



It is shown that the thickness of cemented layer defined after cementation by samples from steel 12ХН3А, is overstated by 0,20–0,35 mm because of higher content of nickel.

А. Л. ВАЛЬКО, Е. И. МОСУНОВ, С. П. РУДЕНКО,
Н. П. ТИМОШЕНКО, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

УДК 669.18.33:621.78

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЦЕМЕНТОВАННОГО СЛОЯ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

Одним из регламентируемых параметров химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, оказывающих основное влияние на работоспособность высоконапряженных деталей, является толщина цементованного слоя. За основной метод определения толщины цементованного слоя принимается расстояние от поверхности до полупереходной зоны, имеющей феррито-перлитную структуру с равным количеством феррита и перлита [1, 2]. Содержание углерода при такой структуре соответствует 0,35–0,40%.

При определении толщины цементованного слоя хромоникелевых сталей следует принимать во внимание степень легированности стали, скорость охлаждения после насыщения и последующую термическую обработку. В низколегированных сталях после медленного охлаждения от температуры цементации или после отжига полупереходная зона, содержащая 0,35–0,40% С, определяется легко, так как структура каждой зоны цементованного слоя (заэвтектоидная, эвтектоидная и переходная) выявляется достаточно четко. Зона, содержащая 0,35–0,40% С, будет иметь феррито-перлитную структуру с равным количеством феррита и перлита.

На рис. 1 приведена микроструктура цементованного слоя низколегированной стали 18ХГТ после цементации и охлаждения на воздухе. В этой структуре хорошо заметно начало появления феррита и протяженность переходного слоя, состоящего из феррита и перлита. Расстояние от поверхности до середины переходного слоя в нашем примере соответствует расстоянию 1,7 мм от поверхности.

В цеховых условиях при определении толщины цементованного слоя по макроструктуре, выявленной травлением в 10–20%-ном водном раство-

ре азотной кислоты, измеряют темную зону слоя. При определении толщины цементованного слоя по образцам, прошедшим цементацию и закалку, необходимо учитывать, что после травления в водном растворе азотной кислоты темная зона распространяется на полную глубину слоя (до участков с 0,2–0,25% С). Следовательно, чтобы приравнять эту зону к толщине цементованного слоя, определенной до полупереходной зоны после цементации или отжига, следует уменьшить ее на 0,25–0,35 мм. Величина поправки зависит от хода кривой насыщения по глубине слоя.

В высоколегированных сталях определить границы переходного слоя по микроструктуре практически невозможно, так как при медленном охлаждении после газовой цементации получается многослойная структура, состоящая из мартенсита, аустенита, троостита, сорбита и феррита. Поэтому при установлении структурных признаков для определения толщины цементованного слоя необходимо ориентироваться на распределение углерода по глубине слоя, которое не зависит от скорости охлаждения деталей. Приняв в качестве критерия расстояние от поверхности до зоны с со-

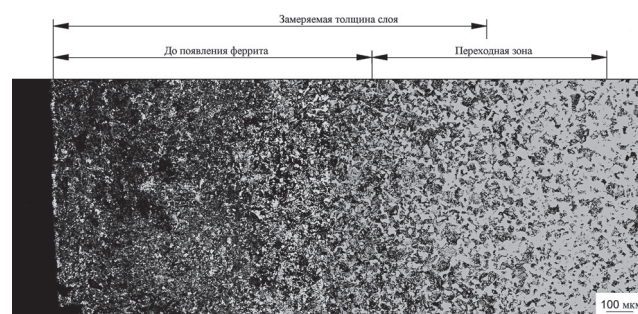


Рис. 1. Микроструктура цементованного слоя с доэвтектоидным содержанием углерода (0,65–0,75%) после охлаждения образца из стали 18ХГТ на воздухе. Толщина цементованного слоя 1,7 мм до 0,37% С

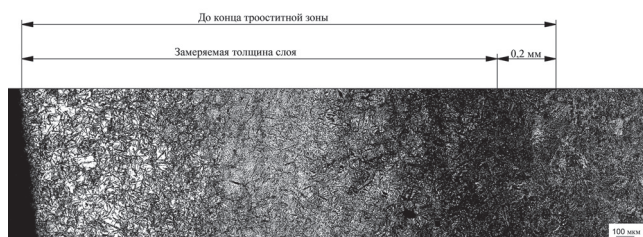


Рис. 2. Микроструктура цементованного слоя образца из стали 20XN3A, охлажденного после цементации на воздухе

держанием углерода 0,35–0,4%, следует определить, какая структура для данной марки стали при конкретной скорости охлаждения соответствует указанному содержанию углерода.

Ширина структурных зон и их расположение по глубине слоя сильно зависят от скорости после цементационного охлаждения. Реперной зоной для сталей 20XN3A и 20X2H4A может служить темная трооститная составляющая, которая выявляется после травления в 5–20%-ном растворе азотной кислоты. При определении толщины цементованного слоя после подстуживания на воздухе данных сталей до полупереходной зоны, содержащей 0,35–0,4%С, необходимо от расстояния до конца темной трооститной зоны вычесть 0,2–0,3 мм (рис. 2). Это вызвано тем, что после газовой цементации и охлаждения на воздухе глубокопрокаливаемых сталей трооститная область менее четкая и расположена глубже, чем в образцах после отжига.

Склонность высоколегированной стали к формированию структурной вторичной полосчатости усугубляет трудности при определении толщины цементованного слоя. Так, на расстоянии 1,8–2,1 мм от поверхности, соответствующем заданной толщине цементованного слоя, наблюдаются чередующиеся «языки»-полосы (рис. 3).

Для выявления границы переходного слоя образцов-свидетелей из сталей 20XN3A и 20X2H4A

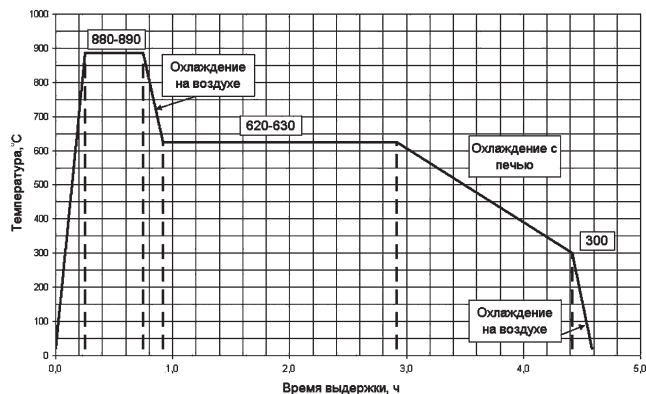


Рис. 4. Рекомендуемый режим изотермического отжига цементованных образцов-свидетелей из сталей 20X2H4A и 20XN3A

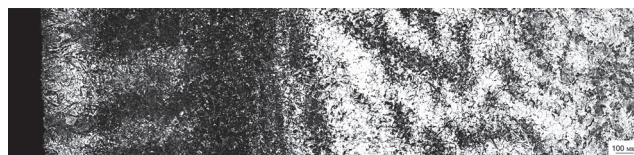


Рис. 3. Микроструктура цементованного слоя образца из стали 20XN3A, охлажденного после цементации на воздухе

предложена дополнительная термическая обработка (изотермический отжиг) (рис. 4). Режим изотермического отжига включает в себя нагрев образца до 880–890 °С, выдержку при данной температуре в течение 0,5 ч, подстуживание на воздухе в течение 5–10 мин, последующий перенос в печь с температурой 620–630 °С, выдержку в течение 2 ч, охлаждение с печью до 300 °С и далее на воздухе. Ускоренное охлаждение образца на воздухе от температуры аустенизации позволяет избежать структурной полосчатости и сформировать в дальнейшем при температурной выдержке 620–630 °С феррито-перлитную структуру (рис. 5). При температуре 590–630 °С переохлажденный аустенит цементованной стали 20X2H4A с содержанием углерода от 0,8 до 0,3% обладает минимальной устойчивостью, что и послужило обоснованием для выбора данной температуры отпуска. При необходимости выполняют повторный отпуск образца при 620–630 °С по циклу: выдержка – охлаждение до 300 °С с печью – охлаждение на воздухе. По полученной равновесной микроструктуре зона с соотношением 50% феррита / 50% перлита определяется довольно точно.

Формирование дифференцированной микроструктуры позволяет анализировать распределение углерода по толщине цементованного слоя методом стереометрической металлографии по соотношению феррита и перлита. Шкала № 7 ГОСТ 8233-56 подразделяет феррито-перлитную структуру на 10 баллов. Содержание углерода, соответствующее каждому из баллов, приведено в таблице.

Зависимость типа структуры от содержания углерода [3]

Балл структуры	Структура	% перлита/ % феррита	Количество углерода, вес.%
1	Перлит	100/0	0,80
2	Перлит+феррит	95/5	0,76
3	Перлит+феррит	85/15	0,68
4	Перлит+феррит	75/25	0,60
5	Перлит+феррит	65/35	0,52
6	Перлит+феррит	50/50	0,40
7	Перлит+феррит	35/65	0,28
8	Перлит+феррит	20/80	0,16
9	Перлит+феррит	5/95	0,04
10	Феррит	0/100	0,00

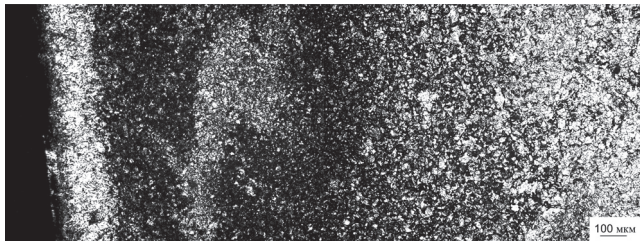


Рис. 5. Микроструктура цементованного слоя образца из стали 20XН3А после изотермического отжига по режиму рис. 4

Следует отметить, что на цементованных и закаленных образцах из стали 20X2Н4А определить толщину цементованного слоя по микроструктуре практически невозможно, так как нет четкой границы перехода от слоя к сердцевине. В таком случае толщину цементованного слоя до полупереходной зоны определяют на поперечном шлифе по распределению микротвердости от поверхности по глубине слоя до контрольного значения 550 HV_{0,2}, что соответствует содержанию углерода 0,35–0,38%.

В условиях термического цеха толщину цементованного слоя принято определять по микроструктуре, выявленной травлением в 10–20%-ном водном растворе азотной кислоты, которая эквивалентна расстоянию от поверхности до границы темной зоны без учета части переходного слоя. Ввиду экспрессности анализа дополнительная термообработка образцов не производится. Толщина цементованного слоя определяется, как правило, на образцах-свидетелях, изготовленных из той же хромоникелевой стали, что и обрабатываемые изделия. При использовании в качестве свидетелей высоколегированных хромоникелевых сталей невозможно избежать подкалки образцов в процессе послецементационного охлаждения, что приводит к погрешности в определении толщины слоя после цементации.

Определение толщины цементованного слоя по микроструктуре до полупереходной зоны является наиболее точным, но на образцах из стали 12XН3А возможно только после проведения их дополнительного изотермического отжига (рис. 6) в течение довольно длительного времени, что нереально в условиях производства. В связи с этим в качестве образцов-свидетелей для определения толщины цементованного слоя до полупереходной зоны в цеховых условиях рекомендуется применять низколегированную безникелевую сталь 18ХГТ (рис. 1, 7).

В качестве эксперимента на печах «Ipsen» была выполнена опытная химико-термическая обработка образцов из стали 20XН3А размером диаметром 50 мм и длиной 30 мм по серийному технологическому процессу (программе), обеспечивающему толщину

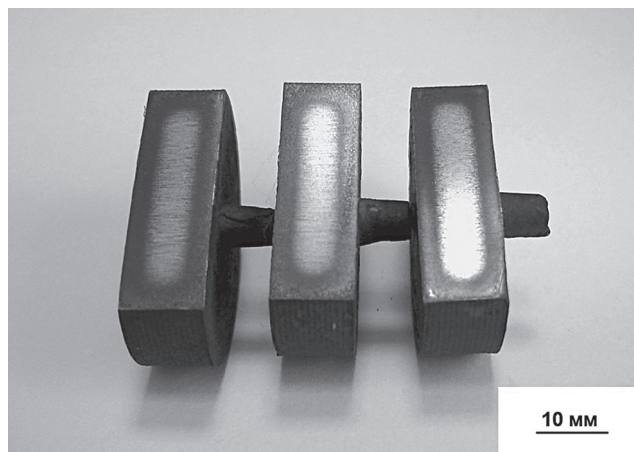


Рис. 6. Внешний вид микрошлифов после травления в течение 20 с в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты: образцы-свидетели из стали 12XН3А (диаметр 25 мм) после цементации, подстуживания и дополнительного изотермического отжига

ну цементованного слоя до полупереходной зоны 1,7–2,1 мм. Толщина цементованного слоя в цеховых условиях определялась после цементации на образцах-свидетелях из стали 12XН3А, погружаемых к садке, и составила, по данным ОТК, 1,9 мм. Из-за повышенного содержания никеля сталь 12XН3А склонна к подкаливанию в процессе охлаждения после цементации, в связи с чем после травления в растворе азотной кислоты темная троститная зона распространяется на полную глубину слоя (до участков с 0,25–0,30% С). Следовательно, в определении толщины цементованного слоя в цеховых условиях была внесена погрешность, увеличивающая действительную величину

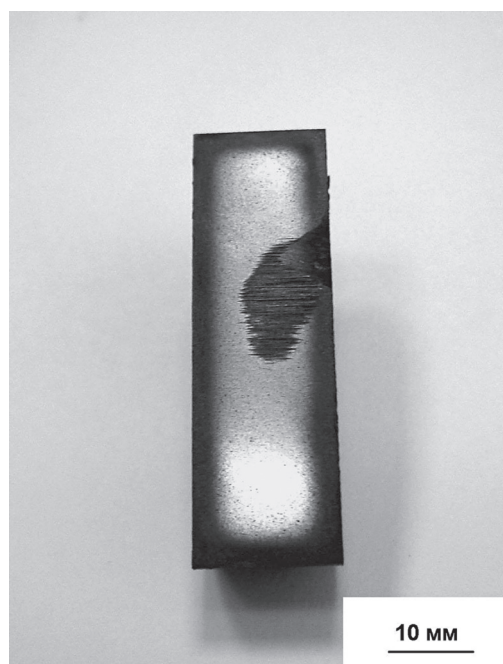


Рис. 7. Внешний вид микрошлифов-свидетелей после травления в течение 20 с в 4%-ном растворе азотной кислоты: свидетель из стали 18ХГТ (диаметр 40 мм) после цементации и ускоренного подстуживания

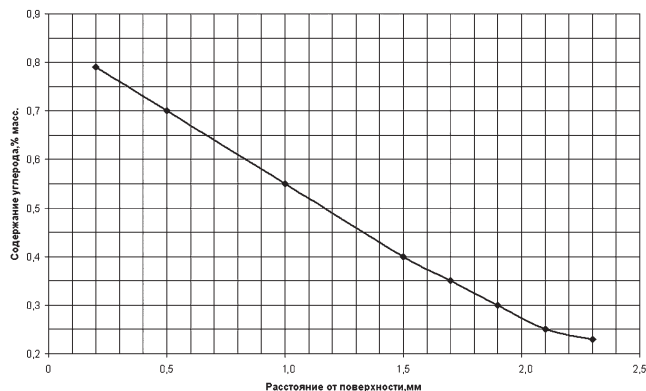


Рис. 8. Распределение углерода в цементованных слоях образцов из стали 20ХН3А

слоя до полупереходной зоны. Для доказательства данного положения на рис. 8 показано распределение углерода в цементованных слоях образцов из стали 20ХН3А, а на рис. 9 – распределение твердости по толщине цементованных слоев данных образцов.

Из рис. 8 видно, что толщина цементованного слоя до полупереходной зоны образцов из стали 20ХН3А, определяемая по содержанию углерода 0,35–0,40%, составляет 1,55–1,70 мм. Эффективная толщина цементованного слоя до полупереходной зоны (рис. 9), определяемая по величине твердости до 50 HRC, составляет для этой стали 1,6–1,70 мм, что соответствует результатам спектрального анализа (см. рис. 8). Следовательно, результаты определения толщины цементованного слоя до полупереходной зоны в цеховых условиях на образцах из стали 12ХН3А являются завышенными на 0,2–0,3 мм.

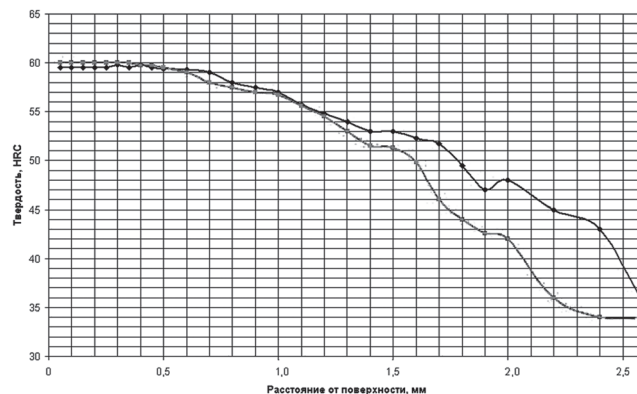


Рис. 9. Распределение твердости по толщине цементованных слоев образцов из стали 20ХН3А

Выводы

Толщина цементованного слоя в цеховых условиях, определяемая после цементации по образцам-свидетелям из стали 12ХН3А, в некоторых случаях бывает завышенной на 0,20–0,35 мм. Причина в определении толщины слоя заключается в применении в качестве образцов-свидетелей стали 12ХН3А, которая из-за повышенного содержания никеля склонна к подкаливанию на воздухе. При наличии подкаливания темная зона распространяется на полную глубину слоя и в определении толщины цементованного слоя до полупереходной зоны вносится погрешность, увеличивающая действительную величину слоя. В качестве образца-свидетеля для определения толщины цементованного слоя до полупереходной зоны в производственных условиях рекомендуется применять низколегированную безникелевую сталь 18ХГТ.

Литература

1. Сагардзе В. С. Повышение надежности цементуемых деталей. М.: Машиностроение, 1975.
2. Методы измерения толщины поверхностно-упрочненного слоя деталей: РД РБ 02260.17.040.20.01-2003.
3. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктур. М., 1956.