

О КРИТИЧЕСКИХ ТОЧКАХ СТАЛИ

И. В. СЛОСМАН

(Представлено профессором доктором А. Н. Добровидовым)

Введение

Термическая обработка стали получает все большее распространение в нашей промышленности, так как она позволяет изменять свойства стали в очень широких пределах. Хотя практика такой обработки и известна много веков, научное объяснение происходящих при этом процессов стало возможным лишь в результате открытия критических точек стали.

Это открытие было сделано 90 лет тому назад нашим выдающимся соотечественником Дмитрием Константиновичем Черновым.

Критические точки стали, открытые Д. К. Черновым

В 1866 году для улучшения качества стальных орудий на Обуховский завод в Петербурге был приглашен инженер-технолог Д. К. Чернов. После двух лет напряженного труда он не только успешно разрешил поставленную перед ним конкретную производственную задачу, но и сделал при этом открытие исключительного теоретического значения, о котором он доложил в 1868 году на заседании Русского Технического общества [1]. Эту дату—1868 год—по справедливости следует считать датой начала существования науки о закономерностях изменения структуры и свойств стали при ее нагревании и охлаждении, науки о термической обработке стали.

Д. К. Чернов начал решать поставленную перед ним задачу с того, что внимательно исследовал изломы стали в пушках, которые преждевременно выходили из строя, и в пушках, дававших большое количество выстрелов. Он установил при этом, что в первом случае излом имеет крупнокристаллический характер, во втором—мелкокристаллический. Продолжая наблюдения за нагревом, ковкой и охлаждением стальных болванок, Д. К. Чернов пришел к выводу, что существовавшее среди металлургов того времени мнение о зависимости характера излома лишь от степени деформации металла является ошибочным, что можно путем правильной тепловой обработки без всякой деформации получить в стальных изделиях чрезвычайно мелкозернистый излом и наилучшие механические свойства.

В своем докладе Д. К. Чернов указал, что при нагревании стали, когда она переходит через некоторые определенные температуры,

в ней происходят внутренние превращения, изменяющие структуру и свойства стали. Таких температур две. Д. К. Чернов назвал их „особенными точками“ a и b . Позднее их стали называть в его честь критическими точками Чернова.

Характеризуя значение критических точек a и b , Д. К. Чернов говорил:

„Значение точки a заключается в следующем: сталь, как бы тверда она ни была, будучи нагрета ниже точки a , не принимает закалки, как бы быстро ее ни охлаждали; напротив того, — она становится значительно мягче и легче обрабатывается пилой“.

„Значение точки b . Сталь, будучи нагрета ниже точки b , не изменяет своей структуры — медленно или быстро после того она охлаждается“.

Критические точки стали, открытые после Д. К. Чернова

Открытие критических точек a и b быстро привлекло к себе внимание металлургов всего мира. Оно указало путь другим ученым, посвятившим свои труды изучению превращений, которые происходят в стали при ее тепловой обработке.

Первым по этому пути пошел французский металлург Ф. Осмонд. Если, однако, Д. К. Чернову приходилось определять положение критических точек на глаз, по цвету раскаленной поверхности стального слитка, то Ф. Осмонд, производивший свои опыты в 80-х годах, уже имел возможность пользоваться термоэлектрическим пирометром Ле Шателье.

Применяя этот пирометр, Ф. Осмонд нашел, что сталь в твердом состоянии имеет три критических точки. Он предложил обозначать их как критические точки A_1 , A_2 и A_3 .

После опубликования работы Ф. Осмонда в Германии была найдена критическая точка A_4 , а еще несколько позднее в Японии — критическая точка A_6 [2]. Кроме перечисленных критических точек, в стали заэвтектоидного состава отмечают еще критическую точку $A_{см}$. Над установлением температурной зависимости $A_{см}$ от содержания углерода в стали работали исследователи разных стран, в том числе профессор Томского политехнического института Н. В. Гутковский [3].

О точке b Чернова

Мы уже приводили определения, которые дал точкам a и b сам Д. К. Чернов. Что касается точки a , то на ее природу Д. К. Чернов указал достаточно определенно и никаких споров в связи с этим в литературе не возникало.

Иначе сложилась судьба точки b . Ознакомление со всеми работами Д. К. Чернова, относящимися к этому вопросу, показывает, что на природу точки b Д. К. Чернов указал с меньшей определенностью. Это вызвало в металловедческой литературе дискуссию, которая началась еще при жизни Д. К. Чернова и продолжается до сих пор.

В связи с большой важностью точки b для теории и практики термической обработки стали представляется весьма интересным сопоставить некоторые соображения, высказанные относительно этой точки в самые последние годы, с тем, что о ней говорилось раньше.

Среди различных мнений о природе точки b чаще всего высказывалось и высказывается мнение о ее тождестве с точкою A_3 Осмонда. Определенную склонность к такому отождествлению проявлял и сам Д. К. Чернов, по крайней мере, в некоторых своих статьях

и докладах [4,5]. Однако и при жизни Д. К. Чернова и после его смерти о природе точки b высказывались и другие взгляды. В 1911—1916 гг. на страницах журнала Русского Металлургического Общества проходила дискуссия о природе точки b между двумя известными металловедами А. Л. Бабошиным и П. Я. Сальдау [6—9]. Дискуссия началась с появления в первом номере журнала за 1911 год статьи А. Л. Бабошина, в которой он выступил против общего мнения о тождественности точек b и A_3 .

А. Л. Бабошин опытным путем установил зависимость величины зерна перлита от температуры нагрева стали в аустенитной области. Оказалось, что на кривой, выражающей эту зависимость, имеется перелом: после достижения некоторой температуры (около 1000°) рост зерна ускоряется (фиг. 1). В связи с этими опытными данными А. Л. Бабошин писал, что точка b это не точка A_3 Осмонда, что она имеет самостоятельное значение, а именно—точка b является границей, начиная от которой рост зерна с повышением температуры ускоряется [6].

С возражениями против такого толкования точки b выступил П. Я. Сальдау, утверждавший, что точка b есть ни что иное, как точка A_3 Осмонда [7].

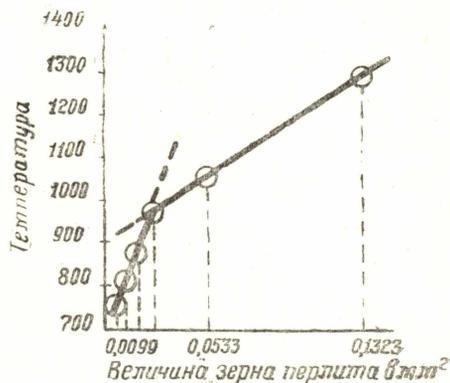
В ответ на эту дискуссию в ноябрьском номере журнала за 1916 год было напечатано письмо Д. К. Чернова редактору журнала М. А. Павлову. В своем письме Д. К. Чернов писал:

„Точка a мною определялась по появлению закалки, точка b —по превращению крупнокристаллической (физической) структуры в едва заметную мелкокристаллическую (по излому)“.

Высказав далее предположение, что точка b представляет собою температуру, при которой сталь во время нагревания переходит из кристаллического в аморфное состояние и проведя аналогию между процессом обратного перехода из аморфного в кристаллическое состояние и процессом кристаллизации из жидкой массы, Д. К. Чернов писал:

„Здесь считаю возможным установить некоторое условное примирение между точкою b Чернова и точкою A_3 Осмонда: если прямой переход (при нагревании) через точку b обозначить через $+b$, а обратный (при охлаждении) через $-b$, тогда $A_{c_3} = +b$; $A_{r_3} = -b$; $A_3 = b$.

Установив внешнее равенство между обоими обозначениями, останюлюсь на внутреннем их различии. Как известно, при термическом анализе обозначение критических точек на термометрической шкале может воспроизводиться саморегистрирующим пирометром автоматически, совершенно независимо от того, какой именно процесс происходит в испытуемом образце, лишь бы он был сопровождается термическими явлениями; существо же процесса контролируется путем химического, физического или механического исследования образца. В частном случае, структурные превращения, отвечающие первой и третьей волне диаграммы Осмонда, контролируются преимущественно, даже можно сказать почти исключительно металлографическим



Фиг. 1. Зависимость величины зерна перлита от температуры нагрева стали в аустенитной области.

путем. Этот последний дает непосредственные указания на степень однородности химического состава металлической массы образца, степень пестроты его, форму и характер распределения составных частей его (компонентов) в случае прошедшей сегрегации, одним словом, обнаруживает химическую структуру металла.

Необходимо несколько остановиться на различии между химической и физической структурой какой-либо кристаллической массы сложного состава. И далее, в том же письме: „... превращения химической структуры железоуглеродистых сплавов, происходящие в них сегрегация, диффузия могут совершаться при полном сохранении кристаллической (физической) структуры металлической массы. Отсюда следует, что рисунок вытравленного шлифа, например, данного куска стали, не может служить показателем его физического строения. С другой стороны, вид излома стали, показывая непосредственно более или менее развитое крупно-или мелкокристаллическое сложение ее, — не может служить показателем химической структуры. Здесь и выступает внутреннее различие между точками A_3 Осмонда и b Чернова: так как химическое превращение (сегрегация) совершается медленно и последовательно, то явление волны A_3 и ее смысл означает превращение, присущее точке b Чернова, а не A_3 Осмонда“.

Цитированное письмо позволяет сделать следующие выводы о взглядах его автора на природу точки b .

Автор письма определенно противопоставляет свою точку b точке A_3 Осмонда. Совершенно очевидно, что тот, кто после этого продолжает отождествлять точки b и A_3 , проявляет нежелание считаться в этом вопросе с мнением самого Д. К. Чернова.

Автор письма различает химическую и физическую природу стали.

Он указывает, что термический метод исследования, которым пользовался Ф. Осмонд, позволяет обнаружить структурные превращения, контролируемые металлографическим путем. Метод же изломов, пользуясь которым Д. К. Чернов нашел критическую точку b , дает возможность установить только изменения кристаллической (физической) структуры.

В своих докладах под общим названием „Афоризмы из области металлургии стали“ Д. К. Чернов также указывает, что „... процесс структурного превращения в точке b не связан с химическими превращениями между железом и углеродом, а представляет собою чисто физическое явление [5].

В чем же состоит это „чисто физическое явление“? Что вызывает изменение структуры стали по излому без изменения „химической структуры“ (без фазовых превращений)?

Недавно в литературе появились работы, которые дают ответ на эти вопросы. Мы имеем в виду статьи уральских металлургов [11, 12].

В этих статьях не только устанавливается различие между точками b и A_3 , но и дается новое толкование тому, что именно надо понимать под точкою b . Авторы сообщают, что за последние годы в УФАН выполнен ряд работ, в которых широко применялся метод сопоставления изломов стали, т. е. тот же метод исследования, которым пользовался Д. К. Чернов и который в связи с успехами микроскопической металлографии стал очень часто недооцениваться.

Авторы установили, что если сильно перегретую сталь с крупнокристаллическим изломом нагревать до различных температур, то исправление структуры (по излому) совершается не после перехода через температуру A_{c3} , а при более высокой температуре, которая и есть точка b Чернова. Мелкие зерна аустенита, образовавшиеся

непосредственно вслед за $\alpha \rightarrow \gamma$ превращением, в некотором интервале температур, лежащих выше A_{c3} , сохраняют свою общую ориентировку (текстуру) в пределах отдельных крупных зерен исходной структуры. Лишь нагрев до более высокой температуры (до точки b) вызывает устранение внутризеренной текстуры и переход к мелкокристаллическому излому. Этот переход является чисто физическим процессом — процессом рекристаллизации мелких зерен аустенита, которые приобретают наклеп в связи с объемными изменениями, сопровождающими $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение.

Материалы, полученные уральскими металловедами, действительно позволили им по-новому истолковать значение точки b . При этом новом толковании сохраняется справедливость тех определений точки b , которые давал сам Д. К. Чернов в „афоризмах“ и „письме“ (если исключить его предположение об аморфном состоянии стали выше точки b).

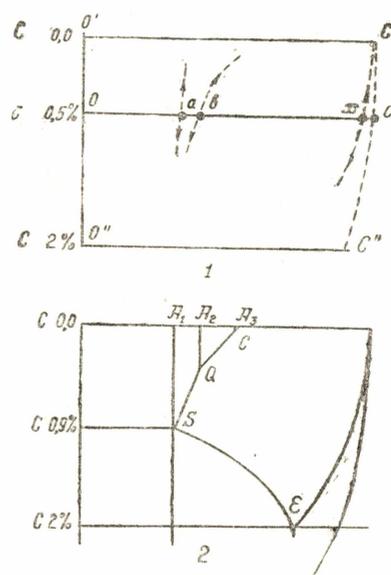
Значение, придаваемое авторами точке b , оставляет работникам металлургической науки возможность дальнейшего изучения вопросов о влиянии на положение этой точки содержания в стали углерода и других элементов, скорости нагрева и, возможно, еще некоторых факторов, от которых зависит температура рекристаллизации наклепанных зерен аустенита.

Работы уральских металлургов являются безусловно очень интересным исследованием природы точки b . Однако окончательно вопрос о природе этой точки будет разрешен, вероятно, лишь тогда, когда исследователям удастся, одновременно с производством других измерений, получить и внешние признаки перехода стали через точку b , которые наблюдал Д. К. Чернов: сморщивание поверхности охлаждающейся болванки и превращение этой поверхности из блестящей, мраморовидной в тусклую, гипсовидную [13].

Заключение

Изучение критических точек стали, начатое Д. К. Черновым 90 лет тому назад, привело, в конечном счете, к разработке диаграммы состояний системы железо—углерод. Ею ежедневно пользуются самые широкие круги работников научной и практической металлургии. Современный вид этой диаграммы получен в результате многочисленных исследований ученых разных стран. Но достаточно сравнить зависимости, установленные Д. К. Черновым, со „стальным“ участком диаграммы и мы убеждаемся, что Д. К. Чернов сказал о стали все самое важное. Сделав такое сравнение в уже упоминавшемся письме редактору ЖРМО (фиг. 2), Д. К. Чернов имел все основания писать:

„По существу никакой разницы нет; в частности прибавились две линии: путь критической точки A_2 Осмонда и гипотетическая линия выделения цементита (сверхэвтектоидного)“.



Фиг. 2. Критические точки Чернова [1] и „стальной“ участок диаграммы состояний системы „железо-углерод“.

Металловеды всего мира с глубокой благодарностью вспоминают и еще долго будут вспоминать имя нашего великого металлурга Дмитрия Константиновича Чернова, которому они обязаны знанием основных закономерностей, имеющих место при тепловой обработке самого важного промышленного сплава—стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. К. Чернов. Журнал Русского Металлургического Общества, 1, 1915.
2. Н. Т. Гудцов. Основы физической металлографии стали, 1939.
3. Н. В. Гutowский. Metallurgie, 22, 1909.
4. Д. К. Чернов. Сталелитейное дело. Сборник „Д. К. Чернов“, Машгиз. 1950.
5. Д. К. Чернов. О точке „б“ Чернова. Сборник „Д. К. Чернов и наука о металлах“, Металлургиздат, 1950.
6. А. Л. Бабoшин. Журнал Русского Металлург. общества, 2, 1911.
7. П. Я. Сальдау. Журнал Русского Металлург. общества, 5, 1915.
8. А. Л. Бабoшин. Журнал Русского Металлург. общества, 1—2, 1916.
9. П. Я. Сальдау. Журнал Русского Металлург. общества, 1—2, 1916.
10. Д. К. Чернов. Журнал Русского Металлург. общества, 3—4, 1916.
11. Л. В. Смирнов и В. Д. Садовский. Труды ин-та физики металлов УФАИ, 18, 1956.
12. В. Д. Садовский, К. А. Малышев и Б. Г. Сазонов. Известия АН СССР, Отделение техн. наук, 1, 1953.
13. А. А. Байков. „Сталь“, 10—11, 1939.