

Влияние легирующих элементов
на обезуглероженный слой пружинной стали

О.Ю. Бургонова, Мамонов Н.В., Колягина Н.В.
*Омский государственный технический университет,
г. Омск, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрены основные марки пружинно-рессорных сталей. Рассмотрено влияние основных легирующих элементов на величину обезуглероженного слоя. Предложено исправление возникающего брака изменением режима термической обработки и составом солевой ванны.

Ключевые слова: пружинно-рессорные стали, легирующие элементы.

Упругие элементы, такие как пружины и рессоры, являются важными деталями различных машин и механизмов, испытывающими при работе многократные переменные нагрузки. Под действием значительных статических, а иногда, и ударных нагрузок эти изделия упруго деформируются, а после прекращения действия нагрузки должны восстанавливать свою первоначальную форму и размеры. Для того чтобы не возникали остаточные деформации, пружинные стали должны иметь высокие значения пределов упругости, текучести, выносливости, а также необходимой пластичности и сопротивления хрупкому разрушению, стойкости к релаксации напряжений.

Повышенные значения предела упругости в сталях получают после закалки и среднего отпуска при температуре 400...480 °С. Для обеспечения структуры троостита по всему сечению, пружинные стали должны иметь сквозную прокаливаемость.

В качестве пружинно-рессорных сталей используют следующие виды [1, 2].

Углеродистые стали (65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г), которые характеризуются невысокой релаксационной стойкостью, особенно при нагреве. Они не пригодны для работы при температурах выше 100°С. Из-за низкой прокаливаемости, из них изготавливают пружины небольшого сечения. Прочностные характеристики после получения структуры троостита: $\sigma_B = 1000-1200$ МПа, $\delta = 5-8$ %;

Легированные рессорно-пружинные стали, относящиеся к перлитному классу и содержащие от 0,5% углерода и такие легирующие элементы, как кремний (1-3 %), марганец (около 1%), а в сталях более ответственного назначения – хром (1 %), ванадий (0,15%) и никель (1,7%). Легирование (за исключением кремния и марганца) мало влияет на предел упругости. Более существенно оно проявляется в повышении прокаливаемости, релаксационной стойкости, предела выносливости [1].

Наиболее распространенными являются экономичные кремнистые стали (55С2, 60С2, 70С3А). Они стойки к росту зерна при нагреве под закалку, но склонны к обезуглероживанию – опасному поверхностному дефекту, снижающему предел выносливости [2]. Менее этому дефекту подвержены кремнемарганцевые стали (60С2ГА).

Стальными предназначенными для рессор легковых автомобилей, клапанных и других пружин ответственного назначения, которые могут работать при температурах до 300°С, являются стали 50ХФА, 50ХГФА. Они подвергаются более высокому нагреву при отпуске (520°С), обладают теплостойкостью, повышенной вязкостью, меньшей чувствительностью к надрезу.

Для крупных тяжело нагруженных и особо ответственных пружин и рессор применяются стали 60С2ХА и 60С2Н2А. Механические свойства этих сталей определяются содержанием углерода и температурой отпуска. Отпуск проводят при температуре несколько более высокой, чем та, которая отвечает максимальному пределу упругости, что необходимо для повышения пластичности и вязкости.

Наиболее высокие механические свойства имеют стали 70С3А, 60С2ХА и 60С2Н2А: $\sigma_B = 1800$ МПа; $\sigma_T = 1600$ МПа; $\delta > 5$ %, $\psi > 20$ %.

Пружины и другие элементы специального назначения изготавливают из высокохромистых мартенситных (30Х13), мартенситно-старееющих (03Х12Н10Д2Т), аустенитных нержавеющей (12Х18Н10Т), аустенито-мартенситных (09Х15Н8Ю), быстрорежущих (Р18) и других сталей и сплавов.

Легирующие элементы, входящие в состав пружинных сталей, оказывают воздействие на процесс обезуглероживания и величину обезуглероженного слоя через скорость диффузии углерода, влияют на температуру альфа–гамма превращения и активность углерода. Необходимо отметить, что детали наиболее подверженные этому дефекту – это пружины малого сечения, менее 1 мм.

Чем больше скорость диффузии углерода, его активность и увеличение температуры альфа–гамма превращения, тем больше вероятность появления обезуглероживания поверхности изделия.

Важнейшим показателем диффузионной подвижности атомов является коэффициент диффузии D . Зависимость коэффициента диффузии от температуры, установленная С. Аррениусом, имеет вид:

$$D = D_0 \exp \frac{Q}{kT},$$

где k – постоянная Больцмана; D_0 – коэффициент диффузии при бесконечно большой температуре, см²/с; Q – энергия активации диффузии, эВ; T – температура.

Энергия активации диффузии Q обеспечивает переход атомов из одного положения в решетке в другое. Энергия активации диффузии элементов, растворенных по способу внедрения, меньше, чем у элементов, растворенных по способу замещения. Поэтому последние диффундируют медленнее. Энергия активации диффузии углерода в аустените среднеуглеродистой стали равна

приблизенно 31 000 кал/г·атом, а энергия активации диффузии в аустените важнейших легирующих элементов обычно превышает 60000 кал/г·атом. Скорость диффузии углерода в аустените на несколько порядков больше скорости диффузии важнейших легирующих элементов [3].

Такие легирующие элементы как хром, молибден, ванадий и др., не только сами медленно диффундируют, но и замедляют диффузию углерода в аустените. Например, в стали, содержащей 0,4 % С, $Q_C \approx 31\ 000$ кал/г·атом. Введение в сталь 2,6 % Сг повышает энергию активации диффузии углерода до величины, равной 37 000 кал/г·атом.

Таким образом, скорость диффузии углерода в стали в присутствии в хрома, молибдена, ванадия – замедляется.

На глубину обезуглероживания может повлиять такой процесс, как окалинообразование. Образующиеся в процессе окисления продукты, откладываясь на поверхности, уменьшают процесс обезуглероживания. Чем больше скорость образования окалины, тем меньше глубина обезуглероженного слоя.

Так как спрогнозировать влияние легирующих элементов на величину обезуглероженного слоя достаточно сложно, в силу имеющихся важнейших факторов, влияющих на этот процесс, то это можно ценить, по крайней мере, с теоретической точки зрения. [1, 3, 4].

Хром. Снижает скорость окалинообразования и повышает температуру α - γ -превращения. Этим факторам, способствующим увеличению обезуглероживания, противодействуют другие факторы – замедление диффузии углерода и уменьшение его активности. Благодаря этому в большинстве случаев склонность к обезуглероживанию при введении хрома уменьшается.

Кремний. Уменьшает скорость окалинообразования благодаря образованию промежуточных слоев из химического соединения Fe_2SiO_4 . Кремний повышает активность углерода и температуру α - γ -превращения. Эти два последних фактора, увеличивающие окалинообразование, перекрывают влияние кремния, несколько уменьшающего скорость диффузии углерода в аустените. Поэтому кремний повышает склонность к обезуглероживанию.

Марганец. Данный легирующий элемент почти не влияет на обезуглероживание, равно как и на скорость диффузии углерода. Уменьшение активности углерода и снижение температуры α - γ -превращения приводят, как правило, к небольшому уменьшению склонности стали к обезуглероживанию.

Никель. Повышает активность углерода и скорость его диффузии в аустените. Он существенно не влияет на скорость окалинообразования, однако ускоряет образование прочных металлических промежуточных слоев. Кроме того, никель снижает температуру α - γ -превращения и, таким образом, в большинстве случаев приводит к уменьшению склонности к обезуглероживанию.

Ванадий и вольфрам. Усиливают воздействие других легирующих элементов. Так же как и хром, ванадий является карбидообразующим элементом, предупреждающим обезуглероживание деталей, в частности пружин.

Вольфрам снижает температуру α - γ -превращения, тем самым уменьшая возможность появления обезуглероженного слоя.

При изготовлении пружин сечением 0,8 мм из сталей 65С2ВА и 51ХФА было выявлено, что наиболее подвержены обезуглероживанию образцы из стали 65С2ВА (рис. 1).

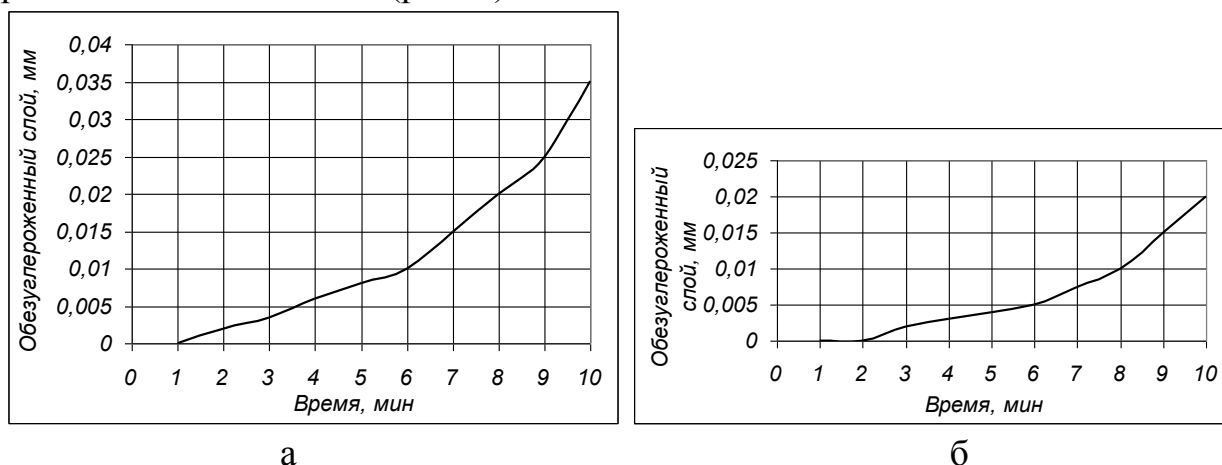


Рис. 1. Влияние времени выдержки при закалке на глубину обезуглероженного слоя: а – стали 65С2ВА, б – стали 51ХФА

Как говорилось выше, легирующие элементы изменяют температуру α - γ -превращения, что оказывает влияние на определение оптимальной температуры закалки. Повышение температуры усиливает диффузию углерода и приводит к увеличению обезуглероженного слоя (рис. 2).

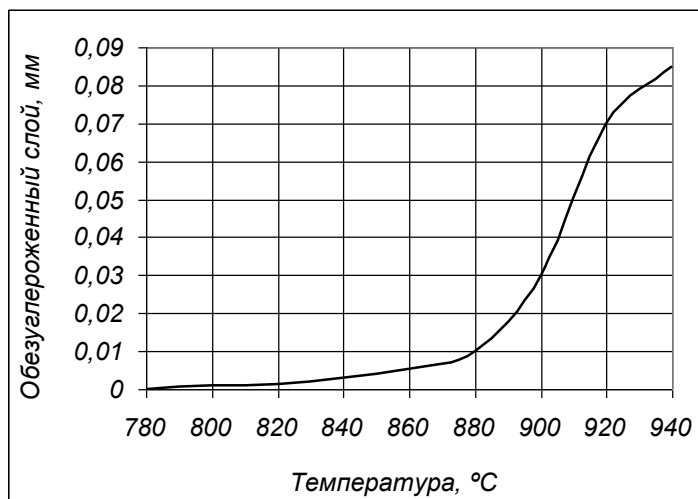
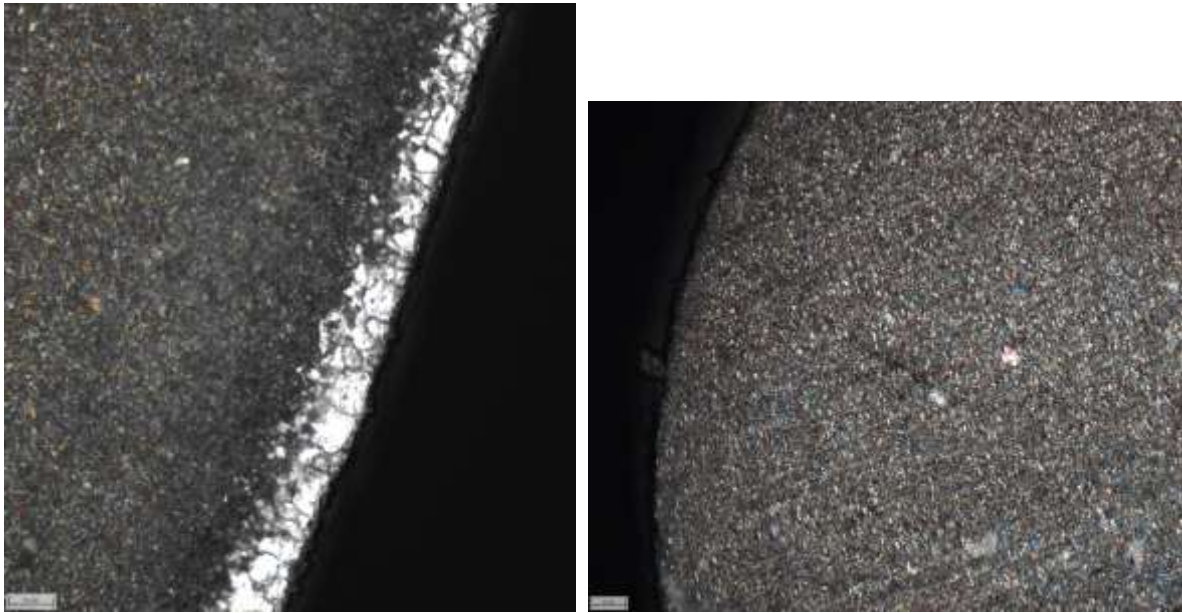


Рис. 2. Влияние температуры нагрева под закалку на величину обезуглероженного слоя стали 65С2ВА

При закалке в соляной ванне (56 % NaCl + 44 % KCl) от температуры 860 °С с выдержкой 4 мин поверхностный слой образцов проволоки из стали 65С2ВА имел значительный обезуглероженный слой (рис. 3, а).

Изменяя состав соляной ванны [5], было выявлено, что снижение содержания хлорида калия, приводит к уменьшению обезуглероживания.



а

б

Рис. 3. Структура поверхностного слоя проволоки (0,8 мм): а – после режима термической обработки принятого на производстве; б – после изменения температуры, времени выдержки и состава соляной ванны

Таким образом, для устранения обезуглероженного слоя на пружинах малого сечения (менее 1 мм), необходимо учитывать состав и влияние легирующих элементов и экспериментально подбирать температуру, время выдержки и состав соляных ванн.

Библиографический список

1. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.: ил.
2. Информационно-справочный портал по термообработке и литейному делу: [Электронный ресурс]. 1999-2017. URL: <http://rating.openstat.com> (Дата обращения: 03.03.2017).
3. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. Учебник. 4-е изд., испр. и доп. – М.: Металлургия, 1986 г., 480 с.: ил.
4. Захаров Б.В., Берсенева В.Н. Прогрессивные технологические процессы и оборудование при термической обработке металлов. Учебное пособие для СПТУ. – М.: Высшая школа, 1988. – 71 с.: ил.
М. «Высшая школа» 1988 г
5. Смольников Е.А. Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах. Производственное издание. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.: ил.