

7. Perfection of an assortment and the production technology of railway rails / D.V.Stalinsky, A.S. Ruduk, I.V. Ganoshenko [etc.] // Metallurgical and mining industry. – № 6. – 2010. – P. 66-68. (Rus.)

Рецензент: И.Ф. Ткаченко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 20.10.2012

УДК: 621.785: 669.017

©Иващенко В.Ю.*

ВЛИЯНИЕ ТЦО НА СТОЙКОСТЬ ПРОТИВ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ СТАЛИ 50ХН

В статье показано, что термоциклическая обработка (ТЦО), повышая комплекс механических свойств стали 50ХН, позволяет значительно повысить стойкость к термической усталости. Металлографические исследования трещин термической усталости показали, что параметры макроструктуры и микроструктуры оказывают влияние на развитие и локализацию трещин.

Ключевые слова: сталь, термоциклическая обработка, термическая усталость.

Иващенко В.Ю. Вплив ТЦО на стійкість проти термічної втоми сталі 50ХН. У статті показано, що термоциклічна обробка, підвищуючи комплекс механічних властивостей сталі 50ХН, дозволяє значно покращити стійкість до термічної втоми. Металографічні дослідження тріщин термічної втоми показали, що параметри макроструктури (розташування і форма ліквіаційних ділянок, скупчення включень) і микроструктури (тип структури, розмір зерна) впливають на розвиток і локалізацію тріщин.

Ключові слова: сталь, термоциклічна обробка, термічна втома.

V.Yu. Ivaschenko. Thermocyclical treatment's influence on resistance to thermal weariness of steel. In this article was showed that complex of mechanical characteristics of steel (5%C+1%Cr+1%Ni) and resistance to thermal weariness can be promoted by the thermo cyclical treatment. Metallographic studies of the thermal weariness cracks has shown that parameters macrostructure and microstructure influence on development and localization of the cracks.

Keywords: steel, thermo cyclical treatment, resistance to thermal weariness.

Постановка проблемы. Инструмент для горячей деформации металла работает в сложных условиях циклического температурно-силового воздействия, и одной из основных причин выхода его из строя является возникновение сетки трещин разгара, и как следствие - термической усталости. Выявление причин разрушения и повышение долговечности инструмента путем предотвращения разгара поверхности остается актуальной технической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Рабочая стойкость инструмента зависит от многих факторов, так или иначе влияющих на процессы термоусталости: температур деформируемой заготовки и граничного слоя, теплофизических свойств контактируемых материалов, времени и скорости деформации, микрорельефа инструмента, контактного давления и др. Разными авторами предлагаются различные пути повышения стойкости: оптимизация технологического процесса деформации и, в том числе, температурного режима эксплуатации инструмента [1, 2], оптимизация технологических процессов производства и термообработки инструмента [3, 4], очистка стали от примесей, снижающих стойкость против термоусталости [5].

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

В литературе приводится множество разных методик испытаний на термическую усталость [6, 7] и способов ее расчетного определения и моделирования [8, 9], что делает невозможным сопоставление между собой результатов испытаний и расчетов. Нет единого критерия оценки, следовательно, выбрать более универсальную методику испытаний не представляется возможным. Поэтому способ определения разгаростойкости конкретного типа инструмента по результатам производственных испытаний остается наиболее объективным.

Связь процессов термической усталости с микро- и макроструктурой изучена в недостаточной мере. Принято считать, что существенное влияние на уровень внутренних напряжений и развитие трещин оказывает разница в теплофизических свойствах карбидных фаз и матрицы, что вызывает дополнительные напряжения на границах их раздела и ускоряет процесс термоусталостного разрушения. Известно, что режимы термических обработок, способствующие измельчению зерна, сфероидизации карбидной фазы (например, ТЦО), повышают механическую усталостную прочность [10], но влияние подобных обработок на стойкость против термической усталости посредством их влияния на параметры микро- и макроструктуры изучено недостаточно.

Цель статьи – изучить влияние параметров макро- и микроструктуры стали, прошедшей термоциклическую обработку, на характер развития трещин термической усталости.

Изложение основного материала. Исследованию подвергались образцы из стали 50ХН, отобранные с поверхности ковальной заготовки и прошедшие термоциклическую обработку по разным режимам ТЦО с переменными параметрами. Режимы включали по 4 циклических нагрева, максимальные температуры нагрева при этом менялись по определенным схемам в пределах разных режимов: или возрастали от цикла к циклу, или убывали, или оставались постоянными. Минимальные температуры находились в пределах 250...300 °С. Охлаждение после каждого цикла осуществлялось на воздухе [11]. Для сравнения пробу на термическую усталость параллельно проходили образцы, взятые с 1/3 радиуса поковки, незатронутые деформацией.

Испытания на термическую усталость проводились на образцах с концентратором напряжения путем многократных нагревов до 615..620 °С (чтобы не путать с циклами ТЦО, далее по тексту эти нагревы называем термином «термосмены») с последующим охлаждением в воде (18..20 °С) до образования трещины.

Металлографические исследования показали, что после небольшого количества термосмен разрушились образцы, в структуре которых при травлении реактивом Обергоффера были выявлены достаточно крупные ликвационные полосы, обогащенные фосфором (рис. 1); в исследуемой стали содержание фосфора составляло 0,026 %. В образцах, выдержавших большое количество термосмен, отдельные участки трещин выходят за пределы ликвационных скоплений или частично располагаются в ликвационных полосах.



Рис. 1 – Трещина термической усталости в стали 50ХН, расположенная в ликвационной полосе фосфора ($\times 100$, травление реактивом Обергоффера)

Характер развития трещин в образцах, прошедших разное количество циклов при ТЦО, существенно зависит от размера зерна. В образцах крупнозернистых (балл № 5, 6) - участки трещин располагаются как по границам, так и по телу зерен. В мелкозернистых образцах (№ 8-11) трещины более разветвленные, заметно, что их развитие шло по нескольким руслам, что свидетельствует об их большей энергоемкости.

Ранее показано [11], что механические свойства, сформировавшиеся после ТЦО, зависят от числа циклов режима термообработки (чем больше было сделано циклов, в которых нагрев осуществлялся выше A_{C3} , тем больше балл зерна) и степени перегрева относительно A_{C3} в циклах (чем больше перегрев, тем выше дисперсность перлитной составляющей). Поскольку ТЦО активизирует диффузию и способствует повышению однородности структуры, а также приводит к росту вязкости разрушения [10], то логично предполагать и повышение стойкости к термической усталости.

Между механическими свойствами и стойкостью к термоусталости, выраженной числом выдержанных образцом термосмен до возникновения трещины (m), существует сильная множественная корреляционная связь: $R_{mn} = 0,952$. При этом получено адекватное уравнение (проверено по критерию Фишера при $P = 0,95$). Проверка по критерию Стьюдента показала, что все коэффициенты регрессионной модели – значимы:

$$m = 7,19 \cdot KCU + 3,69 \cdot \psi - 4,90 \cdot \delta + 0,86 \cdot \sigma_B - 0,54 \cdot \sigma_{02} + 214,98 \quad (1)$$

Поскольку в модели (1) коэффициенты представлены в реальном виде, т.е. имеют собственную размерность, то по их абсолютной величине нельзя судить о силе влияния каждого из учтенных факторов на показатель отклика. Более детально эту связь можно оценить по парным коэффициентам корреляции для отдельных факторов (таблица), которые показали максимальное влияние на m со стороны ударной вязкости ($R=0,92$) и относительного сужения ($R=0,68$).

Таблица

Коэффициенты парной корреляции между механическими свойствами и термической стойкостью стали 50ХН

Отклик	Факторы				
	$\psi, \%$	$\delta, \%$	$KCU, \text{ Дж/см}^2$	$\sigma_B, \text{ Н/мм}^2$	$\sigma_{02}, \text{ Н/мм}^2$
$m, \text{ ед}$	0,68	0,52	0,92	— 0,20	— 0,28

Изучение распределения микротвердости (HV) в сечении ликвационных полос показало, что HV максимальна в центре полосы и снижается по мере удаления от центра (рис. 2). Так как фосфор является примесью замещения и упрочняет твердый раствор, в месте его локализации склонность к хрупкому разрушению будет выше. В изломах многих образцов с преобладанием хрупкой составляющей ликвационные полосы видны как вытянутые борозды (рис. 3). Это обусловлено тем, что поверхностные слои поковки, откуда отобраны образцы, испытывали наиболее сильные деформации. Вид поверхности разрушения за пределами полосы (рис. 3) резко отличается от характера разрушения внутри полосы. Внутри – разрушение хрупкое, снаружи – преимущественно вязкое. На некотором расстоянии от вязкой зоны вновь начинается зона хрупкого разрушения. Это можно объяснить перераспределением легирующих элементов и примесей. Если в области полосы скапливаются примеси, упрочняющие твердый раствор, а из областей окружающего объема происходит их отток, то за пределами полосы должен наблюдаться вязкий характер разрушения, а несколько дальше – вновь хрупкий, что и подтверждает растровая микроскопия.

Внутри полосы (рис. 4) располагаются включения, которые облегчают зарождение трещины. В испытываемых образцах в пределах ликвационной полосы были обнаружены сульфиды и окисульфиды. Поверхность излома в области полосы представляет собой параллельные борозды, что позволяет говорить о продвижении микротрещины в направлении, перпендикулярном продольной оси полосы, или от места залегания включения – к периферийным областям (рис. 3, б). На такой характер раскрытия указывают светлые поперечные микрогребни, направленные перпендикулярно к оси трещины. Следует также отметить, что в мелкозернистых образцах подобные борозды в изломе не наблюдаются – разрушение носит обычный «ямочный» характер, хотя в микроструктуре выявлены ликвационные полосы. Следовательно, измельчение зерна при ТЦО стимулирует разрушение по вязкому типу, в том числе в участках, обогащенных примесями.

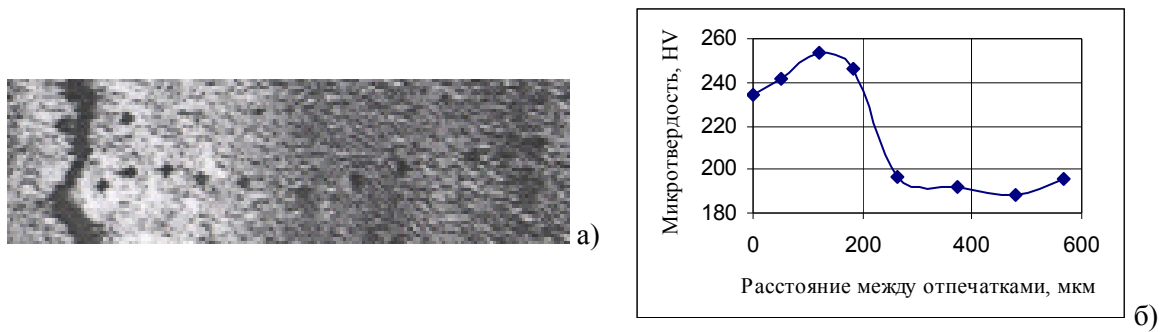


Рис. 2 – Распределение микротвердости по сечению ликвационной полосы: а – вид трещины в микроструктуре ($\times 100$) со следами отпечатков твердомера; б – соответствующие фотографии замеры микротвердости

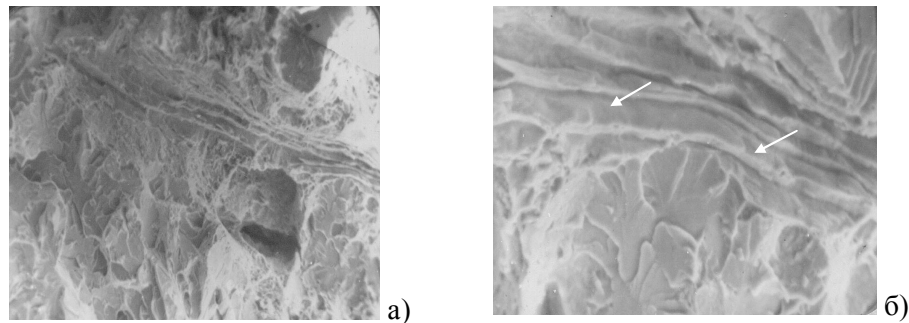


Рис. 3 – Продольные борозды на поверхности излома, расположенные в месте залегания ликвационной полосы при увеличениях: а) $\times 250$; б) $\times 1000$

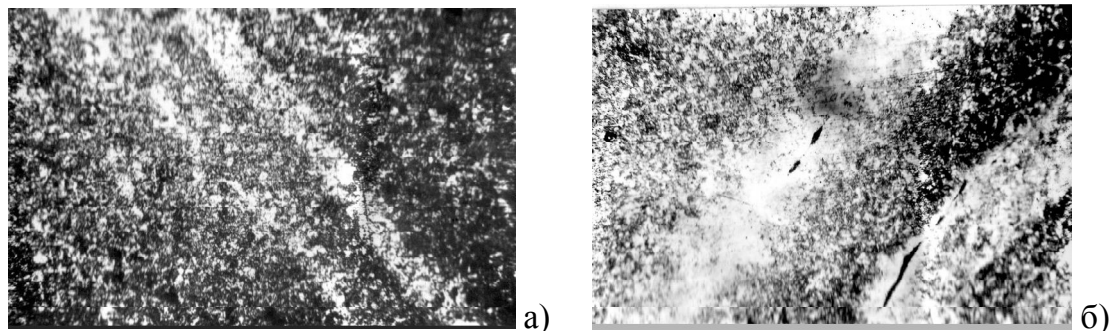


Рис. 4 – Ликвационные полосы в стали 50ХН, сосредоточенные у включений разного вида: а) оксисульфидов; б) сульфидов ($\times 600$)

В отличие от поверхностных слоев поковки, в более глубоких слоях с сохранившейся литой структурой трещины зарождались в ликвационных участках, расположенных в междендритных пространствах. Протяженность этих трещин ограничена размером области химической неоднородности, а отсутствие обезуглероженного слоя у русла свидетельствует о том, что трещины не сообщались с поверхностью. В целом, комплекс механических свойств у этих образцов был ниже, чем у образцов вырезанных с поверхности поковки, а количество трещин, выявленных на нетравленных поверхностях микрошлифов, оказалось большим, чем у образцов с поверхности. Так, стойкость образцов, отобранных с $1/3$ радиуса поковки и прошедших ТЦО, оказалась в среднем ниже разгаростойкости образцов, вырезанных из поверхностных слоев на 30..170 термосмен. Это можно объяснить расположением на расстоянии $1/3$ радиуса от поверхности поковки ликвационной зоны.

Выводы

1. Стойкость против термической усталости зависит от параметров макро- и микроструктуры, т.к. на процессы развития трещин разгара оказывают влияние локальные факторы – наличие ликвационных полос, сосредоточенных включений, создающих макронеоднородность; а также факторы, действие которых распространяется на весь объем образца – вид микроструктуры и балл зерна, определяющие уровень механических свойств.
2. ТЦО как обработка, измельчающая зерно, способствует росту энергоемкости разрушения и, в частности, повышает стойкость к термической усталости.

Список использованных источников:

1. Матязж В.А. Экспериментальное исследование температуры нагрева контактной поверхности штампов высокоскоростных молотов / В.А. Матязж, И.А. Кравченко, Ю.П. Согришин // КШП. – 1970. – № 7. – С. 36-38.
2. Пряхин А.В. Повышение работоспособности инструмента горячего деформирования / А.В. Пряхин, В.А. Николаев. – М. : Metallurgia, 1990. – 143 с.
3. Борисов И.А. Влияние перегрева на механические свойства валковых и штамповых сталей / И.А. Борисов // МиТОМ. – 2001. – № 8. – С. 20-25.
4. Ковалев В.Г. Конструкторско-технологическое обеспечение стойкости инструмента при штамповке на прессах с открытой станиной / В.Г. Ковалев // Вестник машиностроения. – 2002. – № 7. – С. 47-50.
5. Вальтер А.И. Повышение термостойкости штамповых сталей для горячего деформирования, полученных электрошлаковым переплавом / А.И. Вальтер, Р.Л. Тарасов // КШП. – 1999. – № 12. – С. 23-25.
6. Тайра С. Теория высокотемпературной прочности материалов / С. Тайра, Р. Оттани / Пер. с япон. – М. : Metallurgia, 1986. – С. 245-262.
7. Методика оценки стойкости наплавленного металла против термической усталости и износа при повышенной температуре / Б.И. Носовский, С.В. Гулаков, Е.И. Сомов и др. // Автоматическая сварка. – 1995. – № 4. – С. 17-19.
8. Гецов Л.Б. Методы расчетного определения сопротивления термической усталости деталей турбин / Л.Б. Гецов // Теплоэнергетика. – 2001. – № 4. – С. 24-27.
9. Смирнов С.В. Моделирование разрушения штамповой стали от трещин разгара / С.В. Смирнов, Р.Е. Лаповок, В.П. Швейкин // КШП. – 1997. – № 8. – С. 11-14.
10. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л. Машиностроение, 1989. – 255 с.
11. Иващенко В.Ю. Влияние ТЦО на свойства валковой стали 50ХН / В.Ю. Иващенко // Захист металургійних машин від поломок : межвуз. темат. сб. науч. тр. – Маріуполь, 2000. – Вип. 5. – С. 257-261.

Bibliography:

1. Matiazh V.A. Experimental research of heating's temperature of the contact surface of stamps of rapid-action hammers / V.A. Matiazh, I.A. Kravchenko, Yu.P. Sogrishin // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1970. – № 7. – P. 36-38. (Rus.)
2. Pryakhin A.V. Rise of capacity of instrument for hot deformation / A.V. Pryakhin, V.A. Nikolaev. – M. : Metallurgia, 1990. – 143 p. (Rus.)
3. Borisov I.A. Influence of overheat on the mechanical properties of roll's and stamp's steels / I.A. Borisov // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka. – 2001. – № 8. – P. 20-25. (Rus.)
4. Kovalev V.G. Designer-technological providing of firmness of instrument at stamping on presses with the opened frame / V.G. Kovalev // Vestnik mashinostroenia. – 2002. – № 7. – P. 47-50. (Rus.)
5. Valter A.I. Rise of heat-resistance of stamp's steels for the hot deformation, got by electro-slag remelting / A.I. Valter, R.L. Tarasov // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. – 1999. – № 12. – P. 23-25. (Rus.)
6. Tayra S. Theory of high temperature durability of materials / S. Tayra, R. Ottani. – M. : Metallurgia, 1986. – P. 245-262. (Rus.)
7. Estimation's method of firmness of overlay metal against the thermal fatigue and wear at the pro-

- 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