

# ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЕЁ ТВЁРДОСТЬ ПОСЛЕ СФЕРОИДИЗИРУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В. В. Свищенко

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

Твёрдость и пластичность стали являются определяющими технологическими характеристиками при изготовлении деталей методом точной чистовой вырубкой (ТЧВ). Твёрдость лимитирует стойкость штампов, а пластичность качество получаемых изделий. Чем ниже твёрдость и выше пластичность штампуемого материала, тем выше эффективность применения метода ТЧВ.

Технологическим требованиям к материалу для ТЧВ удовлетворяют многие цветные металлы и сплавы, а также низкоуглеродистые нелегированные стали. Эти материалы в настоящее время в основном и используются для ТЧВ. Легированные конструкционные стали, идущие на изготовление ответственных высоконагруженных деталей, как правило, не отвечают требованиям к материалу для ТЧВ. Применение этих сталей для ТЧВ ставит проблему стойкости инструментальной оснастки и качества поверхности реза.

У легированных сталей оптимальные для ТЧВ технологические свойства получают сфероидизирующей термической обработкой на структуру зернистого перлита. Разработана и внедрена рациональная технология такой обработки [1]. Данная технология заключается в том, что в прокате сначала формируют исходную структуру зернистого бейнита. Для этого прокат с прокатного нагрева из аустенитного состояния охлаждают со скоростью близкой к  $V_{зк}$  (минимальная из скоростей на термокинетической диаграмме стали при которой ещё не происходит образования перлита). Затем прокат подвергают высокому отпуску, в процессе которого зернистый бейнит трансформируется в зернистый перлит.

Как показано в исследованиях [1–6], зернистый бейнит может формироваться преимущественно у сталей содержащих углерода не более 0,4 %, имеющих термокинетическую диаграмму с обособленной бейнитной областью смещенной в лево относительно перлитной. Такие диаграммы имеют стали содержащие карбидообразующие элементы [7]. Принципиальный вид данной диаграммы показан на рисунке 1 [1].

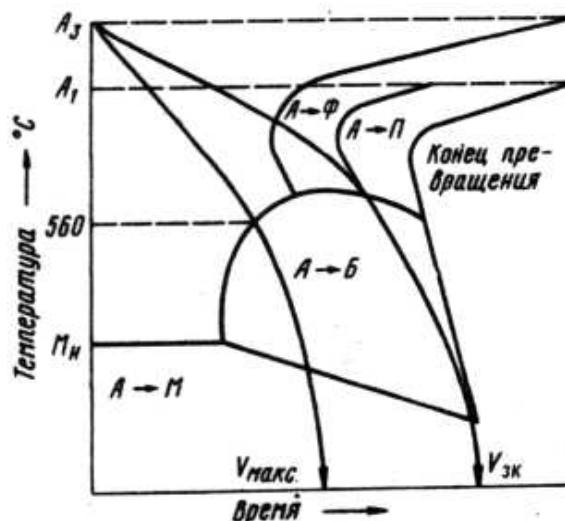


Рисунок 1 – Принципиальная схема термокинетической диаграммы сталей, у которых возможно образование зернистого бейнита

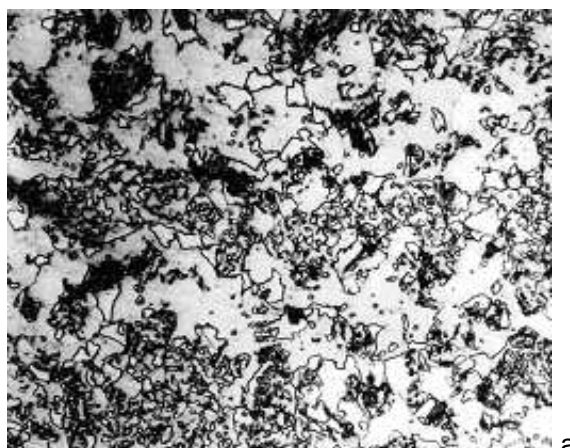
В настоящей работе приведены результаты исследования влияния кремния, марганца, никеля и хрома на твердость стали со структурой зернистого перлита полученного высоким отпуском зернистого бейнита.

В индукционной вакуумной печи ёмкостью 4 кг были выплавлены девять плавков сталей необходимого состава. Во всех опытных плавках содержание углерода задавалось одинаковым и составляло 0,20 %. Выбор состава исследуемых сталей проводили по методике математического планирования эксперимента [8]. Варьируемыми факторами эксперимента было содержание исследуемых ингредиентов: кремния, марганца, никеля и хрома, основной уровень которых ( $x_0$ ) был выбран равным 0,6; 0,7; 1,4; 1,4 % соответственно. Интервал варьирования каждого ингредиента был выбран равным 0,4 %. Составы были выбраны по плану эксперимента (матрице планирования) полуреплики  $2^{4-1}$  с определяющим контрастом  $I = x_1 x_2 x_3 x_4$ . План эксперимента, условия эксперимента и действительный состав выплавленных сталей приведены соответственно в таблицах 1–3.

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЕЁ ТВЁРДОСТЬ  
ПОСЛЕ СФЕРОИДИЗИРУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Таблица 1 – Матрица планирования

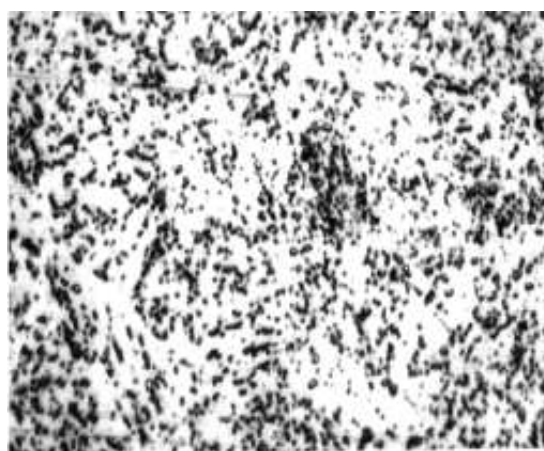
№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	+	+	+	+
2	-	+	+	-
3	+	-	+	-
4	-	-	+	+
5	+	+	-	-
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	-
9	0	0	0	0



а

Таблица 2 – Условия эксперимента

Факторы	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Основной уровень X <sub>10</sub>	0,6	0,7	1,4	1,4
Интервалы варьирования Δ X <sub>i</sub>	0,4	0,4	0,4	0,4
Верхний уровень +	1,0	1,1	1,8	1,8
Нижний уровень -	0,2	0,3	1,0	1,0



б

Рисунок 2 – Микроструктура исследованных сталей (x800): а) после нормализации; б) после высокого отпуска

Таблица 3 – Химический состав исследованных сталей

№	Условное обозначение стали	Содержание легирующих компонентов, % масс.			
		C	Si	Mn	Cr
1	20X2H2CГ	0,21	1,02	1,12	1,77
2	20XH2Г	0,22	0,17	1,10	0,96
3	20XH2C	0,19	1,04	0,35	1,02
4	20X2H2	0,21	0,20	0,33	1,82
5	20XHHCГ	0,18	0,96	1,13	0,99
6	20X2HГ	0,20	0,23	1,07	1,82
7	20X2HC	0,22	1,03	0,30	1,84
8	20XH	0,18	0,22	0,31	1,00
9	20X1,5H1,5C0,5Г0,5	0,19	0,68	0,67	1,42

Слитки опытных сталей были прокованы в квадратные прутки размером 40x40 мм. После обычного отжига из прутков каждой стали были изготовлены образцы, которые затем были нормализованы от 900 °С.

Нормализованные образцы имевшие скорость охлаждения V<sub>зк</sub>, для всех исследованных сталей определялись индивидуально следующим образом. Скорость охлаждения последующего образца стали одной марки увеличивалась с малым шагом (Δ) путём дискретного изменения размеров нормализуемых образцов. Для этого из прутков каждой стали были изготовлены образцы 10-ти типоразмеров: 35x35x35; 35x35x32; 35x35x29; 35x35x26; 35x35x23; 35x35x20; 35x35x17; 35x35x14; 35x35x11; 35x35x8 мм, что позволило получить при нормализации 10 систематически увеличивающихся скоростей ох-

лаждения. Первыми нормализовали образцы максимального размера (35х35х35), имеющие минимальную скорость охлаждения. После нормализации исследовали их микроструктуру. Затем нормализовали и исследовали структуру следующих по размеру образцов (35х35х32), скорость охлаждения которых была на шаг ( $\Delta$ ) больше, и т. д. Выбор образцов, охлаждаемых со скоростью  $V_{3к}$ , был проведён по следующему признаку. Например, если в структуре образца, охлаждённого со скоростью  $V_n$ , перлит ещё присутствовал, а у образца той же стали, охлажденной со следующей скоростью  $V_{n+\Delta}$ , отсутствовал, или его количество не превышало 3 %, то образец, охлаждённый со скоростью  $V_{n+\Delta}$ , считался охлаждённым со скоростью  $V_{3к}$ . Таким образом, определили и отобрали для дальнейших исследований образец каждой стали, охлаждённый со скоростью  $V_{3к}$ . Эти образцы имели одинаковую структуру, состоящую из зернистого бейнита и структурно-свободного феррита (рисунок 2, а).

Отобранные для дальнейшего исследования образцы были подвергнуты сфероидизирующей термической обработке, заключающейся в 4-х часовом отпуске при 680 °С. Микроструктура всех образцов после отпуска представляла собой зернистый перлит с некоторым количеством структурно-свободного феррита (рисунок 2, б). Была определена твердость образцов (НВ).

Составы исследованных сталей выбраны с применением методики математического планирования эксперимента. Результаты исследования твердости сталей выбранного состава позволяют построить математическую модель зависимости твердости ( $Y$ ) от количества вводимых в сталь легирующих компонентов ( $X_i$ ) в виде уравнения регрессии

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4.$$

Коэффициенты регрессии ( $b_i$ ) оценивают совместное влияние основных эффектов и эффектов тройных взаимодействий варьируемых факторов. Поскольку тройные взаимодействия кремния марганца, никеля и хрома незначительны, то можно считать, что коэффициенты регрессии практически оценивают основные эффекты влияния варьируемых факторов. Таким образом, значение коэффициен-

та  $b_i$  соответствует степени влияния соответствующего фактора на твердость стали.

После проведения необходимых расчетов по методике, изложенной в работе [8], было получено уравнение регрессии, являющееся математической моделью зависимости твердости стали от количества вводимых в неё кремния, марганца, никеля и хрома:

$$Y(\text{нв}) = 99 + 34,8[\text{Si}\%] + 27,8[\text{Mn}\%] + +21[\text{Ni}\%] + 10,2[\text{Cr}\%].$$

Полученная модель показывает, что кремний повышает твердость стали наиболее значительно, марганец и никель несколько меньше, а хром минимально. Таким образом, для метода ТЧВ из легированных сталей более технологичными будут хромистые стали, а стали с марганцем и, особенно с кремнием будут не технологичными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. №1463774. СССР – Б.И. № 9 от 07.03.1989 г. Способ сфероидизирующей термической обработки стали. Свищенко В. В., Чепрасов Д. П., Нефедов Е. Н., Гурьев А. М.
2. Свищенко В. В. Строение и механизм формирования зернистого бейнита // Труды Алтайского Государственного Технического Университета им. И. И. Ползунова - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1995. - С. 44-50
3. Кремнев Л. С., Свищенко В. В., Чепрасов Д. П. Строение и механизм формирования зернистого бейнита в стали 20Х2НАЧ // Металл. 1997. № 9. С. 6-9.
4. Кремнев Л. С., Свищенко В. В., Чепрасов Д. П. Скоростной диапазон образования зернистого бейнита при распаде аустенита стали 20Х2НАЧ // Металл. 1998. № 5. С. 17-19.
5. Кремнев Л. С., Свищенко В. В., Степанов А. В., Чепрасов Д. П. Влияние температуры аустенитизации стали 20Х2НАЧ на строение бейнита // Металл. 1999. № 11. С. 15-17.
6. Свищенко В. В., Чепрасов Д. П., Антонюк О. В. Образование мезоферрита и зернистого бейнита в низкоуглеродистой низколегированной стали // Металл. 2004. № 8. С. 7-11.
7. Попов А. А., Попова А. Е. Изотермическая и термокинетическая диаграммы распада переохлажденного аустенита. Свердловск: Машгиз, 1961. 430 с.
8. Новик Ф. С. Математические методы планирования эксперимента в металловедении. – М.: Изд. МИСиС, 1972. – 132 с.