

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА И ДРУГИХ ФАКТОРОВ НА
ДИСПЕРСНОСТЬ ПЕРЛИТА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

**В. В. Парусов, д.т.н., проф., Э. В. Парусов, к.т.н., Л. В. Сагура, к.т.н.,
О. В. Парусов, к.т.н., И. Н. Чуйко, к.т.н.**

*Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова
Национальной академии наук Украины*

Дисперсность пластинчатого перлита является важной характеристикой катанки из углеродистых сталей, поскольку она определяет комплекс механических свойств и деформируемость при волочении.

Согласно приведенной в работе [1] гипотезе пластинчатый перлит кристаллизуется на плоскополигональных стенках, возникающих в аустените из-за избытка дислокаций одного знака. Таким образом, механизм образования пластинчатого перлита, по своей природе, является дислокационным и выявляет генетическую связь между субструктурой переохлажденного аустенита и морфологией перлита.

Известно, что дисперсность перлита углеродистых сталей зависит от величины аустенитного зерна и ряда других факторов, в частности, от температуры аустенитизации. Повышение температуры аустенитизации обуславливает лучшую гомогенизацию и способствует рассасыванию концентрационных флуктуаций, которые могут действовать в качестве зародышей при превращении в перлитной области.

Такая точка зрения является общепринятой и подтверждена многими исследователями.

Из изложенного следует, что при прочих равных условиях повышение дисперсности перлита прямым образом связано с повышением перлитной прокаливаемости, а косвенно – с повышением мартенситной прокаливаемости. Так Э. Гудремон [2] считал ошибочным мнение, что мартенситная прокаливаемость увеличивается вследствие возрастания скорости охлаждения при повышении температуры нагрева и объяснял повышение прокаливаемости только изменением химической и физической структуры аустенита.

Аналогичной точки зрения придерживался В.С. Меськин [3]. Он отмечал, что «температура нагрева стали перед закалкой непосредственного влияния на прокаливаемость не оказывает, вызываемое же высоким нагревом углубление закалки ... связано с укрупнением аустенитного зерна и более полным растворением различных фаз, главным образом карбидов».

Менее известным является то, что при повышении температуры аустенитизации проявляется действие чисто теплотехнического фактора, вследствие которого при температуре 700-720 °С увеличивается фактическая скорость охлаждения [4].

Впервые изучил влияние температуры закалки на фактическую скорость охлаждения Г. Френч [5]. Ним было установлено, что если температура аустенитизации составляет 800, 900 и 1050 °С, то скорость охлаждения в воде при 720 °С соответственно равна 146, 186 и 200 °С/с.

Для объяснения полученных результатов может быть привлечена теория регулярного режима охлаждения, разработанная Кондратьевым [6]. Как известно [7], охлаждение при постоянной температуре поверхности ($t_{\text{пов}} = \text{const}$) определяется граничными условиями первого рода. При малых значениях времени (τ) – от $\tau = 0$ до $\tau = \tau_1$ – распределение температуры внутри тела и скорость ее изменения во времени зависят от особенностей начального распределения температуры. Период охлаждения, при котором на изменение избыточной температуры имеет большое влияние первоначальное распределение температур, называют неупорядоченной стадией охлаждения.

При времени $\tau > \tau_1$ начальные условия начинают играть второстепенную роль и процесс охлаждения происходит с максимальной скоростью и полностью определяется только условиями охлаждения на границе тело – охлаждающая среда, физическими свойствами тела, его геометрией и размерами.

Период охлаждения, когда изменение избыточной температуры в теле не зависит от первоначального распределения температур, называют регулярным режимом охлаждения.

Важно отметить, что влияние величины зерна на дисперсность перлита проявляется не через масштабный фактор, а благодаря изменению энергии границ аустенита. Как установлено в работе [8], с повышением температуры аустенитизации увеличивается количество специальных границ, что приводит к снижению общей энергии границ. С уменьшением общей энергии границ увеличивается устойчивость аустенита и повышается его дисперсность при охлаждении.

Специальная граница – граница совпадающих узлов ($\Sigma 3$, $\Sigma 7$ и т.д.). Чем меньше величина Σ , тем больше узлов совпадения и меньше энергия границы. Мак Лин на примере высокочистой меди показал, что энергия границ частичного совпадения в 1,2...1,6 раз меньше энергии случайных границ по сравнению с поверхностной энергией плоскости {100} [9].

Таким образом, повышение температуры аустенитизации стали приводит к увеличению зерна и формированию большего количества специальных границ, что при прочих равных условиях приводит к повышению устойчивости аустенита и, следовательно, дисперсности перлита.

Наиболее наглядно влияние температуры аустенитизации на повышение устойчивости аустенита можно оценить по термокинетическим диаграммам [10]. На рисунке 1 приведены термокинетические диаграммы одной и той же стали 45 (0,44 % C), которые построены после аустенитизации при температурах 880 и 1050 °C. Из сравнительного анализа диаграмм следует, что устойчивость аустенита с повышением температуры аустенитизации увеличивается.

Одним из факторов, влияющих на дисперсность перлита является выделение избыточных фаз, в частности, – феррита.

Изменение объемной доли структурно-свободного феррита и межпластиночного расстояния в перлите стали 35 после охлаждения в соли с температур 900 и 1300 °C приведено на рис. 2 [11].

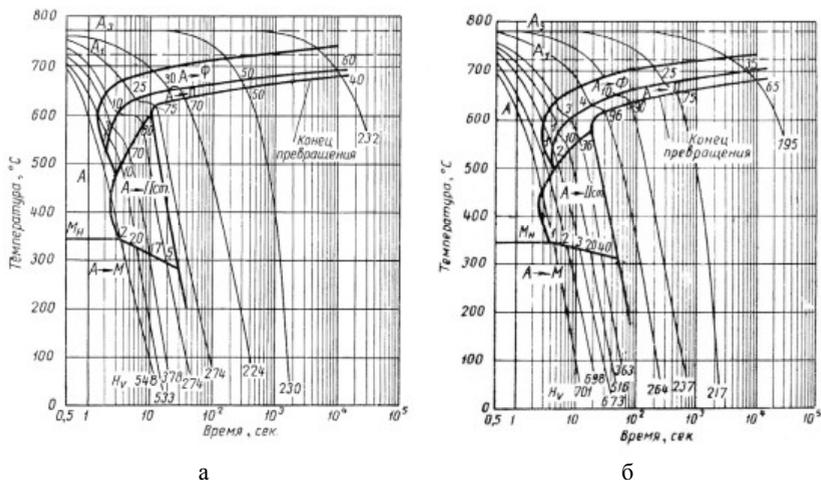


Рис. 1. Термокинетические диаграммы стали 45, построенные от температуры аустенизации 880 (а) и 1050 °С (б)

Увеличение интервала между температурами аустенизации и изотермического распада обуславливает повышение средней скорости охлаждения, в результате чего в стали, охлажденной с температуры 1300 °С, повышалась степень термического наклепа, влияющая на формирование в аустените большей плотности дислокаций одного знака. Методом торцевой закалки было показано, что средний диаметр аустенитного зерна составляет 0,40 и 0,01 мм при температурах нагрева 1300 и 900 °С соответственно. Поэтому, при анализе полученных результатов следует учитывать, что картина структурных превращений в стали 35 усложняется присутствием значительных количеств структурно-свободного феррита (рис. 2) и существенным изменением размера действительного зерна.

Как следует из рис. 2 при температуре распада 670 °С дисперсность перлита крупнозернистой стали (КЗС) выше, чем мелкозернистой (МЗС). Закалочным методом было показано, что за время, необходимое для полного выравнивания температуры образца по сечению, перлитное превращение переохлажденного аустенита не происходит как в МЗС, так и КЗС. Известно, что скорость разупрочнения в МЗС значительно выше, чем в КЗС [12], поэтому при изотермической выдержке в первом случае быстрее происходит релаксация напряжений, вызванных фазовым и термическим наклепом. В результате этого дисперсность перлита КЗС, где скорость аннигиляции дислокаций по сравнению с МЗС меньше, повышается.

При температурах 590 и 630 °С перлитное превращение переохлажденного аустенита в МЗС начинается в период достижения образцом температуры изотермической среды, т.е. фактически превращение происходит при непрерывном охлаждении.

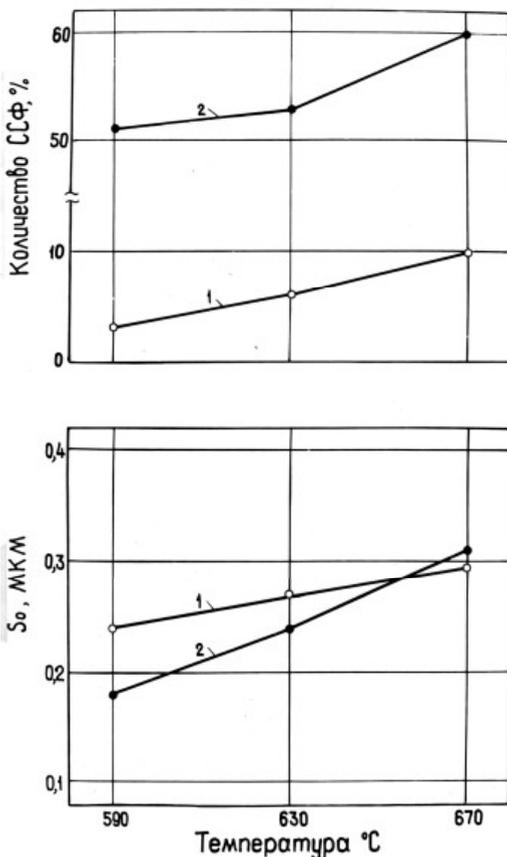


Рис. 2. Зависимость объемной доли структурно-свободного феррита и межпластиночного расстояния в перлите от температуры аустенизации (1 – 1300; 2 – 900 °С) и изотермической выдержки при температурах 670, 630 и 590 °С

Фазовый наклеп при непрерывном охлаждении мелкозернистой стали 35 оказывает существенное влияние на дисперсность перлита. Превалирующим влиянием этого фактора и объясняется более низкие значения межпластиночного расстояния в перлите МЗС при температурах ниже 670 °С.

Выводы

1. Установлено, что на дисперсность перлита углеродистой стали влияют температура аустенизации, скорость охлаждения при 720 °С и выделение избыточных фаз.

2. В углеродистых сталях дисперсность перлита зависит от зернограницной энергии. Повышение температуры аустенизации приводит к

увеличению аустенитного зерна и формированию большого количества специальных границ, вследствие чего энергия границ понижается, а дисперсность перлита повышается.

3. В доэвтектоидной стали 45 обнаружена зависимость дисперсности перлита от скорости достижения температуры изотермического превращения аустенита (скорости термопластической деформации под воздействием температурных напряжений и фазового наклепа). Показано, что в крупнозернистой стали при изотерме 670 °С образуется более дисперсный перлит, чем в мелкозернистой стали, а при изотермах 630 и 590 °С более дисперсный перлит формируется в мелкозернистой стали.

Список использованных источников

1. Парусов В. В. Морфологические особенности перлита при превращениях гомогенного аустенита / В. В. Парусов // Сб. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Днепропетровск: Визюн. – 1998. – Вып.2. – С. 355-364.
2. Гудремон Э. Специальные стали. Т. 2 / Э. Гудремон. – М.: Металлургия, 1966. – 540 с.
3. Меськин В.С. Основы легирования стали / В. С. Меськин – М.: Металлургия, 1964. – 684 с.
4. Парусов В. В. Исследование кинетики превращений аустенита, разработка методов регулирования и контроля качества при термическом упрочнении стали с прокатного нагрева: дис. ...кандидата тех.наук / В. В. Парусов – Днепропетровск, 1969. – 241 с.
5. Френч Г. Закалка стали / Г. Френч. – М.: Гонти, 1933.
6. Кондратьев Г. М. Регулярны тепловой режим / Г. М. Кондратьев – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 408 с.
7. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, Сукомел, А. С. – Энергия. – 1965. – 488 с.
8. Влияние режимов термомеханической обработки на формирование специальных границ в катанке из низкоуглеродистой стали / В. В. Парусов, Г. Д. Сухомлин, Л. В. Сагура, Э. В. Парусов, А. И. Сивак // Строительство, материаловедение, машиностроение : Сб. научн. тр. – Днепропетровск: ПГАСА, 2012. - Вып. 64. – С. 238 - 242.
9. Горелик С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С. С. Горелик. – М.: Металлургиздат, 1967. – 432 с.
10. Попов А. А. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита / А. А. Попов, А. Е. Попова. – М.: Машгиз, 1961. – 430 с.
11. Олейник В. А. Повышение комплекса механических и технологических свойств проката путем температурно-деформационной обработки: дис. ...кандидата тех.наук / В. А. Олейник – Днепропетровск, 1986. – 178 с.
12. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка стали / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.