

**ТЕРМООБРАБОТКА ПОКОВОК
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАГРЕВА ПРИ КОВКЕ**

**В. К. Заблоцкий, д. т. н., проф., В. И. Шимко*, асп., А. И. Шимко, к. т. н.,
В. Е. Фельдман**, к. т. н.**

**Донбасская государственная машиностроительная академия*

***Новокраматорский машиностроительный завод*

Известно, что охлаждение сталей при отжиге с температуры аустенитизации в сыпучем графите обеспечивает самоотжиг поковок без их дополнительного нагрева при необходимости регулирования скорости охлаждения [1, 2, 3]. Эти данные получены для углеродистой стали 45 и отсутствуют для низколегированной флокеночувствительной стали 40ХН, которые при обычных условиях производства послековки подвергались отжигу по антифлокнинному режиму (рис. 1).

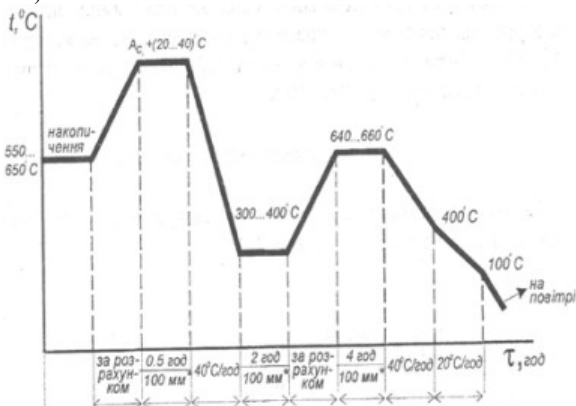


Рис. 1. График типового режима заводского отжига для сталей второй группы флокеночувствительности

Для достижения поставленной цели использовали поковки, полученные путем перекова проката из стали 40ХН (табл. 1) сечением 190 x 190 мм на заготовки 100 x 100 мм и длиной 300 мм, массой 23 – 25 кг. Ковку проводили под кузнечным молотом с м.п.ч. 2т в интервале температур 1150 – 850 °C за три выноса. После завершенияковки за третьим выносом при 850 °C, часть заготовок передавали на капёж для дальнейшего отжига по режиму, указанному на рис. 1, а часть охлаждалась в контейнерах с сыпучим серебристым графитом. В контейнере заготовка помещалась горизонтально таким образом, что слой графита вокруг нее составлял 140 – 150 мм. Заготовка с контейнером удалялась из зоны действия молота на свободное место, где охлаждалась до температуры цеха.

Химический состав образца из стали 40ХН

Место замера	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Al, %	Cu, %
Поверхность	0,41	0,2	0,57	0,039	0,015	0,52	1,1	0,032	0,14
Центр	0,41	0,29	0,57	0,042	0,015	0,52	1,12	0,038	0,14

Изменение температуры поковки в процессе охлаждения в сыпучем графите фиксировалось с помощью хромель-алюмелевой термопары, вмонтированной в углубление в верхней грани горизонтально расположенной поковки, термопара подключалась к прибору КСП-4. Фактический режим охлаждения исследуемой поковки приведен на рисунке 2.

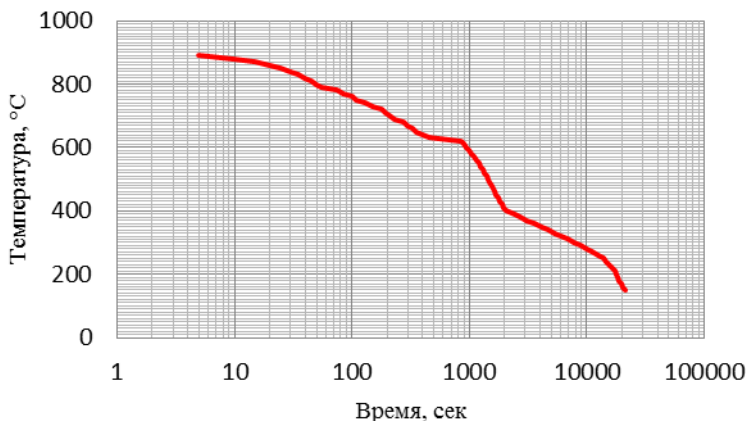


Рис. 2. Фактическая скорость непрерывного охлаждения поковки из стали 40ХН в заводских условиях

Как следует из рисунка 2, в начальный момент скорость охлаждения заготовки в сыпучем графите является достаточно высокой и составляет 2541°C/ч. Это обусловлено тем, что холодный графит обладает высокой теплопроводностью и в момент погружения заготовки интенсивно ее охлаждает. Затем по мере нагрева графита, его теплопроводность снижается, что уменьшает скорость охлаждения заготовки. Через некоторое время охлаждение заготовки прекращается и в течение достаточно длительного времени (14 мин) температура металла сохраняется постоянной, после чего наступает период медленного охлаждения до температуры цеха. Указанное постоянство температуры должно быть связано с протеканием структурно-фазовых превращений в условиях термодинамического равновесия фаз, которое сопровождается значительным выделением внутреннего тепла, компенсирующего потери тепла в окружающую среду при охлаждении. В данном случае можно предположить, что таким превращением является распад аустенита на феррит и цементит с образованием перлита. На кривой охлаждения обращает на себя внимание плавный переход температур при охлаждении до начала площадки постоянной

температуры и более резкий переход после исчезновения этой площадки. Здесь можно предположить, что перлитное превращение первоначально зарождается в небольших объемах металла, что достаточно для изменения хода температуры охлаждения и обеспечения полного перехода от непрерывного охлаждения к изотермическому охлаждению.

Анализ структуры и свойств стали 40ХН после охлаждения в сыпучем графите показал следующее. Структура образцов, вырезанных у поверхности и в центре заготовки сечением 100 x100 мм являются феррито-перлитной, более мелкозернистой у поверхности, феррит в виде разбросанной сетки располагается по границам зерен перлита, частицы феррита более крупные в центре, перлит зернистый (рис. 3). Микротвердость феррита и перлита мало зависят от места вырезки образцов. Различия в микротвердости феррита и перлита, а также структура зерен мало повлияли на механические свойства поверхности и центра поковок (табл. 2).

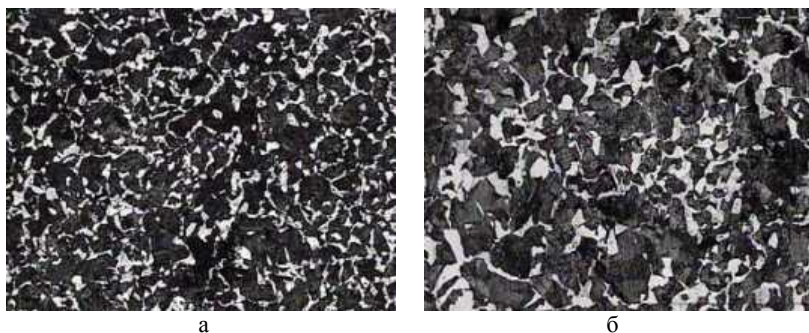


Рис. 3. Микроструктура образцов из стали 40ХН поверхность (а), центр (б), x100

Таблица 2
Механические свойства образца из стали 40ХН

Место замера	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Твердость, НВ
Поверхность	388–398	718–736	19,8 – 20	37 – 44	48 – 43	217 – 223
Центр	424–383	716–724	15,4–17,2	37 – 42	37 – 38	217 – 219

Как следует из таблицы 2 свойства стали 40ХН по сечению заготовки являются практически одинаковыми. По справочным литературным данным эти свойства соответствуют твердости отожженной стали, а по прочностным свойствам, пластичности и вязкости приближаются к свойствам стали после нор-

мализации с отпуском [4]. Кроме того, заготовки, которые охлаждались в сыпучем графите, на поверхности были чистыми без следов окалины. Это указывает на то, что в среде серебристого графита при высоких температурах отсутствует окисление.

Важным результатом работы является исследования содержания газов в стали 40ХН после охлаждения в сыпучем графите, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Количество газов в образце из стали 40ХН

Место замера	Газы		
	H ₂ ,ppm	O ₂ , %	N ₂ , %
Поверхность	1,3	0,0034	0,0095
Центр	1,6	0,0035	0,0091

Как следует из таблицы 3 содержание водорода (2 ppm), который способствует образованию флюкинов в металле, ниже допустимого в центре и значительно ниже у поверхности. Такое явление может быть связано с особым строением аустенита до распада на перлит. Можно предположить, что одновременно с завершениемковки происходит динамическая рекристаллизация аустенита, границы зерен становятся равновесными и по ним легко перемещаются атомы водорода в процессе охлаждения и в процессе распада аустенита в перлит. Такое строение структуры аустенита должно обеспечивать сравнительно легкий вытек водорода из металла, что согласуется с экспериментальными данными.

Теперь, если коснуться существующей технологии термообработки поковок. Первая операция, которая производится после завершенияковки состоит в капеежке поковок при температуре 550 – 650 °С в течении длительного времени, что необходимо для формирования количества поковок для садки. В этот же период аустенит, переохлажденный с температуры окончанияковки до температуры капеежки полностью не распадается, а поэтому сохраняется и стабилизируется в процессе капеежки. Последующий нагрев такого аустенита от температуры капеежки до температуры отжига не обеспечивает необходимый его распад для вытекания водорода. В этом случае часть аустенита, который сохранился при нагреве от температуры капеежки до температуры отжига в процессе выдержки при отжиге продолжает стабилизироваться и при последующем охлаждении трудно распадается, что не обеспечивает хорошее вытекание водорода из металла.

Содержание кислорода и азота в металле после охлаждения в сыпучем графите составляют тысячные доли процента (табл. 3). Это указывает на то, что хрупкое разрушение стали в процессе охлаждения при термообработке маловероятно, так как недостаточно в стали азота и кислорода для образования нитридов и оксидов, которые охрупчивают ее, выделяясь по границам зерен.

Таким образом, поковки из стали 40ХН, подвергнутые после завершения процессаковки охлаждению в сыпучем графите, имеют качество выше (по структуре и механическим свойствам) по сравнению с аналогичными поковками после отжига по заводскому режиму для поволоков второй группы сталей по флокиночувствительности. Качество поволоков, охлажденных послековки в сыпучем графите, приближаются к качеству поволоков после нормализации с отпуском.

ВЫВОДЫ

Из результатов опробования технологии охлаждения поволоков в сыпучем графите после завершения процессаковки можно выделить следующие преимущества нового процесса:

- совмещение температуры нижнего ковочного нагрева в качестве температуры аустенитизации;
- получение необходимых свойств в результате внутренней энергии структурно-фазовых превращений без дополнительных прямых затрат энергии как в случае обычного отжига;
- значительное упрощение процесса термообработки поволоков и в первую очередь отказ от необходимости проведения длительного отжига;
- отсутствие окисления поволоков после охлаждения в сыпучем графите.

Использованная литература

1. Заблоцкий В.К. Самоотжиг поволоков из стали 45 / В.К. Заблоцкий, В.И. Шимко, В.Е. Фельдман, А.И. Шимко. – Строительство, Материаловедение, Машиностроение: – Сб. науч. трудов. Выпуск 53, Днепропетровск, ПГАСиА, 2010г – 100-104 с.
2. Заблоцкий В.К. Превращения при охлаждении стали 45 / В.К. Заблоцкий, В.И. Шимко., А.И. Шимко, В.Е. Фельдман – Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии, 2011 - №1(22) – С.193 – 198.
3. Марочник сталей для машиностроения / Научно-исследовательский институт информации по машиностроению. – М.: 1965 – 594 с.
4. Пат. 43690 U 2009 03360, С21D9/22. Способ термической обработки стали // В.К. Заблоцкий, В.Е. Фельдман, А.М. Фесенко, В.А. Федорінов, А.І. Шимко, І.Ю. Мелещенко, М.А. Фесенко, В.А. Корсун, В.І. Шимко. – Заявл. 08.04.2009. – Опубл. 25.08.2009. – Бюл. №16, 2009 г.