

СФЕРОИДИЗИРУЮЩИЙ ОТЖИГ СТАЛИ ШХ-15

Н. Д. ТЮТЁВА

Отжиг стали ШХ-15 имеет целью дать материал, имеющий хорошую обрабатываемость при снятии стружки на металлорежущих станках. В результате отжига должна получиться сталь со структурой, благоприятной для последующей термической обработки готового подшипникового кольца.

Этим требованиям удовлетворяет структура мелкозернистого однородного перлита и сфероидизированных карбидов. Но структура не должна быть слишком дисперсной и это обстоятельство определяет твердость металла в пределах 183—207 по Бринелю.

Исследований по термической обработке стали типа ШХ 15 довольно много, но из них выделяются работы Раузина [1], Галикеева и Заболотского, Заболотского и Усватовой и некоторых других [2].

В нашей работе мы имели дело с образцами колец шариковых и роликовых подшипников.

Обычный термический режим при ковке колец диаметром от 55 до 80 мм таков: максимальный нагрев дляковки 1050°, температура окончанияковки 900°. Температураковки колеблется в пределах 150°. Иногда, несмотря на постоянный режимковки, кольца бракуются по окончательной твердости перед механической обработкой. Это объясняется различным характером охлаждения колец послековки. Охлаждение послековки зависит от многих причин. Иногда горячие кольца разбрасываются по полу цеха, иногда они складываются в штабеля; скорость их охлаждения различна зимой и летом. Исходная структура образцов, вырезанных из различных колец, отличается величиной пластинок перлитного цементита, характером карбидной сетки.

При отжиге в печах приходится считаться с распределением температур по сечению садки. На окончательную структуру колец влияет структура их послековки, укладка в отжигательных печах, режим нагрева и охлаждения.

По данным некоторых исследователей наилучшая обрабатываемость получается после отжига при 780°. Кольца, отожженные при иных температурах, плохо обрабатываются, и исправить плохую обрабатываемость на станках изменением режима резания невозможно.

О влиянии исходной структуры до отжига на механические свойства стали ШХ-15 говорит также и Раузин [1]. По его мнению, только оптимальная концентрация твердого раствора, обусловленная наличием в структуре однородного мелкого перлита, даст наилучшие во всех отношениях результаты. Он приводит таблицу, в которой связаны твердость и микроструктура стали (табл. 1).

По мнению Галикеева и Заболотского [2] брак колец по структуре можно устранить лишь дополнительной термической обработкой, а улучшение структуры отожженных поковок позволит сократить допуск на токарную обработку.

Таблица 1

Микроструктура	Твердость по Бринелю
Мелкопластинчатый перлит	321—302
Пластинчатый перлит	286—269
Точечный перлит	228—217
Мелкозернистый перлит	207—296
Зернистый перлит	187—179
Неоднородный крупнозернистый перлит	179—170

Раузин [1] подчеркивает влияние исходной структуры на конечный результат отжига.

На исходную структуру влияют как температуры начала и конца ковки, так и величина поковок. Чем больше поковка, тем грубее структура, а при отжиге, в интервале температур 770—800° с выдержкой 1,5 и 3 часа и скоростями охлаждения 10 и 20° в час, сфероидизируется только исходная структура мелкозернистого перлита, образующегося при ускоренном охлаждении.

При отжиге в тех же условиях крупнозернистой исходной структуры с толстой карбидной сеткой, полученной при замедленном охлаждении в штабеле мелких колец или в случае изделий большого размера, получается структура с сохранившимися участками пластинчатого перлита и карбидной сеткой. Участков пластинчатого перлита и сетки будет тем больше, чем грубее была исходная структура. По мере повышения температуры отжига и увеличения его длительности уменьшается количество пластинчатого перлита и коагулирует карбид сетки. После отжига при 830° с замедленным охлаждением вместо карбидной сетки получаются округлые карбиды и поле зернистого цементита. Если при 830° отжигать мелкопластинчатый перлит, то структура будет хуже, нежели при отжиге в промежутке 770—800°. Она будет более неоднородной. Неоднородность объясняется процессами, идущими при самом отжиге, а именно: растворением карбидов, диффузией и кристаллизацией. При нагреве в первую очередь растворяются наиболее мелкие карбидные зерна. Более крупные, не растворяясь полностью, явятся центрами для последующей кристаллизации и будут укрупняться при охлаждении. В результате получается большая неоднородность зернистой структуры, нежели при отжиге с более низких температур.

Выводы, к которым приходит Раузин, сводятся к следующему:

1. Чем грубее исходная структура, тем выше должна быть температура отжига.
2. При отжиге мелких структур необходима более низкая температура.
3. Мелкие исходные структуры можно получить при ускоренном охлаждении поковок.
4. Нельзя рекомендовать складывание изделий после ковки в штабеля.
5. Структура поковок определяется не температурой нагрева при ковке, а последующей скоростью охлаждения, и медленное охлаждение вреднее высокой температуры нагрева.

С выводом автора, что „структура поковок определяется не температурой нагрева при ковке—штамповке, а скоростью охлаждения после нее“, согласиться нельзя. На исходную структуру влияет безусловно и температура нагрева при ковке и скорость последующего охлаждения.

Нет сомнений, что при перегреве растет аустенитное зерно, а по границам аустенитных зерен как раз и выделяется вторичный карбид. И только в том случае, когда есть уверенность, что аустенитное зерно совершенно не изменилось, с автором можно согласиться. А это будет лишь в случаековки колец из одного прутка или из нескольких прутков вполне определенной плавки, которая испытана на чувствительность ее к перегреву.

Если после штамповки получается сетчатый цементит, который не коагулирует при отжиге, то можно произвести нормализацию поковок.

Перед нормализацией нагревают сталь до такой температуры, при которой все карбиды переходят в твердый раствор. При быстром охлаждении карбиды могут выделиться в виде разорванной сетки. При отжиге такие карбиды легко переходят в зернистые.

Вопрос о введении нормализации в качестве дополнительной термической операции вызывает самое различное отношение со стороны термистов.

На некоторых предприятиях нормализация проводится после отжига перед закалкой и занимает такое место в технологическом процессе: штамповка, отжиг, опиловка, нормализация.

Нормализацию рекомендуют проводить при температуре 880—900°, иногда дают более высокую температуру—925—950°. Выдержка при указанных температурах—около одного часа.

Фирма Тимкен дает такой режим термической обработки: нормализация послековки при 900—950°, отжиг при 780°. Твердость после отжига около 200 по Бринелю. Если требуется твердость после закалки выше $R_c = 66$, то рекомендуется дополнительная нормализация при 950—975° перед закалкой.

По мнению Раузина, нормализация влияет в общем неблагоприятно на свойства шарикоподшипниковой стали, делая ее склонной к закалочным трещинам. С другой стороны, нормализованные кольца имеют после закалки более высокую и равномерную твердость, хотя то же самое дают кольца с мелкозернистым перлитом. Замечено, что нормализованные кольца сильнее коробятся.

На основании литературных данных можно сделать некоторые более или менее определенные выводы. Наилучшая структура поковок—мелкопластинчатый перлит без карбидной сетки. Это бывает, если штамповка заканчивается при 850° и кольца после штамповки остывают достаточно быстро. После нормального отжига (при 770—790°) получается в этом случае однородный мелкозернистый перлит. Конечно, в этом случае нормализация не нужна.

Если послековки такая оптимальная структура не получена, то необходима нормализация, при правильном проведении которой последующий отжиг дает вполне благоприятную структуру.

Нормализованная сталь после закалки более тверда, хотя надо заметить, что твердость еще не определяет качества подшипника.

Грубая структура после нормализации улучшается слабо. Для улучшения грубой, с крупной карбидной сеткой структуры необходима нормализация с 950°. Если охлаждение во время нормализации было медленным, то нормализация будет вредна—образуется вновь сетка карбидов.

Повидимому, можно считать твердо установленным, что в результате нагрева до 900—920° растворяются глобулярные карбиды лишь в нормально отожженной стали с зернистым перлитом. Твердость такой стали по Бринелю 187—196.

Грубые глобулярные карбиды после нормализации при указанной температуре остаются.

Нормализация с замедленным охлаждением дает карбидную сетку. Это не так заметно при нагреве до 900° . При повышении температуры до 925° карбидная сетка делается ясно выраженной.

Как правило, дефекты перегретой при штамповке стали ослабляются после нормализации, но совсем не уничтожаются.

Опыты автора

Для металлографического исследования были отобраны на заводе кольца во время штамповки колец для роликовых подшипников диаметром 58 мм.

Из прутка с одного нагрева на горизонтальноковочной машине штампуются четыре кольца. Температура штамповки первого и четвертого кольца оказалась различной. Разница достигала 50 и более градусов. Поэтому шлифы изготовлялись из всех четырех колец.

После штамповки кольца охлаждаются в цехе в штабелях или поодиночке на полу цеха. Нами были исследованы и те, и другие. Резкой разницы в структурах первого и второго кольца, охлажденного в штабеле, и первого и последнего кольца, охлажденного по одному на полу, не было обнаружено. Но по структуре первое кольцо, охлажденное в штабеле, очень сильно отличается от последнего, охлажденного на полу цеха. Разница в структурах заключается в толщине карбидной сетки. В кольцах, замедленно охлажденных в штабелях с более высокой температуры, толщина карбидной сетки получается, естественно, больше.

Необходимо отметить, что величина аустенитного зерна была найдена одинаковой во всех этих случаях.

При травлении шлифа раствором азотной кислоты в этиловом спирте затруднительно определить характер сетки структурно свободных карбидов, особенно когда она тонка и разорвана. Поэтому для более четкого выявления сетки можно рекомендовать травление горячим раствором пикрата натрия.

Для экспериментальных отжигов в лаборатории и для исследования структуры кольца отбирались на заводе в разное время в течение месяца, чтобы охватить возможно больший диапазон изменения химического состава стали марки ШХ-15.

Кольцо, отштампованное первым от нагретого прутка, то есть кольцо наиболее горячее, откованное при более высокой температуре, имело структуру крупнозернистого перлита с хорошо выраженной сеткой вторичного карбида. В кольце, особенно холодном, был пластинчатый перлит.

На отжиг кольца поступают после штамповки. Температура начала и конца штамповки на заводе регулярно не определялась. Послековки кольца охлаждались преимущественно в штабелях и только в виде исключения индивидуально. Отжиг колец производится по такому режиму. Скорость нагрева задается конструкцией печи. Так как печь загружается при невысокой температуре и нагрев идет медленно, то считают, что к моменту достижения температуры нормального отжига— $780-800^{\circ}$ вся садка прогрелась насквозь. При температуре $780-800^{\circ}$ кольца выдерживаются 40—50 минут.

Продолжительность выдержки зависит, конечно, от количества отжигаемых колец и от скорости нагрева. Чем быстрее нагрев, тем больше времени надо выдерживать кольца при температуре отжига.

Скорость охлаждения 15° в час до температуры 550° . Дальнейшая скорость охлаждения не учитывается.

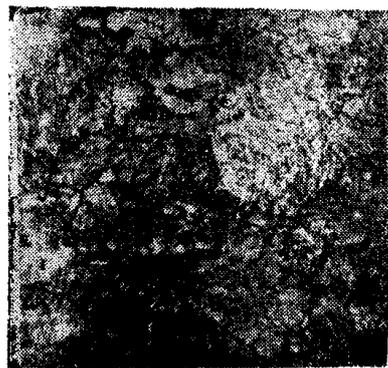
На результат отжига влияет сильно характер исходной структуры стали. Мы задались целью дать такой режим отжига, который обеспечил бы получение в структуре мелкозернистых карбидов хорошую об-

рабатываемость снятием стружки и подходящую твердость (183—207 по Бринелю) даже в том случае, когда имеется неблагоприятная первоначальная структура. Такой неблагоприятной структурой можно считать крупнопластинчатый перлит и массивную сетку карбидов при большой величине перлитного зерна.

Процесс штамповки не всегда идет гладко. Иногда (особенно в пламенных печах) наблюдается перегрев и, как следствие—крупное зерно аусте-



Фиг. 1

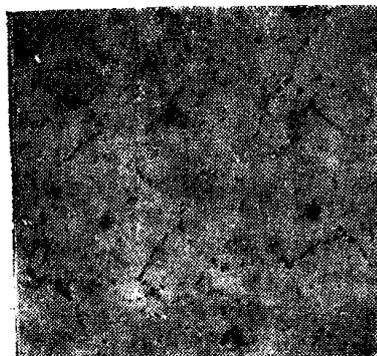


Фиг. 2

нита и грубая сетка карбидов. Мы нагрели несколько колец до температуры 1050° и охладили медленно со скоростью 300° в час до температуры 500° и затем со скоростью 200° в час до 100° .

На фиг. 1 дана структура так отожженного кольца. Шлиф протравлен пикратом натрия и сфотографирован при увеличении в пятьсот раз. На фотографии очень хорошо видна почти непрерывная структура карбидной сетки. Основной фон—перлит при травлении никратом почти не выявился.

На фиг. 2 тот же шлиф, но протравлен азотной кислотой; увеличение то же. Сетка цементита почти не видна. Но можно рассмотреть структуру основного фона, представляющего собой грубопластинчатый перлит.



Фиг. 3

На фиг. 3 представлена структура стали, отожженной по заводской инструкции: выдержка 30 минут при 780° и охлаждение со скоростью 15° в час. Образец был предварительно нагрет до температуры 1050° и охлажден со скоростью 300° в час до 500° и со скоростью около 200° в час с 500° до температуры лаборатории. Карбидная сетка только местами стала разрываться. Если бы процесс сфероидизации карбидной сетки дошел до конца, то все равно структура получилась бы неудовлетворительной: слишком велики зерна карбида, образующиеся на месте сетки. Для окончательной сфероидизации

сетки нужна выдержка при 780° в течение нескольких десятков часов.

Структура образца от кольца, нагретого до 1100° , охлажденного на воздухе, дана на фиг. 4, травление азотной кислотой. Как видно, при этой температуре очень сильно укрупняется аустенитное зерно. Основная структура—мартенсит и тростит; заметны участки аустенита.

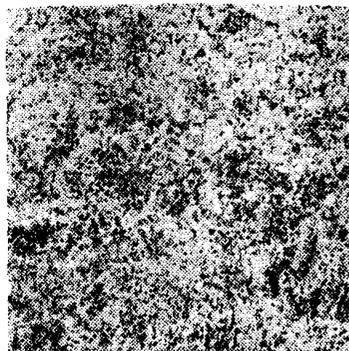
На фиг. 5, 6 и 7 даны структуры (травление азотной кислотой) образцов, вырезанных из колец, отожженных по заводской инструкции, но с выдержкой в течение пяти часов при 780° . Как видно, структура полностью сфероидизирована. Нет заметной разницы между вторичными карбидами и карбидами зернистого перлита. Такая однородная структура

получилась после отжига закаленных в масле колец, имевших весьма грубую структуру послековки.

Как уже было сказано, в литературе имеются самые противоречивые данные о пользе нормализации. Поэтому прутковая сталь диаметром 12 мм двух плавок была нагрета до температуры 1050, в условиях, исключаяю-



Фиг. 4

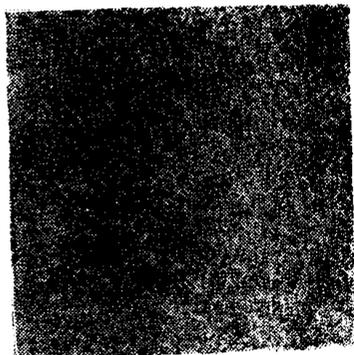


Фиг. 5

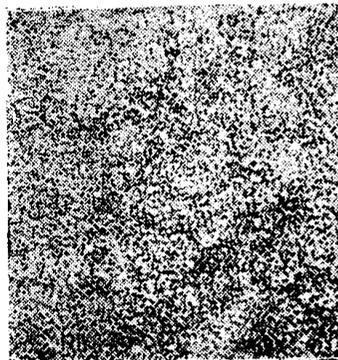
щих обезуглероживание, в течение двух часов и охлаждалась настолько медленно, что выделилась грубая сетка карбида.

Перегретые образцы нормализовались с температуры 950°. Во время нормализации образцы подкаливались, на что указывала повышенная твердость и тросто-мартенситная структура.

Нормализованные образцы отжигались по нормальному режиму: выдержка при 770—780° в течение одного часа и охлаждение до 500° со-



Фиг. 6



Фиг. 7

скоростью 15° в час. Во всех случаях после нормализации и отжига карбидная сетка полностью не исчезла.

Поэтому мы решили для исправления структуры применить закалку в масле с 950° с последующим высоким отпуском. При нагреве выше линии S E все карбиды стали переходят в твердый раствор. При охлаждении появляется какое-то число центров кристаллизации карбида, зависящее от условий охлаждения. Образовавшиеся кристаллы карбида растут со скоростью, величина которой тоже определяется условиями охлаждения. Эти два обстоятельства и определяют структуру стали, получившуюся в результате охлаждения в тех или иных условиях.

Во время охлаждения на воздухе изменять число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов практически невозможно, так как мы связаны условиями охлаждения. Но в случае закаленной структуры можно изменять в более широких пределах условия перехода мартенсита в троостит и сорбит.

При различных температурах отпуска и различных по времени выдержках при отпуске можно получить кристаллы карбида различной дисперсности. При отжиге после отпуска такой структуры кристаллы карбида частично сохраняются и дадут основу для зернистой структуры.

Мы остановились на температуре отпуска в 500° с продолжительной выдержкой. При 500° происходит выделение сорбитных карбидов; длительная выдержка ведет к получению ясно выраженной мелкозернистой структуры карбидов, которая сохраняется и при дальнейшем отжиге.

Очень хорошие результаты со сталями ШХ-15 различных плавок получались при термической обработке по такому режиму. Кольца с грубой сеткой карбида закаляются в масле с 950° . При этой температуре необходима достаточная выдержка, чтобы карбидная сетка успела раствориться в аустените. Затем следует выдержка в течение двух часов при $500-550^{\circ}$ и затем—обычный отжиг при $770-780^{\circ}$.

Представляет также интерес длительный отжиг при сравнительно низкой температуре (не превышающей 770°). Хорошая обрабатываемость на станках, подходящая твердость (183—207 по Бринелю) и очень хорошая структура получились после отжига при 770° в течение 8 часов с последующим охлаждением 15° в час.

Заключение

Так как исходная структура оказывает очень сильное влияние на результат сфероидизирующего отжига поковок из стали ШХ-15, то обязателен тщательный контроль температур в процессековки и послековки. Это единственный, хотя и косвенный метод контроля структуры, который легко установить в кузнечном цехе.

Охлаждение деталей следует вести не в штабелях, а расставляя их по полу цеха, и только после почернения поковки можно собирать в кучи.

Необходим выборочный контроль структур штампованных колец.

В случае получения грубой карбидной сетки в поковках ее можно разбить лишь длительным отжигом. В результате такого длительного отжига можно получить зернистую структуру, но на месте грубой сетки останутся крупные зерна карбида. В итоге укрупнения зерен твердость сильно снизится. Последствием излишнего уменьшения твердости наряду с грубозернистой структурой может быть плохая обрабатываемость снятием стружки.

В случае получения грубой карбидной сетки в поковках мы рекомендуем закалку в масле с последующим отжигом. Если после штамповки получилась нормальная структура, то можно применять обычный заводской отжиг. Отжиг с предварительной закалкой дает наиболее благоприятные структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Раузин Я. Влияние исходной структуры на результаты отжига хромоуглеродистой стали, Подшипник, 1940, № 5.

Раузин Я. Влияние исходной структуры на механические свойства закаленной стали, Сталь, 1941, № 4.

Раузин Я. Влияние скорости охлаждения на структуру поковок из стали ШХ-15, Подшипник, 1939, № 5.

Раузин Я. Влияние нормализации на свойства подшипниковой стали, Подшипник, 1939, № 10—11.

Раузин Я. Маслеников М. И. и др. Влияние нормализации на структуру подшипниковой стали, Подшипник 1940, № 2.

Раузин Я. Кондратьев М. Влияние скорости охлаждения на структуру поковок из стали ШХ-15, Подшипник, 1939, № 5.

2. Галикеев А. Х., Заболотский И. Я. Обрабатываемость подшипниковой стали ШХ-15, Подшипник, 1940, № 9.

Заболотский И. Я., Усватов С. Л. Отжиг колец с ускоренным охлаждением в одном колодце, Подшипник, 1940, № 10.