

Rudjuk M.Ju.*candidate of technical science, assistant professor***Gerasimova A.V.***student***Dasaeva Z.R.***student**Penza State Technical University*

DIFFICULT QUESTIONS OF TEACHING METAL SCIENCE AT UNIVERSITIES

Рудюк М.Ю.*кандидат технических наук, доцент***Герасимова А.В.***студентка***Дасаева З.Р.***студентка**Пензенский Государственный Технологический Университет*

БЕЛЫЕ ПЯТНА ПРЕПОДАВАНИЯ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ В ВУЗАХ

Summary. There is a certain range of metal science issues that are difficult to learn when studying this academic discipline. This, for example, is the difference between the two options for heat treatment of high-speed steel, annealing of white cast iron to pearlite and ductile malleable cast iron, the mechanism of martensitic transformation in titanium, etc. Even textbooks often do not reveal these issues in sufficient quantities. This article provides an overview of such white spots and answers to the corresponding typical questions.

Аннотация. Есть определенный круг вопросов металловедения, которые сложно усваиваются при изучении этой учебной дисциплины. Это, например, различие двух вариантов термообработки быстрорежущей стали, отжиг белого чугуна на перлитный и ферритный ковкий чугун, механизм мартенситного превращения в титане и др. Даже учебники зачастую не раскрывают указанные вопросы в достаточном объеме. В данной статье приведен обзор подобных белых пятен и даны ответы на соответствующие типичные вопросы.

Key words: *malleable cast iron, white cast iron, metal science, carbon steel, tempering, thermomechanical treatment*

Ключевые слова: *ковкий чугун, белый чугун, металловедение, углеродистая сталь, отпуск, термомеханическая обработка*

Постановка проблемы. Известно, что дисциплина «Металловедение» для студентов средних и высших учебных заведений является достаточно сложной, поскольку содержит большой объем эмпирической информации и требует хорошего уровня предварительной подготовки по химии и физике. Это притом, что по уровню сложности лекционный материал и научные работы заметно отличаются.

Проблемой является то, что есть ряд вопросов теоретического и практического характера, которым в ходе проведения лекций и даже в учебниках традиционно уделяется недостаточно внимания, что препятствует формированию у студентов систематических и целостных знаний.

Методы исследования. В исследовании использовались такие методы, как наблюдение, обобщение и исследование литературных источников.

Основная часть. *Множественный отпуск закаленной быстрорежущей стали.* Как известно, температура нагрева быстрорежущих сталей под закалку высока (вплоть до 1300 °С), что вызвано

необходимостью растворения тугоплавких карбидов. Интересно, что время выдержки при этой температуре строго лимитировано примерно четвертью часа для того, чтобы не произошло полное растворение карбидов и последующее увеличение зерна стали [4]. Возникает вопрос о важности именно многократного отпуска.

В ходе первого отпуска мартенсит закалки переходит в мартенсит отпуска. При этом из остаточного аустенита выделяются карбиды легирующих элементов. Это соответствует снижению содержания углерода, что вызывает подъем точки окончания мартенситного превращения. Поэтому в процессе охлаждения часть остаточного аустенита превращается в мартенсит закалки. В случае более медленного охлаждения происходит превращение остаточного аустенита в бейнит [8] или феррито-карбидную структуру [5] – диффузионное превращение.

В ходе второго, третьего отпуска данная последовательность процессов повторяется, хотя уже в меньшем масштабе. Каждый дополнительный отпуск снижает первоначальное

количество остаточного аустенита (примерно 20%) в 3-5 раз.

Таким образом, существенное снижение количества остаточного аустенита может происходить только *при циклическом повторении нагрева и охлаждения*.

Два варианта термообработки быстрорежущей стали. Данный процесс должен обеспечить высокую твердость и теплостойкость быстрорежущей стали, что связано с необходимостью избавления от остаточного аустенита. Известно, что для выполнения этой задачи после закалки можно проводить либо обработку холодом и однократный отпуск, либо, по второму варианту, многократный отпуск. Типичный вопрос студентов заключается в том, равноценны ли два варианта термообработки и приводят ли они к одному результату.

Значительная часть ответа на этот вопрос содержится в пункте о многократном отпуске быстрорежущей стали (см. выше). Отличие результатов обработки холодом от многократного отпуска в том, что она приводит к *более полному и непосредственному превращению остаточного аустенита в мартенсит*, причем в мартенсит закалки (в случае многократного отпуска мы получаем мартенсит отпуска).

Форма включений цементита в сталях перлитного класса. В ходе прохождения лекционного курса студенты узнают, что в сталях может быть как пластинчатый, так и зернистый перлит и что последний можно получить в ходе сфероидизирующего отжига. Возникает закономерный вопрос о факторах, влияющих на форму включений карбидов железа, а также механизмах ее трансформации.

В одной из монографий [6] описываются причины сфероидизации и коагуляции цементитных включений при нагреве. Оказывается, *элементы поверхности с меньшим радиусом, частицы в т.ч., склонны более интенсивно растворяться*, а элементы поверхности с большим радиусом – расти за счет первых. Это относится и к цементитным пластинам перлита, и к цементиту по границам зерен. В ходе нагрева стали цементитные пластинки утоняются, дробятся. Далее они могут раствориться, а могут и стать зародышами глобулярных карбидов, которые растут в ферритной матрице. Предпочтительными центрами начала сфероидизации и коагуляции являются края цементитных пластин. Изменение пластинчатой формы частиц на более стабильную глобулярную (зернистую), уменьшение поверхности межфазных границ при укрупнении частиц сопровождается снижением свободной энергии системы [5].

Применение термомеханической обработки. Как правило, студенты не акцентируют внимание на способы осуществления и область применения термомеханической обработки, которая в этом отношении сильно отличается от традиционной термической обработки. Действительно, если

коленчатый вал можно подвергнуть термическому улучшению, то термомеханическая обработка для него применяться не может.

Возникает закономерный вопрос о технологии применения термомеханической обработки, а также о том, почему в ходе осуществления этого вида обработки возможны столь значительные степени деформации (несколько десятков процентов).

Из теории известно, что *высокую пластичность металл способен проявлять, в частности, при всестороннем сжатии*, и это, действительно, имеет прямое отношение к технологии термомеханической обработки, поскольку ее проводят *на металлургических предприятиях непосредственно после прокатного нагрева* [3].

Соответственно, термическая обработка в данном случае совершается за счет тепла, которое содержится в металле при выходе из валков. Ускоренный характер охлаждения осуществляется, как правило, с помощью подачи на поверхность металла с помощью форсунок диспергированной воды (в виде струй или брызг). Отмечается [3], что термоупрочнение проката как в потоке, так и с отдельного нагрева позволяет повысить его механические свойства без дополнительного легирования и является весьма прогрессивным технологическим приемом.

Отжиг белого чугуна на перлитный и ферритный ковкий чугун. Закономерности данной технологической операции часто вызывают вопросы у обучающихся. Также озвучивался несколько неожиданный вопрос относительно того, почему подобной графитизации не происходит при термообработке перлитной стали.

Изучая диаграмму состояния железо-цементит, студенты узнают, что цементит при определенных условиях склонен распадаться на аустенит и графит, так что в целом физико-химические основы этого процесса вопросов не вызывают.

Если обратиться к учебнику [1], то процесс отжига на ковкий чугун традиционно изображают в виде двух графиков, соответствующих получению перлитного и ферритного чугуна, в координатах «время-температура». Вначале производится выдержка при температуре 950-1000 °С, что соответствует первой стадии графитизации (распад эвтектического и избыточного вторичного цементита). Временная диаграмма получения ферритного ковкого чугуна отличается дополнительной выдержкой в области 720-740 °С. Также упоминается [1], что отжиг на перлитный чугун производится в окислительной среде, а на ферритный чугун – в атмосфере, препятствующей окислению. Влияние характера атмосферы на результат также непонятно.

В специальной литературе [2] говорится о том, что ковкий чугун делится на два вида (табл. 1).

ВИДЫ КОВКОГО ЧУГУНА ПО ХАРАКТЕРУ ОТЖИГА

Характеристика	Графитизированный	Обезуглероженный
Атмосфера при отжиге	Нейтральная	Окислительная, при температуре порядка 1000 °С углерод из поверхностных слоев и далее выгорает
Структура металлической матрицы	Ферритная, перлито-ферритная, перлитная	Ферритная (толщина стенки до 8 мм), перлито-ферритная (толщина стенки 12-14 мм)
Структура по сечению заготовки	Однородная	Неоднородная. На поверхности или даже по всему сечению включения графита отсутствуют
Механические свойства	По ГОСТ 1215-79	Не стандартизированы

Таким образом (см. табл. 1), применение обезуглероживающего отжига в целом уменьшает количество перлита. Интересно, что в ходе термообработки можно менять характер отжига с первоначально обезуглероживающего на графитизирующий.

Теперь к вопросу о распаде цементита перлита во время второй стадии графитизации. Ключевым фактором здесь является *низкая скорость охлаждения* (5-8 °С/час), что препятствует перлитному превращению и приводит к непосредственному переходу аустенита в феррит. Так почему же подобный режим охлаждения не приводит к графитизации в углеродистой стали? Причина – в *значительно большем содержании углерода в чугуне*, а известно, что графитизации как раз способствует повышенное содержание углерода, так же, как и некоторых других элементов (Si, Ni, Cu, S и т.д.).

Мартенситное превращение в титане при быстром охлаждении. Вопросы вызывают сущность и механизм данного процесса. В частности, студенты приводят сравнение с образованием мартенсита в углеродистых сталях из-за незавершенной диффузии углерода, после чего задаются вопросом о причинах подобного превращения в чистом металле.

Известно, что закалка определенных классов сталей, а, именно, аустенитных, способна обеспечить их высокую пластичность. Понимание причин этого явления не вызывает у студентов особых затруднений, но в отношении титана все несколько сложнее. В целом, ответ здесь достаточно прост. Перестройка кристаллической решетки из объемно-центрированной кубической в гексагональную плотноупакованную сама по себе занимает некоторое время. Далее, ГПУ-кристаллическая решетка часто является фактором *низкой скорости диффузии*, что хорошо известно на примере магния [1]. И, хотя термообработка сплавов титана не сопровождается необходимостью больших выдержек, что имеет место быть для сплавов магния, возможно, низкая скорость диффузии все-таки проявляется при образовании ГПУ-кристаллической решетки α -фазы, обуславливая мартенситный характер превращения при быстром охлаждении. При медленном охлаждении происходит образование и рост зародышей α -фазы, а при быстром охлаждении

реализуется бездиффузионный сдвиговый механизм мартенситного превращения [7].

Заключение. Хорошее усвоение информации, получаемой на аудиторных занятиях, в значительной степени зависит от того, насколько логично она подается, насколько быстро и непротиворечиво можно ее соотнести с уже имеющимися знаниями. Задача каждого лектора – качественно подготовить читаемый текст под эти требования. Материаловедение – наука почти исключительно эмпирическая, включающая в себя много описательной информации. При подготовке лекций необходимо из нее сформировать относительно небольшой целостный и сбалансированный кластер знаний. Авторы данной статьи надеются, что она будет полезным подспорьем при решении данной задачи.

Список литературы:

1. Арзамасов Б.Н. *Материаловедение: Учебник для вузов* / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
2. Васильев Е.А. *Отливки из ковкого чугуна. Производство, свойства, применение.* – М.: Машиностроение, 1975. – 240 с.
3. Грудев А.П. *Технология прокатного производства* / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин, М.И. Ханин. – М.: Металлургия, 1994. – 656 с.
4. Мельников А.Г. *Материаловедение: учебное пособие* / А.Г. Мельников, И.А. Хворова, Е.П. Чинков. – Томск: Томский политехнический университет, 2016.
5. Смирнов М.А. *Основы термической обработки стали: Учебное пособие* / М.А. Смирнов, В.М. Счастливцев, Л.Г. Журавлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 496 с.
6. Счастливцев В.М. *Перлит в углеродистых сталях* / В.М. Счастливцев, Д.А. Мирзаев, И.Л. Яковлева, К.Ю. Окишев, Т.И. Табатчикова, Ю.В. Хлебникова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 313 с.
7. Цвиккер У. *Титан и его сплавы.* – М.: Металлургия, 1979. – 512 с.
8. Циммерман Р. *Металлургия и материаловедение: справочное издание (перевод с немецкого)* / Р. Циммерман, К. Гюнтер. – М.: Металлургия, 1982. – 480 с.