

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЕЁ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ ТОЧНОЙ ЧИСТОВОЙ ВЫРУБКЕ

В.В. Свищенко, А.А. Иванайский

Изучено влияние содержания кремния, марганца, никеля и хрома на твёрдость зернистого перлита, полученного отпуском зернистого бейнита. Показано, что кремний и марганец наиболее сильно повышают твёрдость, а хром минимально.

Ключевые слова. Зернистый перлит, твёрдость, зернистый бейнит, отпуск.

Твёрдость и пластичность стали являются определяющими технологическими характеристиками при изготовлении деталей методом точной чистовой вырубке (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. 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]. Для получения проката со структурой зернистого бейнита необходимо после окончания прокатки охладить

прокат со скоростью, значения которой лежат в интервале $V_{зк} \dots V_{макс}$. $V_{зк}$ - это минимальная скорость из скоростей термокинетической диаграммы стали, при которой ещё не происходит образования перлита (условно названа третьей критической). $V_{макс}$ - это скорость, при которой распад аустенита на бейнит начинается при температуре не ниже 560°C.

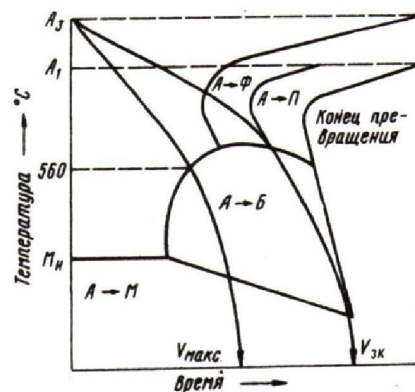


Рисунок 1 – Принципиальная схема термокинетической диаграммы сталей, у которых возможно образование зернистого бейнита

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 методом переплавки стали матричного состава 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

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЕЁ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ ТОЧНОЙ ЧИСТОВОЙ ВЫРУБКЕ

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, 2 и 3.

Таблица 1 - Матрица планирования

№	X_1	X_2	X_3	X_4
1	+	+	+	+
2	-	+	+	-
3	+	-	+	-
4	-	-	+	+
5	+	+	-	-
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	-
9	0	0	0	0

Таблица 2 - Условия эксперимента

Факторы	Si, %	Mn, %	Ni, %	Cr, %
	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень X_{i0}	0,6	0,7	1,4	1,4
Интервалы варьирования ΔX_i	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

Таблица 3 - Химический состав исследованных сталей

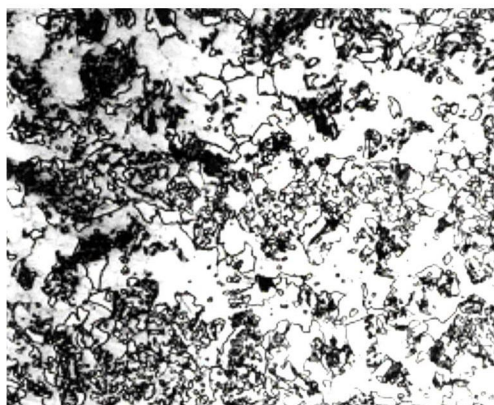
№	Условное обозначение стали	Содержание легирующих компонентов, % масс.			
		C	Si	Mn	Cr
1	20X2H2CG	0,21	1,02	1,12	1,77
2	20XH2Г	0,22	0,17	1,10	0,96
3	20XH2C	0,19	1,04	0,35	1,02
4	20X2H2	0,21	0,20	0,33	1,82
5	20XHCГ	0,18	0,96	1,13	0,99
6	20X2HГ	0,20	0,23	1,07	1,82
7	20X2HC	0,22	1,03	0,30	1,84
8	20XH	0,18	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 для исследования. Необходимую структуру в образцах получали нормализацией от 900°С.

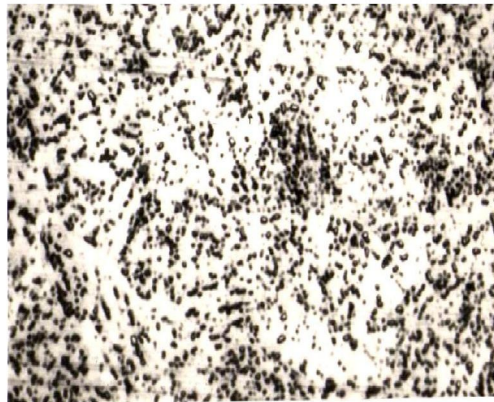
Необходимую скорость охлаждения, соответствующую кривой охлаждения близкой к $V_{зк}$, для каждой стали подбирались индивидуально следующим образом. Скорость охлаждения каждого последующего образца увеличивалась с малым шагом (Δ) путём дискретного изменения размеров нормализуемых образцов. Для этого из прутков каждой стали были изготовлены образцы 10-ти типовых размеров: 35x35x35;

35x35x32; 35x35x29; 35x35x26; 35x35x23; 35x35x20; 35x35x17; 35x35x14; 35x35x11; 35x35x8 мм, что позволило получить при нормализации 10 систематически увеличивающихся скоростей охлаждения. Первыми нормализовали образцы максимального размера (35x35x35), имеющие минимальную скорость охлаждения. После нормализации исследовали их микроструктуру. Затем нормализовали и исследовали структуру следующих по размеру образцов (35x35x32), скорость охлаждения которых была на шаг (Δ) больше, и т.д. Выбор образцов, охлаждаемых со скоростью $V_{зк}$, был проведён по следующему признаку. Например, если в структуре образца, охлаждённого со скоро-

стью 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 охлажденный со скоростью $V_{n+\Delta}$, считался охлажденным со скоростью $V_{зк}$. Таким образом, определили и отобрали для дальнейших исследований образец каждой стали, охлажденный со скоростью $V_{зк}$. Эти образцы имели одинаковую структуру, состоящую из зернистого бейнита и структурно-свободного феррита (рисунок 2а).



а)



б)

Рисунок 2 – Микроструктура исследованных сталей ($\times 800$):

а – после нормализации;
б – после высокого отпуска

Отобранные для дальнейшего исследования образцы были подвергнуты сфероидизирующей термической обработке, заключающейся в 4-х часовом отпуске при 680°C . Микроструктура всех образцов после отпуска представляла собой зернистый перлит с некоторым количеством структурно-свободного феррита (рисунок 2б). 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 коэффициента b_i соответствует степени влияния соответствующего фактора на твердость стали.

После проведения необходимых расчетов по методике, изложенной в работе [8], было получено уравнение регрессии:

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

Данное уравнение является математической моделью зависимости твердости стали имеющей структуру зернистого перлита, полученного отпуском зернистого бейнита, от содержания в составе стали кремния, марганца, никеля и хрома. Из данной модели видно, что легирующие компоненты значительно различаются по влиянию на твердость. Минимальное влияние оказывает хром, значительное марганец и максимальное кремний.

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 зерни-

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА ЕЁ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИ ТОЧНОЙ ЧИСТОВОЙ ВЫРУБКЕ

стого бейнита в стали 20Х2НАЧ // МиТОМ. 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 // МиТОМ. 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 // МиТОМ. 1999. № 11. С. 15-17.

6. Свищенко В.В., Чепрасов Д.П., Антонюк О.В. Образование мезоферрита и зернистого бейнита в низкоуглеродистой низколегированной стали // МиТОМ. 12004. № 8. С. 7-11.

7. Попов А.А., Попова А.Е. Изотермическая и термокинетическая диаграммы распада переохлаждённого аустенита. Свердловск: Машгиз, 1961. 430 с.

8. Новик Ф.С. Математические методы планирования эксперимента в металловедении. – М: Изд. МИСиС, 197 – 132 с

Свищенко Владимир Владимирович -
к.т.н., доцент, АлтГТУ.

Иванайский Александр Анатольевич -
к.т.н., доцент, АлтГТУ.