный». При этом скорость охлаждения в «холодном» кипящем слое во всем интервале ниже 100^0С практически не меняется, а разогрев выше 100^0С

(за счет внесения тепла охлаждаемых изделий) можно избежать, оборудовав охлаждаемый бак змеевиками с проточной водой или впрыскиванием дискретных порций воды.

Кроме того, при охлаждении изделий в кипящем слое стирается строгая граница между одинарным охлаждением и изотермической закалкой. Изотермическая закалка характеризуется охлаждением в жидких средах-расплавах, а одинарную обработку можно рассматривать как ускоренную нормализацию.

В кипящем слое это различие исчезает, так как, изменяя температуру слоя, можно получить структуру и свойства изделий, аналогичные получаемым при изотермической закалке.

После проведения экспериментов по ковке клина по вышеуказанной схеме «ВТМО + одинарная термообработка с нагрева под штамповку» авторами достигнуты высокие характеристики механических свойств стали 38 ХС:

НВ≈320, $\sigma_в$ ≈1200 МПа; $\sigma_т$ ≈1140 МПа; δ ≈18%; KCU ≈ 450 кДж/м^2.

Выводы

Достигнута основная цель экспериментов - повышение механических свойств стали 38ХС. Кроме того, ожидается, что исключение повторного нагрева (подогрева) при штамповке, а также исключение специального нагрева под закалку позволит получить значительный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. М., «Металлургия», 1968. 1171с. с ил.

2. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов. М., «Металлургия», 1977. 432с. с ил.

3. Садовский В.Д. Структурные превращения при закалке и отпуске сталей. Свердловск: УФАН СССР, 1945. 72с

4. Садовский В.Д., Смирнов Л.В., Романова Е.П. – ФММ, 1978, т.46, №2, с.444-449

5. Файншмидт Е.М. Одинарная обработка в кипящем слое. «Металловедение и термическая обработка металлов». №9, 2004,с. 39-42.