

## ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПЕРЛИТА НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ

**В. И. Большаков\***, д. т. н., проф., **В. И. Сухомлин\***, к. т. н., доц.,  
**В. И. Волох\*\***, инж.

\* ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры»

\*\* ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Е. Дзержинского»

**Введение.** Наиболее широко используется в машиностроении и промышленности сталь У8, которая является высококачественной углеродистой сталью и применяется для изготовления инструмента и простых штампов.

Структура изделий из инструментальных углеродистых сталей определяет их потребительские качества, что представляет практический интерес в установлении зависимостей между температурой распада аустенита и магнитными характеристиками, которые можно положить в основу построения того или иного магнитного метода контроля структуры по величине коэрцитивной силы [1].

Цель настоящей работы - показать зависимость магнитных свойств ( коэрцитивной силы Нс) от степени дисперсности перлита на примере эвтектоидной стали У8.

**Материал и методика исследований.** Из стали У8 изготовлены образцы размером 80 x 30 x 8 мм, вырезанные вдоль прокатки из круглого сортового проката.

Нумерация образцов выполнялась по следующей схеме: образец № 0 без нагрева - образец свидетель; образец № 1; образец № 2; образец № 3.

Схема нагрева следующая: образцы №1, 2, 3 нагреваются в печи до 800°С и выдерживаются в печи 20 минут, затем образец № 1 охлаждался на воздухе; образец №2 охлаждался под струей сжатого воздуха; образец №3 охлаждался с печью до комнатной температуры. Коэрцитивная сила определялась полуавтоматическим коэрцитиметром КРМ-Ц в центральной части образца. Измерение твердости образцов выполнено динамическим твердомером. Для проведения исследования структуры на автоматическом анализаторе структур IA 32 выполнен отбор металла размером 20 x 20 x 8 мм из средней части образца как вдоль, так и поперек направления прокатки.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Основное превращение, протекающее во время охлаждения стали У8 - эвтектоидный распад аустенита на смесь феррита с цементитом. Химический состав стали приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали У8

Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
У8	0,77	0,27	0,22	0,007	0,009	0,09	0,08	0,12	0,014

Чтобы начался распад аустенита, необходимо его переохладить ниже 700 °С. Устойчивость переохлажденного аустенита характеризуется инкубационным периодом, т.е. отрезком времени, после которого фиксируют первые признаки появления продуктов распада.

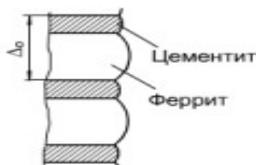


Рис. 1. Схема феррито-цементитной структуры

Эвтектоидная смесь феррита с цементитом формируется в виде отдельных колоний. Важнейшей характеристикой эвтектоида является дисперсность феррита и цементита внутри его колоний. Мерой этой дисперсности служит межпластинчатое расстояние  $\Delta_0$  (рис. 1)[1].

На рис. 2 показана общая схема превращения аустенита в стали У8 при охлаждении с различными скоростями. Так, при охлаждении вместе с печью, аустенит превращается в пластинчатый перлит. Причем это превращение происходит почти при постоянной температуре (ниже 700°С).

При охлаждении на воздухе и под струей сжатого воздуха аустенит превращается в структуру, которая носит название сорбит, с небольшой разницей в твердости и межпластинчатым расстоянием.

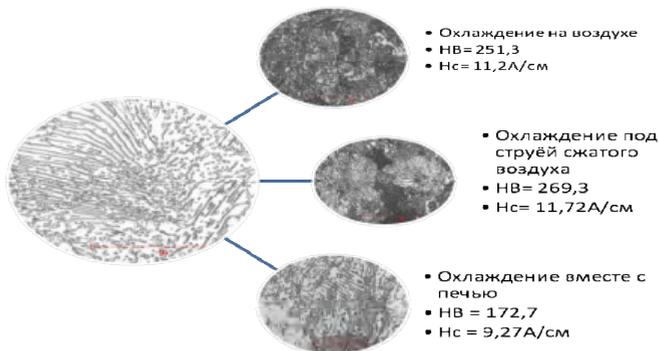
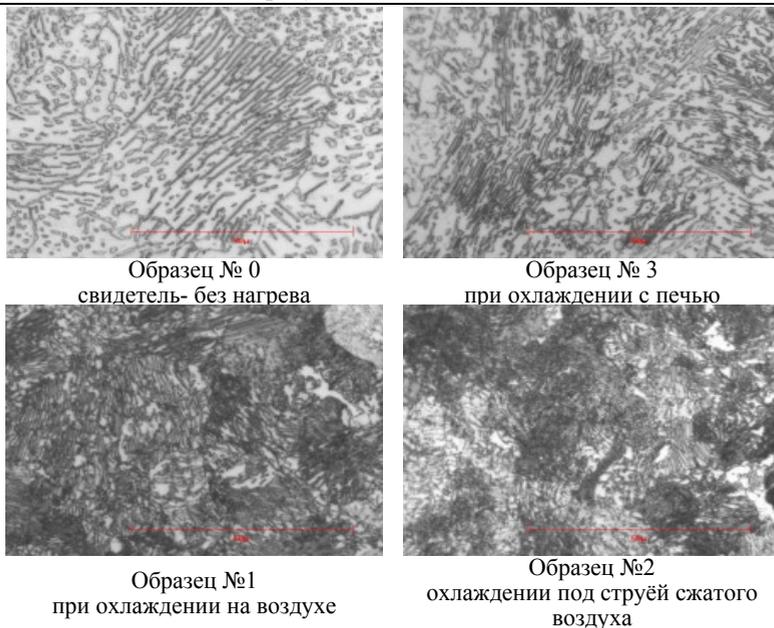


Рис. 2. Общая схема структурных превращений стали У8 при различных видах охлаждения

В зависимости от дисперсности пластин в эвтектоиде его называют перлитом, сорбитом или трооститом.

**Образец № 0** без нагрева- характерен повышенным межпластинчатым расстоянием с широкими цементитными пластинами с присутствием зернистого и пластинчатого перлита в соотношении 65\35 соответственно. Величина коэрцитивной силы составляет 7,75А/см.



**Рис. 3.** Металлографические снимки межпластинчатого расстояния образцов вдоль длины образцов

**Образец №3.** При охлаждении с печью, с небольшой скоростью несколько градусов в минуту, образуется четко дифференцированная ферритно-цементитная смесь – перлит (рис. 3). При данном охлаждении коэрцитивная сила составляет  $H_c=9,27$  А/см, твердость в диапазоне 162-181 НВ, среднее межпластинчатое расстояние составляет 0,99 мкм.

При полном отжиге эвтектоидная сталь после нагрева выше критической точки, медленно охлаждается вместе с печью. Охлаждение при отжиге проводят с такой малой скоростью (порядка несколько градусов в минуту), чтобы превращение аустенита при отжиге полностью завершилось.

**Образец № 1.** Степени переохлаждения, при охлаждении на воздухе, приводит к более дисперсной структуре - сорбит. Такая обработка металла называется нормализация. Поэтому при нормализации получается более тонкое строение эвтектоида. После нормализации сталь должна иметь большую прочность, чем после отжига. При данном охлаждении коэрцитивная сила составляет  $H_c=11,2$  А/см, твердость в диапазоне 234-266 НВ, среднее межпластинчатое расстояние составляет 0,82 мкм

**Образец №2.** При еще большем переохлаждении аустенита, под струей сжатого воздуха, не удалось достичь формирования структуры троостит, но образовалась более дисперсная смесь феррита и цементита. Поэтому пределы прочности, твердость и коэрцитивная сила увеличились. При таком ускоренном охлаждении коэрцитивная сила составляет  $H_c=11,72$  А/см, твердость на-

ходится в диапазоне 255-288 НВ, среднее межпластинчатое расстояние составляет 0,762 мкм.

Таблица 2

Величина коэрцитивной силы  $H_c$  и твердости на каждом из образцов.

№ образца	Коэрцитивная сила $H_c$ А/см сред. значение	Твердость НВ сред. значение
0	7,75	166,5
3	9,27	172,7
1	11,2	251,3
2	11,72	269,3

По результатам исследований построен график зависимости коэрцитивной силы от скорости охлаждения.

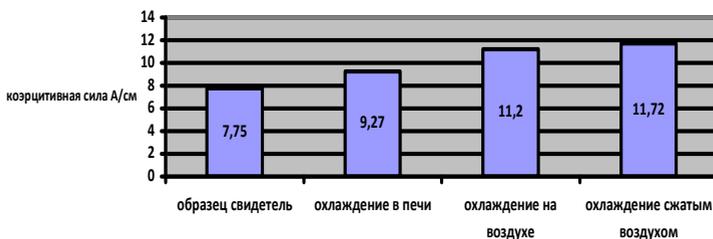


Рис.4. График зависимости величины коэрцитивной силы  $H_c$  от скорости охлаждения

При этом увеличение коэрцитивной силы связано с появлением наведенной анизотропии за счет определенного расположения цементитных прослоек в перлите, что будет повышать магнитную жесткость стали за счет закрепления доменных стенок на границах типа феррит-цементит - это позволяет контролировать качества технологической обработки (прокатка, отжиг) и оценку механических свойств (твердость, предел прочности).

Для изучения влияния значения межпластинчатого расстояния образцов на величину коэрцитивной силы выполнены металлографические шлифы как вдоль так и поперек продольной длины образца. Межпластинчатое расстояние определялось в зернах перлита, где пластинки цементита расположены перпендикулярно к плоскости шлифа.

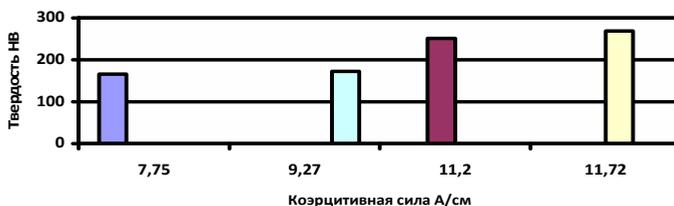


Рис. 5. Зависимость коэрцитивной силы от твердости образцов.

В соответствии с [3] в зависимости от степени дисперсности пластинчатый перлит подразделяется на 10 баллов. Определена характеристика перлита и его балл.

*Таблица 3*

*Результаты межпластинчатого расстояния на образцах  
как вдоль так и поперек длины образца*

<b>Условное обозначение измерений вдоль образца</b>	Межпластинчатое расстояние вдоль длины образца(сред), мкм	<b>Условное обозначение измерений поперёк образца</b>	Межпластинчатое расстояние поперек длины образца (сред), мкм	Коэффициентная сила Нс А/см ( сред.)
<b>0В</b>	1,8	<b>0П</b>	1,11	7,75
<b>3В</b>	0,99	<b>3П</b>	0,99	9,27
<b>1В</b>	0,82	<b>1П</b>	0,939	11,2
<b>2В</b>	0,762	<b>2П</b>	0,76	11,72

Анализ результатов характеристик перлита приведен в таблице 4, где с изменением скорости охлаждения изменяется дисперсность пластинчатого перлита и соответственно величина межпластинчатого расстояния и величина балла перлита.

*Таблица 4*

*Характеристика перлита вдоль и поперек длины образца*

<b>Образцы</b>	Балл	Характеристика перлита	Межпластинчатое расстояние вдоль длины образца (сред), мкм	<b>Образцы</b>	Балл	Характеристика перлита	Межпластинчатое расстояние поперек длины образца (сред), мкм
<b>0В</b>	8-9	Крупнопластинчатый	1,8	<b>0П</b>	8	Крупнопластинчатый	1,11
<b>3В</b>	6-7	Среднепластинчатый	0,99	<b>3П</b>	5-6	Мелкопластинчатый	0,99
<b>1В</b>	6	Среднепластинчатый	0,82	<b>1П</b>	7	Среднепластинчатый	0,939
<b>2В</b>	5	Мелкопластинчатый	0,762	<b>2П</b>	2	Скрытопластинчатый	0,76

По результатам измерения построен график зависимости коэрцитивной силы Нс от межпластинчатого расстояния в перлите эвтектоидной стали.

Как видно из рисунка 6, с уменьшением межпластинчатого расстояния уменьшается магнитная проницаемость, увеличивается дисперсность перлита и соответственно увеличивается коэрцитивная сила Нс.

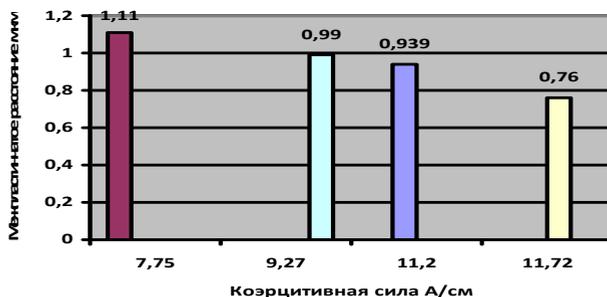


Рис. 6. Зависимость коэрцитивной силы от степени дисперсности перлита

**Выводы:**

1. В зависимости от характера внешних воздействий экспериментально установлено, что с увеличением степени переохлаждения уменьшается межпластинчатое расстояние феррито-цементитной смеси, увеличиваются магнитная жесткость и соответственно величина коэрцитивной силы  $H_c$ , уменьшение межпластинчатого расстояния от 0,81 мкм до 0,17 мкм приводит к увеличению коэрцитивной силы на 1,52...1,93 А/см соответственно.
2. Увеличение коэрцитивной силы происходит за счет затруднения движения магнитных доменов через цементитные пластины - с уменьшением ширины цементной пластины от 0,65 мкм до 0,32 мкм происходит увеличение коэрцитивной силы от 7,75 до 11,72 А/см за счет плотности расположения цементитных пластин.
3. Установлена корреляционная зависимость - сильная степень обратной линейной взаимосвязи между дисперсностью перлита и величиной коэрцитивной силы составляет - 0,916.
4. Появление наведенной анизотропии магнитного поля за счет определенного расположения и толщины цементитных прослоек - в образце свидетеле ОП составляет 0,65 мкм, а в образце 2В составляет уже 0,34 мкм. Такое повышение магнитной жесткости стали обусловлено закреплением доменных стенок на границах феррит-цементит, что привело к увеличению величины коэрцитивной силы на 3,97 А/см.

**Список использованных источников**

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8т./Под общ. ред. В.В.Клюева. Т.6 В 3 кн. Кн.1. В.В.Клюев, В.Ф. Мужикский, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. Магнитные методы контроля. -2е изд., испр.- М.: Машиностроение, 2006.-848с.: ил.
2. Металловедение и термическая обработка металлов. Лахтин Ю.М. Издательство «Металлургия», 1969, С.448
3. ГОСТ 8233-56 Сталь. ЭТАЛОНЫ МИКРОСТРУКТУРЫ 1957г.
4. Большаков В.И., Сухомлин В.И., Волох В.И., Влияние тонкой структуры на магнитные свойства холоднодеформированных низкоуглеродистых сталей// Строительство, материаловедение, машиностроение//Сб. научн.трудов. Вып.64,- Днепропетровск-, ГВУЗ «ПГАСА», 2012.-515с.
5. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л., Физические свойства металлов и сплавов. М. «Металлургия», 1980.320 с.
6. Сухомлин В.И., Волох В.И., Анализ стойкости магнитного состояния образцов от температурного влияния / Производственная лаборатория.-2011.-№5(38).- С.30-32.