

## 0,5 ± 0,1 %С – КРИТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В СТАЛИ

Шахназаров К. Ю., Шахназаров А. Ю.

СПбГПУ, "Трек – авто", Санкт-Петербург, Россия  
[dccanat@ftim.spbstu.ru](mailto:dccanat@ftim.spbstu.ru)

В 1916 году Д. К. Чернов опубликовал на одном рисунке свою, с единственной значимой точкой 0,5 %С, и современную диаграммы Fe–C; на последней точки В ("конец" перитектики) и О ("конец" существования твердого раствора на основе β-Fe) находились при ~ 0,35 % С. На официальных диаграммах Германии, США и СССР 1948 - 49 г.г. точки В и О расположены уже при 0,5 % С. У доэвтектоидных сталей левее и правее точек В и О разная "генеалогия". У первых: расплав, δ-, γ-, β- и α-фазы, эвтектоид, у вторых: расплав, γ- и α-фазы, эвтектоид. Известно, что эвтектическая концентрация ощущается и в перегретых на ~ 500°C расплавах силиуминов. Поэтому разная «генеалогия» может сказаться на структуре и свойствах сталей, содержащих больше и меньше 0,5 ± 0,1% С. Перечислим некоторые хорошо и малоизвестные эффекты.

В 1902 г. Бенедикс ввел термин "ферронит" для α - твердого раствора сталей с % С > 0,5. Термин не привился, но наблюдавшиеся Бенедиксом эффекты не исчезли. Кестер в 1929 г. заметил, что способность к закалочному дисперсионному твердению почти полностью исчезает при %С > 0,6, как и к изменению коэрцитивной силы после отпуска при 250° С.

Обергоффер (1915 г.) и Гудремон (до 1956 г.) показали – без комментариев – абсолютный максимум  $\sigma_T$  у отожженных сталей с ~ 0,55 % С, хотя структура примерно на треть состоит из "мягкого" феррита. Бурнс и Пиккеринг в 1964 г. установили, что максимуму  $\sigma_T$  отвечает максимум  $\psi$  при 0,6 % С; при %С > 0,6 приходится определять  $\sigma_{0,2}$ , а не  $\sigma_T$ . Твердость мартенсита не растет или почти не растет при % С > 0,6, хотя статические искажения должны увеличиваться, пусть и с меньшим темпом, как и число необездоленных атомами углерода элементарных ячеек. Твердость закаленных и отожженных сталей качественно меняется одинаково, несмотря на принципиальную разницу в структуре. Ставшие хрестоматийными кривые изменения магнитных свойств (коэрцитивная сила, максимальная и остаточная индукция, проницаемость, намагниченность насыщения) и электросопротивления немонотонны, имея перегибы при ~ 0,5 % С как после отжига, так и закалки. Как и положено, электросопротивление наклепанных сталей с 0,1, 0,51 и 0,76 %С максимально у последней, а термо-электродвижущая сила (пары отожженный – наклепанный образцы) – у второй. У сталей с 0,15, 0,45 и 0,8 % С ширина рентгеновской линий (211) тем больше, чем выше %С и степень наклепа, но ширина линии (110), которую связывают с вкладом областей когерентного рассеяния, одинакова. У стали с 0,54 % С максимальный темп изменения длины во время нагрева в интервале 0 – 100° и минимальный в интервале 200 – 280° среди всех других закаленных сталей с 0,44, 0,71, 0,84, 1,09 и 1,19 % С (В.К.Белоус и др.). "Видманштеттова структура присутствует в доэвтектоидных сталях с 0,05 – 0,5% С" (Р. П. Тодоров, Х. Г. Христов, 2004 г.). Максимальный абсолютный прирост предела прочности в результате динамического деформационного старения во время растяжения при 200 – 300° нормализованных сталей с 0,1, 0,45, и 0,8 % С составляет 150, 130 и 150 Мн/м, а убыль относительного сужения 17, 21 и 15 % соответственно. При 175° на

температурных зависимостях длины площадки текучести (на кривых растяжения) у сталей с 0,1 и 0,8 % С наблюдаются минимумы, а у сталей с 0,45 % С – максимум, что свидетельствует о специфике динамического деформационного старения примерно на половину ферритной структуры. На зависимостях тангенса угла наклона амплитудно-зависимого участка внутреннего трения к оси амплитуд от температуры (20–700°) после предварительной деформации (8 %) у сталей с 0,1 и 0,8 % С два минимума, а у сталей с 0,4 % С – четыре. Уменьшение тангенса можно рассматривать, как следствие снижения общей плотности дислокаций и увеличения, “благодаря этому, концентрации точек закрепления дислокационных линий”. Эффект динамического деформационного старения “сначала увеличивается с повышением % С до 0,45 % С, а затем уменьшается” (В. К. Бабич и др.). Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский и Р. И. Энтин в справочнике “Металловедение и термическая обработка стали” (1983 г.) ввели параграф “Кристаллическая структура закаленной стали с 0,6 % С”, отсутствовавший в монографии “Превращения в железе и стали” (1977 г.). Те же авторы отмечают: “При закалке сталей с <0,6 % С частичный отпуск мартенсита происходит уже во время самого закалочного охлаждения ... что приводит к слиянию дублетов тетрагональной решетки...и, следовательно, к невозможности определения тетрагональности мартенсита”. Тетрагональность низкоуглеродистых (<0,6 % С) сталей удалось измерить, понизив  $M_n$  за счет введения никеля. Вряд ли это корректно, поскольку никель сам по себе вызывает аномалии тетрагональности, кстати, наблюдающиеся и в безуглеродистых сплавах. Совер и Ли (1926 г.) исследовали “горячие” свойства нормализованных сталей, хотя твердость стали с 0,5 % С была ниже, чем с 0,3 % С. То же – у А. П. Гуляева и Л. М. Сармановой (1972 г.). Удельный объем отожженной стали с 0,65 % С больше, чем с 0,75 % С (Маурер, 1920 г.), а должно быть наоборот. При 0,5 % С находится точка пересечения кривых продолжения линии ES и равенства свободных энергий аустенита и феррита (Гудремон, до 1956 г.). Критическая скорость закалки и температура  $M_n$  резко снижаются до 0,5 % С, далее оставаясь практически неизменными. Манипуляции Велтера (1923 г.) с тремя сталями (0,1, 0,6 и 0,8 % С) ниже  $A_1$ , включая охлаждение в воде и на воздухе, показали более высокую прочность и меньшую пластичность второй стали. У отпущенных при 600° после закалки шести сталей (0,3 - 0,8 % С) максимумы  $\sigma_s$  и  $S_k$  (сопротивление разрушению) при 0,45 % С (Л. С. Мороз, 1958 г.). У этих сталей нет структурно свободного феррита, но эффект при 0,5 % С такой же, как у отожженных сталей. “Вопрос о причинах высокой твердости мартенсита не решается только установлением роли статических локальных искажений решетки” (Л. С. Мороз). На кривой сжатия в результате низкого отпуска, построенной по данным Нолли и Вейрета, Ле Шателье, Дризена и Шевенара, два перегиба – при ~ 0,5 и 0,9 % С. “Особое” механическое поведение сталей с 0,5 % С резко проявляется при больших скоростях приложения нагрузки. Твердость по Шору при 220 - 750° у стали с 0,6 % С выше, чем с 0,8 % С (Тамара, 1926 г.). Отношение удлинения при динамическом растяжении к удлинению при статическом у сталей с 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 и 0,9 % С составляет 0,86, 0,96, 1,02, 1,04 и 0,94 соответственно, что свидетельствует о минимальной чувствительности третьей стали к скорости нагружения (Хонда, 1927 г.).

Перечисленные изменения свойств не зависят от состояния сталей, т.к. наблюдаются после отжига, нормализации, закалки, отпуска, наклепа, во время “горячих” испытаний.