

- moted temperature / B.I. Nosovskiy, S.V. Gulakov, E.I. Somov and other // Avtomaticheskaya svarka. – 1995. – № 4. – P. 17-19. (Rus.)
8. Getsov L.B. Methods of computation determination of resistance of thermal fatigue of details of turbines / L.B. Getsov // Teploenergetika. – 2001. – № 4. – P. 24-27. (Rus.)
 9. Smirnov S.V. Design of destruction of stamp steel from the cracks of height / S.V. Smirnov, R.E. Lapovok, V.P. Shveykin // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1997. – № 8. – P. 11-14. (Rus.)
 10. Fedyukin V.K. Thermocyclical treatment of metals and details of machines / V.K. Fedyukin, M.E. Smagorinskiy. – L. : Mashinostroenie, 1989. – 255 p. (Rus.)
 11. Ivashenko V.Yu. Influence of thermocyclical treatment on properties of roll's steel 50HN / V.Yu. Ivashenko // Defence of metallurgical machines from breakages: mezhvuz. temat. sb. nauch. tr. – Mariupol, 2000. – № 5. – P. 257-261. (Rus.)

Рецензент: Л.С. Малинов
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 12.11.2012

УДК: 621.785: 669.017.16

©Иващенко В.Ю.*

ВЛИЯНИЕ ТЦО НА УДАЛЕНИЕ ВОДОРОДА ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье показана взаимосвязь между плотностью дефектов, формирующихся при термоциклической обработке (ТЦО), и количеством водорода, экстрагированного из поверхности детали.

Ключевые слова: сталь, водород, плотность дислокаций, термоциклическая обработка.

Иващенко В.Ю. Вплив ТЦО на видалення водню з поверхневих шарів сталевих виробів. У статті показаний взаємозв'язок між щільністю дефектів, що формуються під час термоциклічної обробки (ТЦО), і кількістю водню, екстрагованого з поверхні деталі.

Ключові слова: сталь, водень, щільність дислокацій, термоциклічна обробка.

V.Yu. Ivashenko. Influence of TCT on moving away of hydrogen from superficial layers of steelworks. In the article intercommunication is shown between the closeness of the defects formed at thermal-cycle treatment (TCT), and amount of the hydrogen extracted from the surface of detail.

Keywords: steel, hydrogen, closeness of dislocation, thermo-cyclical treatment.

Постановка проблемы. Водород, находясь в стали, является причиной хрупкости и преждевременного растрескивания, что значительно сокращает срок службы деталей. Известно, что большое количество изделий машиностроения подвергается довольно длительной противолокненной обработке (ПФО) с целью снижения вредного влияния водорода на свойства. Например, ПФО поковок валков из сталей 2-й группы флокеночувствительности включает нормализацию и высокий отпуск общей продолжительностью более 36-50 часов, а для сталей более склонных к образованию флокенов стараются применять двукратный отпуск, что еще больше увеличивает время обработки.

Анализ последних исследований и публикаций. Во время термоциклической обработки (ТЦО) наблюдается ускорение диффузионных процессов, что позволяет совмещать ее с про-

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

цессами насыщения поверхности [1, 2]. При этом интенсивность диффузионных потоков связывают с фазовым составом стали, плотностью дефектов кристаллического строения, перепадом температур по сечению изделия, внутренними структурными напряжениями, возникающими при фазовых превращениях и др. факторами [3, 4]. Однако проблеме удаления нежелательных примесей из поверхностных слоев заготовок с помощью ТЦО не уделялось достаточного внимания.

Цель статьи – изучить влияние ТЦО на процессы удаления водорода и рассмотреть возможность ее применения в качестве ПФО с целью сокращения времени обработки.

Изложение основного материала. Ранее в наших работах [5, 6] были разработаны режимы ТЦО с переменными параметрами для валковых сталей. В этом исследовании пробы из стали 50ХН с размерами 50×60×80 мм были подвергнуты ТЦО по двум режимам. Режим № 1 включал 4 цикла со скоростью нагрева 100 °С/ч до T_{max} в цикле и последующее охлаждение на воздухе до $T_{min}=250...300$ °С без изотермической выдержки при этой температуре. При этом T_{max} изменялись от цикла к циклу по следующей схеме 740→780→820→860 °С. Время выдержки при T_{max} составляло 15 мин. Режим № 2 включал также 4 цикла с изменением T_{max} по выше приведенной схеме, но отличался температурой минимумов в циклах – 550...600 °С.

По окончании охлаждения в каждом цикле режима ТЦО, определялось содержание водорода в металле. Для этого из поверхностного слоя пробы отбирались образцы диаметром 2 мм. Содержание водорода в образцах определялось путем экстракции газов при 650...700 °С на приборе В-1, который позволяет разделять экстрагированные газы и определять их содержание в металле с точностью до 0,01 см³/100 г. Удельное содержание водорода в металле рассчитывалось по формуле:

$$C_H = V_H/m,$$

где V_H – объем экстрагированного водорода, см³;
 m – масса образца, г.

Для воспроизводимости результатов опытов проводилось испытание трех образцов, полученные результаты усреднялись и переводились из единиц см³/100г в объемные проценты (ppm).

Для сравнения был проведен типичный для валковой стали 50ХН режим ПФО (нормализация при 880...900 °С и двукратный высокий отпуск при 600...650 °С), после каждого этапа которого определялось содержание выделившегося водорода.

Исследования образцов, обработанных по режимам ТЦО, показали немонотонное изменение удельного количества водорода (гистограммы показаны на рисунке – а, б), тогда как типичный режим ПФО демонстрирует снижение C_H после каждого этапа обработки (в). При сопоставлении значений C_H с величинами плотности дислокаций в феррите (ρ), которые были определены с помощью рентгеноструктурного анализа [7] был обнаружен сходный характер изменения этих двух показателей.

Явление повышения плотности вакансий и дислокаций при ТЦО связано с многократными фазовыми превращениями $\alpha \leftrightarrow \gamma$, во время которых в результате межфазного наклепа происходит генерирование дефектов в структуре. Кратковременные изотермические выдержки при T_{max} не позволяют пройти процессам аннигиляции дефектов, что позволяет накапливать их от цикла к циклу. Однако при накоплении некоторой критической плотности дислокаций, происходит ее самопроизвольный «сброс». Это явление описано в работе [1], и его связывают с перестройкой решеточных дислокаций в стенки блоков мозаики и субзерен.

Обсуждать полученные результаты можно с учетом изменения растворимости примесей внедрения в феррите при увеличении в нем плотности вакансий, дислокаций, увеличении протяженности границ субзерен и зерен. Например, в работе [8] показано, что повышение плотности дефектов за счет деформации приводит к повышению растворимости водорода в металле. По-видимому, к повышению растворимости должны привести любые обработки, направленные на образование в структуре дефектов. Однако если процесс генерирования и аннигиляции дефектов сделать циклическим, то в момент «сброса» дефектности водород будет переходить в поры решетки и приобретать большую подвижность, а следовательно возрастет и вероятность его удаления из металла. Следовательно, более эффективно можно было бы влиять на удаление водорода, создавая повышенную плотность дислокаций и границ в поверхностных слоях заго-

товки, чтобы именно здесь создать излишек концентрации по водороду.

Так, на примере используемых в нашем исследовании режимов ТЦО можно сказать, что в течение нескольких первых циклов должно происходить связывание атомов водорода в атмосфере, а последующее резкое снижение плотности дефектов – возврату атомов в несвязанное с дислокациями состояние. Если учесть, что фронт полиморфного превращения при ТЦО с минимальными выдержками при T_{max} затрагивает только внешние слои заготовки, то генерация дефектов будет происходить у поверхности, тогда как сердцевина будет находиться в условиях близких к высокому отпуску. На этапе нагрева между двумя циклами дислокации новой генерации в аустените поверхностного слоя будут играть роль «ловушек водорода». Таким образом здесь появится избыток водорода по сравнению с сердцевиной, где плотность дефектов меньше и сохранилась феррито-перлитная структура. С увеличением концентрации водорода у поверхности, возникнет градиент концентраций, который с одной стороны должен способствовать процессам десорбции и удалению водорода в атмосферу печи, а с другой стороны - способствовать оттоку водорода назад к сердцевине. Однако начавшееся охлаждение приводит фронт превращения к движению в противоположную сторону (по направлению к поверхности), глубина аустенитного слоя с более высокой, чем у феррита растворимостью водорода сокращается, феррито-перлитная структура наследует дислокации и обратный отток не может быть равноценен прямому. Обратная картина будет наблюдаться только в случаях снижения плотности дислокаций в результате самоуничтожения.

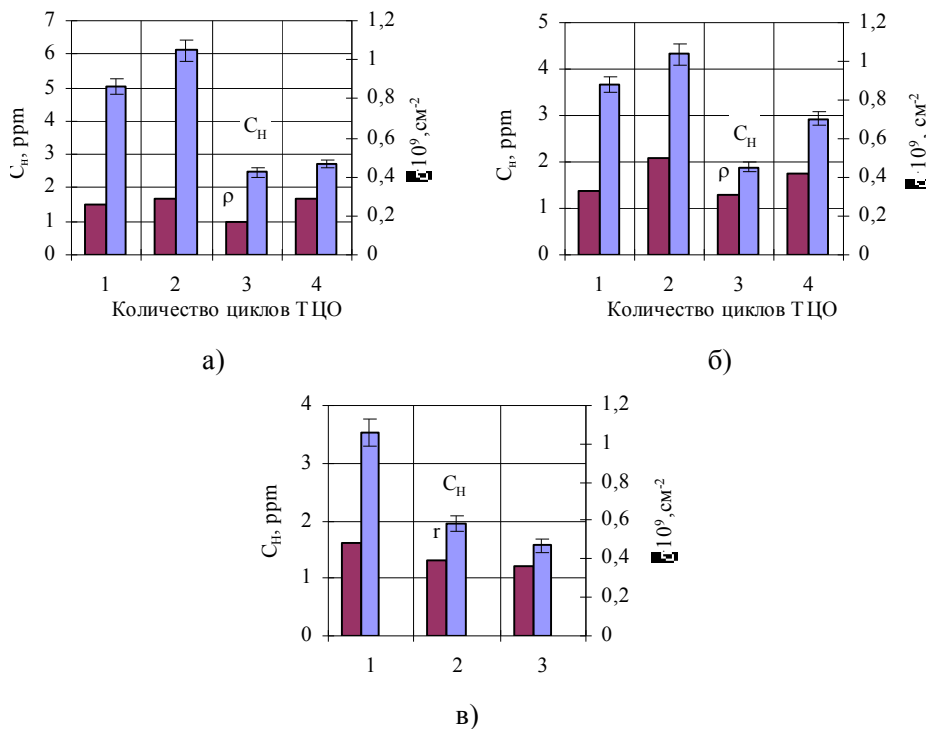


Рисунок – Связь между плотностью дислокаций и удельным содержанием водорода при термоциклировании по режимам: а, б – с повышением T_{max} №1 и №2 соответственно; в – при обработке по режиму ПФО (позиция 1 – во время охлаждения при нормализации, позиция 2 – после однократного высокого отпуска, позиция 3 – после двукратного высокого отпуска)

По гистограммам (см. рисунок) видно, что в циклах 1 и 2 обоих режимов ТЦО идет накопление ρ , и количество водорода, извлеченного из образцов сразу после этих циклов, увеличивается. В третьих циклах режимов ТЦО произошел «сброс» плотности дислокаций, поэтому C_H - низкое. Затем в цикле 4 тех же режимов ρ возросла, что привело к увеличению C_H .

В противовес этому, применение высокого отпуска приведет к развитию процессов рекристаллизации, уменьшению плотности дефектов, а, следовательно, к снижению растворимо-

сти водорода в твердом растворе, что скорее будет способствовать образованию локальных его скоплений с последующим образованием в них флокенов.

Как отмечается в работах В.К. Федюкина и А.М. Гурьева [1, 9], при ТЦО диффузионный массоперенос через твердые растворы становится возможным в случае наличия в фазовой системе растворимости компонентов друг в друге. Кроме того, в сплавах с полиморфизмом при многократно повторяющихся диффузионных фазовых превращениях возникают значительные межфазные напряжения, способствующие накоплению вакансий и дислокаций, которые в свою очередь влияют на процессы диффузии. Этот эффект на практике используется в процессах хиткотермической циклической обработки (ХТЦО), например, цементации. Его использование позволяет увеличивать глубину слоя насыщения углеродом на 35 % по сравнению со стандартными режимами цементации, при этом подвижность атомов углерода увеличивается в 2,5...3 раза. При борировании стали в режиме ТЦО получают достаточно высокие показания ударной вязкости и менее выражена столбчатость боридов. Можно ожидать аналогичного повышения подвижности атомов водорода, что вполне может обеспечить его удаление из заготовки за более короткое время обработки.

Дополнительно можно отметить, что ТЦО способствует перераспределению не только водорода, но и других примесей. Так, в работе [1], отмечается, что термоциклирование легированных сталей перлитного класса делает их малочувствительными к тепловой хрупкости и устраняет отпускную хрупкость второго рода. Поскольку оба вида хрупкости связаны с образованием сегрегаций фосфора (а в валковых сталях типа 50ХН с небольшим содержанием меди, медь усиливает сегрегацию фосфора, что является причиной дополнительного ослабления межзеренного сцепления), то увеличение общей протяженности границ зерен способствует уменьшению концентрации примесей у границ и уменьшает вероятность зарождения трещин. В работах автора [5, 6] получены убедительные результаты, подтверждающие это положение – возросшие показатели ударной вязкости и характер поверхности излома указывает на снижение склонности к отпускной хрупкости.

Выводы

1. Обнаружено, что с увеличением плотности дислокаций, образованных после термоциклирования, растет количество водорода удаляемого из металла при последующем нагреве.
2. Генерирование и периодическая аннигиляция плотности дислокаций при проведении ТЦО, сосредоточенные у поверхности заготовки, создают условия более полного удаления водорода из термообрабатываемой заготовки, следовательно, термоциклирование можно использовать как часть режима противоблокенной обработки.

Список использованных источников:

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л. : Машиностроение, 1989. – 255 с.
2. Криштал М.А. Интенсификация процесса цементации методами термоциклической обработки / М.А. Криштал, М.С. Кенис // МиТОМ. – 1984. – № 5. – С. 58-61.
3. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов / С.З. Бокштейн. – Металлургия, 1973. – 208 с.
4. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов / Под ред. М.Х. Хоршорова. – М. : Наука, 1984. – 186 с.
5. Иващенко В.Ю. Влияние ТЦО на свойства валковой стали 50ХН / В.Ю. Иващенко // Захист металургійних машин від поломок : міжвуз. темат. сб. науч. тр. – Маріуполь, 2000. – Вип. № 5. – С. 257-261.
6. Иващенко В.Ю. Управление механическими свойствами валковых сталей с помощью термоциклической обработки / В.Ю. Иващенко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2003. – Вып. 22. – Ч.1. – С. 201.
7. Иващенко В.Ю. Влияние ТЦО с переменными параметрами на состояние субструктуры и свойства валковой стали 50ХН / В.Ю. Иващенко, Ф.К. Ткаченко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2004. – № 2. – С. 16-18.
8. Астафьев А.А. О растворимости водорода в деформированной стали / А.А. Астафьев, В.Г. Дубинская, Н.Д. Еременко // МИТОМ. 1987. – № 7. – С. 24-27.

9. Гурьев А.М. ТПО углеродистых и инструментальных сталей / А.М. Гурьев, Д.П. Чепрасов, А.А. Рубцов // Всероссийская НТК : сб. тез. докл. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1996. – С.87.

Bibliography:

1. Fedyukin V.K. Thermocyclical treatment of metals and details of machines / V.K. Fedyukin, M.E. Smagorinskiy. – L. : Mashinostroenie, 1989. – 255 p. (Rus.)
2. Krishtal M.A. Intensification of cementation process by methods of thermocyclical treatment / M.A. Krishtal, M.S. Kenis // Metallovedenie i termicheskaja obrabotka. – 1984. – № 5. – P. 58-61. (Rus.)
3. Boksteyn S.Z. Diffusion and structure of metals / S.Z. Boksteyn. – M. : Metallurgia, 1973. – 208 p. (Rus.)
4. Thermocyclical treatment of steels, alloys and composition materials. / Under editing of M.Kh. Khorshorova. – M. : Nauka, 1984. – 186 p. (Rus.)
5. Ivashenko V.Yu. Influence of thermocyclical treatment on properties of roll's steel / V.Yu. Ivashenko // Zahyst metalurgiyinyh mashin vid polomok: mezhvuz. temat. sb. nauch. tr. – Mariupol, 2000. – N 5. – P. 257-261. (Rus.)
6. Ivashenko V.Yu. Management by mechanical properties of roll's steels by methods of thermocyclic treatment / V.Yu. Ivashenko // Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. – 2003. – V. 22. – Part 1. – P. 201. (Rus.)
7. Ivashenko V.Yu. Influence of TCT with in-out parameters on the state of substructure and property of roll's steel / V.Yu. Ivashenko, F.K. Tkachenko // Novi materially i tekhnologii v metallurgii ta vfshinobuduvanni. – 2004. – № 2. – P. 16-18. (Rus.)
8. Astafjev A.A. About solubility of hydrogen in the deformed steel / A.A. Astafjev, V.G. Dubinskaya, N.D. Eremenko // Metallovedenie i termicheskaja obrabotka. – 1987. – № 7. – P. 24-27. (Rus.)
9. Gurjev A.M. TCT of carbon instrumental steels / A.M. Gurjev, D.P. Cheprasov, A.A. Rubtsov // Vserossiyskaya NTC. : col. of theses. – Barnaul : Publishing house of AltGTU, 1996. – P. 87. (Rus.)

Рецензент: Л.С. Малинов
д-р техн. наук, проф. ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 29.11.2012