

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЗАКАЛКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТЕРМОУПРОЧНЕННОЙ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ 10ХСНД

Макарова Е.Н., Егоров Н.Т.
Донецкий национальный технический университет

Основная тенденция развития листопрокатного производства в настоящее время ориентирована на увеличение выпуска толстолистового проката из низколегированных сталей повышенной и высокой прочности, что достигается применением упрочняющей термической обработки.

В данной работе приведены результаты исследований по изучению влияния различных условий закалки и отпуска на структуру и свойства толстолистовой низколегированной стали 10ХСНД, содержащей, %: 0,10С; 0,91Si; 0,65Mn; 0,88Cr; 0,61Ni; 0,45Cu; 0,027S и 0,018P.

Образцы размером 12х12х60 мм, вырезанные из горячекатаных листов производства Алчевского металлургического комбината нагревали до температур 930-950°C с последующей их закалкой в воде и в масле со скоростями охлаждения 120 и 60°C/с соответственно. Часть образцов подвергалась изотермической закалке с охлаждением в свинцовой ванне до температур 450-550°C. Длительность выдержки образцов в ванне составляла 60-90 мин и выбиралась с учетом полного распада переохлажденного аустенита при указанных температурах.

Отпуск закаленных образцов осуществляли при температуре 680°C с последующим охлаждением на воздухе. Продолжительность нагрева образцов при закалке составила 2 мин на 1 мм их толщины, а при отпуске – 3 мин/мм, что соответствовало реальным режимам термообработки толстых листов в промышленных условиях.

Микроструктуру стали исследовали на микроскопах «Neophot-21» и JEM-200А. Количество продуктов распада аустенита, образующихся при закалке стали, определяли методом секущих с погрешностью, не превышающей 3 %.

Механические свойства стали после различных режимов закалки и отпуска определяли при испытании на растяжение цилиндрических образцов диаметром 6 мм и расчетной длиной 30 мм. Испытание на ударный изгиб проводили на стандартных образцах 1-го типа при температурах от плюс 20 до минус 60°C.

В таблице 1 приведены данные о влиянии различных режимов закалки на структуру и механические свойства стали 10ХСНД.

Исследования показывают, что закалка стали 10ХСНД в воде обеспечивает получение преимущественно мартенситной структуры, а закалка в масле – бейнито-мартенситной структуры с небольшим количеством (около 10 %) полигонального феррита.

Полученные данные согласуются с результатами изучения термокинетической диаграммы распада переохлажденного аустенита данной стали, которые показывают, что для образования бейнито-мартенситной

структуры без избыточного феррита скорость охлаждения толстых листов при закалке должна быть не менее 70-80°C/с, а для получения полностью мартенситной структуры – не менее 130°C/с [1].

Таблица 1 - Микроструктура и механические свойства стали 10XCHД после различных режимов закалки.

Термическая обработка	Микроструктура закаленной стали	σ_B	σ_T	δ_5 , %	KCU ^{-40°C} Мдж/м ²
		Н/мм ²			
Закалка в воде	Мартенсит	1025	983	10,0	0,28
Закалка в масле	Бейнит, мартенсит + 10% феррита	960	895	14,0	0,45
Изотермическая закалка при °C:					
450	Нижний бейнит	688	507	23,0	0,62
500	Верхний бейнит	620	460	27,0	0,71
550	Верхний бейнит	597	440	29,0	0,82

Образующийся при закалке стали мартенсит, из-за высокой температуры (400-420°C) мартенситного превращения, претерпевает самоотпуск и по этой причине очень сложно разделить структуру мартенсита и нижнего бейнита.

Различие в прочностных характеристиках закаленной стали при охлаждении в воде и масле составляет 65 Н/мм² по временному сопротивлению разрыву, а по пределу текучести 88 Н/мм². Относительное удлинение и ударная вязкость при этом несколько выше для стали после ее закалки в масле.

Изотермическая закалка с распадом переохлажденного аустенита в бейнитной области приводит к резкому снижению прочностных свойств стали при одновременном повышении ее пластичности и вязкости. С изменением температуры изотермической закалки с 450 до 550°C прочностные свойства стали снижаются на 67-91 Н/мм².

Отпуск закаленной стали значительно снижает ее прочностные характеристики и одновременно повышает пластичность и ударную вязкость. Однако разупрочнение стали при отпуске после различных режимов закалки происходит с различной интенсивностью. Наиболее интенсивное разупрочнение наблюдается у стали, закаленной на мартенсит со скоростью охлаждения 120°C/с, по сравнению со сталью, охлажденной в масле со скоростью 60°C/с и имеющей после закалки бейнито-мартенситную структуру. При этом после отпуска при 680°C с длительностью выдержки 60 мин прочностные свойства стали после закалки в воде и масле практически одинаковы, а относительное удлинение для стали закаленной в масле выше на 2 % (табл. 2).

Ударная вязкость после отпуска закаленной стали с охлаждением в масле, а также после изотермической закалки выше, чем у стали после охлаждения ее в воде. При снижении температуры испытания ударная вязкость уменьшается,

но отмеченное выше различие сохраняется.

Таблица 2 - Механические свойства стали 10ХСНД после закалки и последующего отпуска при 680°C.

Режим закалки	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	$\delta_5, \%$	КСУ, Мдж/м ² , при температурах, °С		
	Н/мм ²			+20	-40	-60
Закалка в воде	660	600	22,0	0,92	0,85	0,63
Закалка в масле	655	590	24,0	1,21	0,92	0,83
Изотермическая закалка при °С:						
450	625	485	25,0	1,08	0,84	0,65
550	553	410	30,0	1,12	0,88	0,69

Более низкие характеристики ударной вязкости стали со структурой отпущенного мартенсита обусловлены особенностью выделения и расположения карбидных частиц в процессе отпуска. Отпуск закаленной стали с мартенситной структурой приводит к образованию и скоплению достаточно большого количества мелких карбидов, располагающихся преимущественно по границам бывших мартенситных кристаллов, что, по-видимому, приводит к возникновению и развитию хрупких трещин, снижающих ударную вязкость. В частности, в работе [2] было показано, что работа развития трещины у термоупрочненной стали после закалки с образование мартенсита значительно ниже, чем при отпуске стали с исходной бейнито-мартенситной структурой.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что после закалки малоуглеродистых низколегированных сталей наиболее предпочтительно иметь не мартенситную, а бейнитную или бейнито-мартенситную структуры без избыточного феррита. Это обеспечивает с минимальными затратами получение сбалансированных значений прочности, пластичности и ударной вязкости при производстве толстолистового проката повышенной и высокой прочности, полностью удовлетворяющего требованиям существующих стандартов.

Литература:

1. Романов П.В. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении стали / П.В.Романов, Р.П. Радченко // Атлас термокинетических диаграмм. – Новосибирск, АН СССР, 1960. – 270 с.
2. Марченко Б.А. Особенности превращения и свойства низколегированной марганцово-бор-ванадиевой стали со структурой мартенсита и нижнего бейнита / Б.А. Марченко, Н.И.Карчевская, А.В. Радченко, М.Б. Пирусский // Физика металлов и металловедение, 1980. том 50, вып. 1. – с. 79-85.