

УДК 620.179
DOI: 10.12737/20255

В.Н. Гадалов, А.В. Фролов, В.И. Муравьев, И.В. Ворначева, Т.Н. Розина

УТОЧНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНДАРТНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ МАРКИ 30ХГСА

Рассмотрена эффективность термической обработки стали марки 30ХГСА. Исследован режим изотермической закалки, способствующий выравниванию дефектной структуры стали, более полному мартенситному превращению и, как след-

ствие, повышению пластических и прочностных свойств.

Ключевые слова: сталь 30ХГСА, термическая обработка, изотермическая закалка, механические свойства, фазовое превращение.

V.N. Gadalov, A.V. Frolov, V.I. Muraviyov, I.V. Vornacheva, T.N. Rosina

EFFICIENCY ADJUSTMENT OF STANDARD THERMAL TREATMENT OF 30HGSA STEEL

The efficiency of thermal treatment of 30HGSA steel is considered. The mode of bainitic hardening contributing to smoothing of steel defective structure a more complete martensitic transformation and, as a

consequence, to the increase of plastic and strength properties is considered.

Key words: 30HGSA steel, thermal treatment, bainitic hardening, stress-strain properties, phase change.

Введение

Повышение эффективности технологий термической обработки сталей представляет собой ключевую задачу на пути совершенствования технологий производства продукции машиностроительных предприятий. Так как разработка режимов термической обработки основывается на влиянии фазовых превращений на свойства сталей, то исследование этой зависимости является важной научной и практической задачей. При этом представляется перспективным исследование недостаточно изученной зависимости субструктуры и свойств среднелегированных сталей от

процессов фазовых превращений, протекающих на границах аустенитного и бейнитного превращений (за исключением самих фазовых превращений).

В связи с изложенным авторами были проведены исследования влияния фазовых превращений и превращений во время двойной закалки с высокой скоростью нагрева и кратковременной выдержкой при температуре закалки, а также изотермической закалки с выдержкой в интервале бейнитного превращения на субструктуру и механические свойства стали 30ХГСА.

Методика эксперимента

Исследования проводились на трубных образцах из стали 30ХГСА с внутренним диаметром 10 мм, толщиной стенки 1 мм, длиной 15 мм. Химический состав образцов: 0,95 % Mn; 0,95% Cr; 0,9...1,2 % Si; 0,08 % Ni; 0,34 % С. Температуры критических точек [1]: $A_{c1}=760^{\circ}\text{C}$; $A_{c3}= 830^{\circ}\text{C}$; $A_{r3}=705^{\circ}\text{C}$; $A_{r1}=670^{\circ}\text{C}$; $M_i=352^{\circ}\text{C}$. Физические свойства: удельная тепло-

емкость $C_R = 459,5 + 0,06T \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$; коэффициент теплопроводности $\lambda=39,251 - 0,0108T \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{K}}$; плотность $\rho= 7762 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; коэффициент линейного расширения $\alpha= (11,971 + 0,0026T) 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$; модуль нормальной упругости $E = 2,2462 \cdot 10^5 (1 - 48,97 \cdot 10^{-5} T)$ МПа (T – температура, $^{\circ}\text{C}$).

Исследовались следующие режимы термической обработки:

- традиционная однократная закалка в воде с 900 °С;

- традиционная закалка в воде с последующим отпуском при 510 °С в течение 1 часа;

- двойная закалка: закалка в воде с 900°С, повторный нагрев в соляной ванне (50% NaCl / 50% KCl) при температуре 900°С в течение 1, 2, 5, 7 и 10 с, повторная закалка в воде;

- изотермическая закалка в щёлочи с 900°С с выдержками 10 с, 30 с, 1 мин, 5 мин и 15 мин при температуре 380°С.

Температура образцов при повторном нагреве определялась аналитически с учётом физических свойств исследуемой

стали. Температурно-временные условия повторного нагрева (для двойной закалки) выбирались таким образом, чтобы не допустить рост аустенитного зерна.

Термически обработанные образцы подвергались механическим испытаниям на сплющивание с постоянной скоростью (по ГОСТ 8695-75) на испытательной машине INSTRON 3382K7046. Момент образования трещины определялся с применением метода акустической эмиссии [2]. Кроме испытаний на сплющивание измерялась твёрдость образцов по методу Роквелла, по которой оценивался предел прочности (в соответствии с [3]), а также проводились микроструктурный и электронно-фрактографический анализы.

Результаты экспериментов

Механические свойства исследованных образцов представлены в табл. 1, 2 (P - нагрузка в момент образования трещины, δ_m - деформация (сплющивание) образца в момент образования трещины) и на рис. 1, 2. Результаты металлографических и фрактографических исследований представлены на рис. 3-6.

Как видно из представленных данных (табл. 1, рис. 1, 3, 4), в диапазоне изометрических выдержек 10 с...5 мин наблюдается резкое увеличение пластиче-

ских свойств материала. В диапазоне изометрических выдержек 30 с...1 мин наблюдается некоторое снижение нагрузки, приводящей к образованию трещины, при неизменной твёрдости. Этот же диапазон изометрических выдержек характеризуется более полным мартенситным превращением (меньшим количеством остаточного аустенита), отсутствием продуктов бейнитного превращения, а также более вязким характером разрушения.

Таблица 1
Зависимость механических свойств образцов из стали 30ХГСА от длительности изотермической выдержки

Режим термообработки	Механические свойства			
	P , кН	δ , мм	HRC	σ_b , МПа
Непрерывная закалка с 900 °С в воде	6,3	5,1	54	205
Непрерывная закалка с 900 °С в воде, отпуск при 510 °С 1 час	4,5	6,8	37,5	115
Изотермическая закалка с выдержкой 10 с при 380°С	6,4	5,7	53	195
Изотермическая закалка с выдержкой 30 с при 380°С	6,2	8,1	45	150
Изотермическая закалка с выдержкой 1 мин при 380° С	5,8	8,5	45	150
Изотермическая закалка с выдержкой 5 мин при 380° С	5,6	7,8	42	138
Изотермическая закалка с выдержкой 15 мин при 380° С	5,1	6,7	42	138

Таблица 2

Механические свойства образцов из стали 30ХГСА после различных режимов их повторной закалки

Режим термообработки	Механические свойства			
	P, кН	δ , мм	HRC	σ_B , МПа
Однократная закалка с 900 °С	6,3	5,1	54	2050
Закалка с 900 °С, отпуск при 510 °С 1 час	4,5	6,8	37,5	1150
Двойная закалка, длительность повторного нагрева - 1с	5	7,4	44	1420
Двойная закалка, длительность повторного нагрева – 2с	4,8	6,5	39	1350
Двойная закалка, длительность повторного нагрева – 5с	4	9,6	26	830
Двойная закалка, длительность повторного нагрева – 7с	5,6	4,7	53	1950
Двойная закалка, длительность повторного нагрева – 10с	6,8	5,1	58	2300

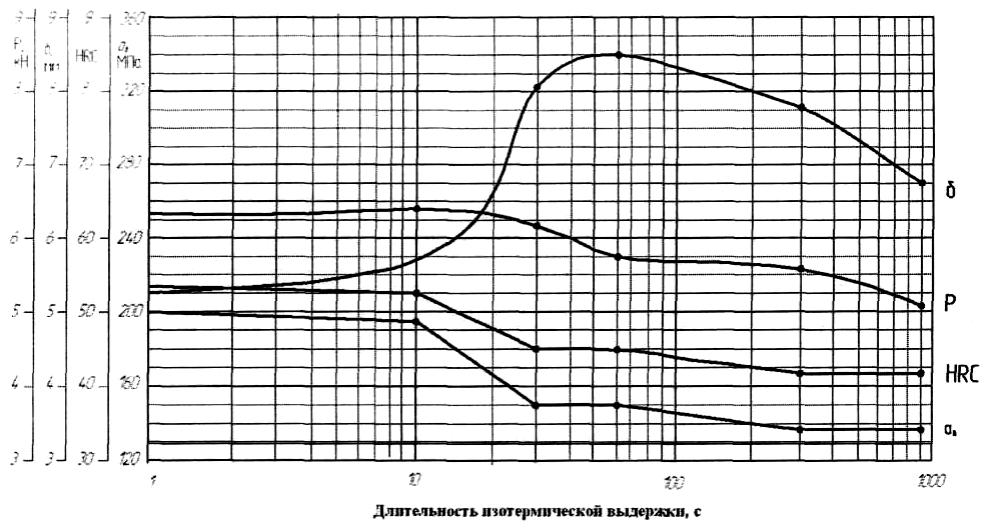


Рис. 1. Зависимость механических свойств стали 30ХГСА от времени изотермической выдержки при закалке

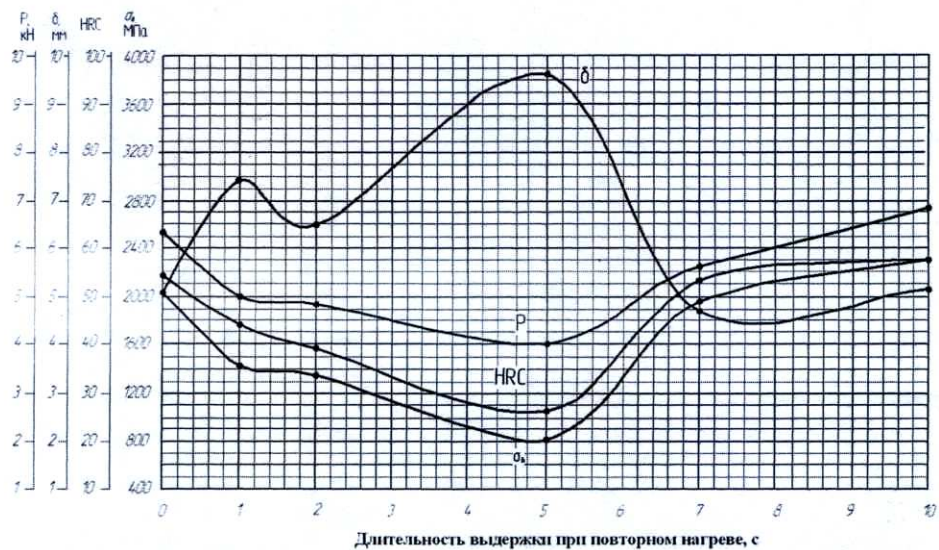


Рис. 2. Зависимость механических свойств стали 30ХГСА от длительности выдержки при повторном нагреве

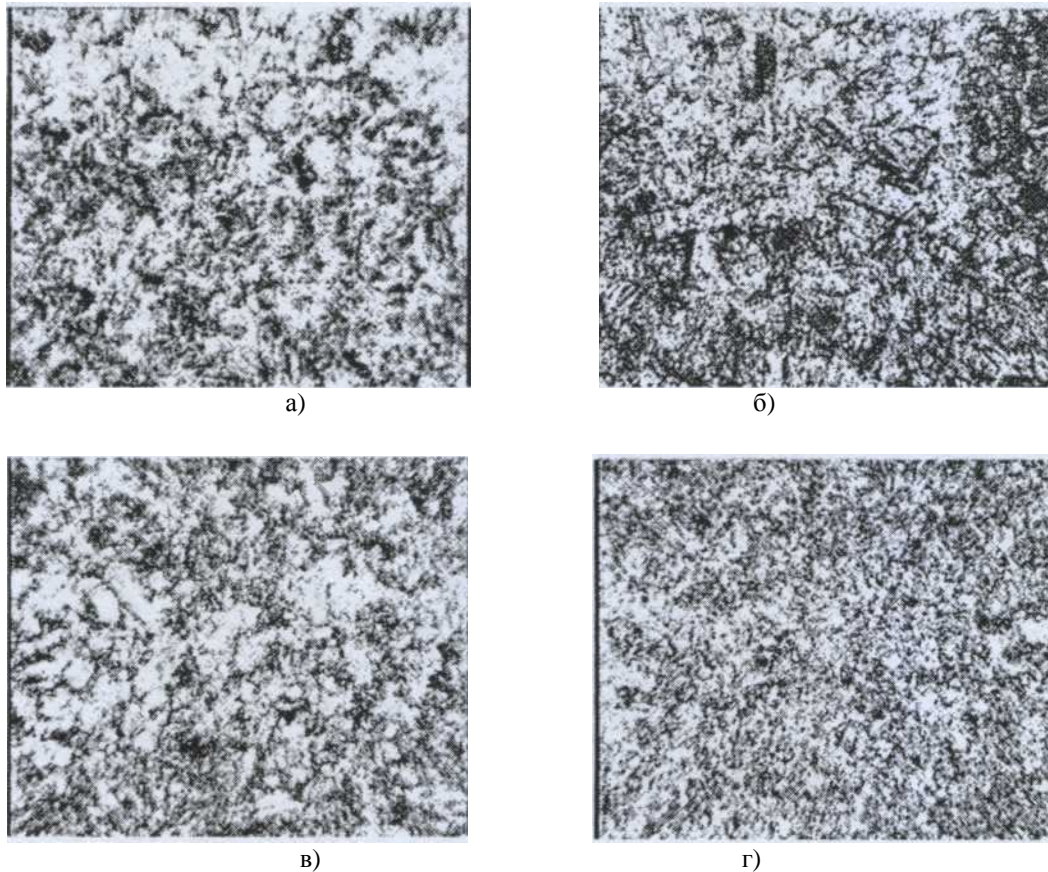


Рис. 3. Микроструктура (x 500) образцов из стали 30ХГСА после непрерывной закалки в воде с 900°C (а) и изотермической закалки с выдержкой при температуре 380°C в течение 10 с (б), 30 с (в) и 15 мин (г)

Во время повторной закалки увеличение выдержки при температуре закалки с 1 до 5 с приводит к снижению прочностных характеристик и твёрдости с одновременным увеличением пластических свойств, что эквивалентно отпуску. Но при выдержке 5 с прочностные характеристики в среднем на 15 % ниже аналогичных характеристик, полученных после традиционной закалки с отпуском, а пластические - выше в среднем на 40 %. Режим двойной закалки, эквивалентный отпуску по механическим характеристикам, соответствует выдержке в интервале 2...5 с. Дальнейшее увеличение выдержки приводит к повышению прочностных и снижению пластических свойств, т. е. к эффектам, соответствующим повторной закалке. Но при этом прочностные свойства в среднем на 8 % превышают аналогичные характеристики, получаемые при традиционной закалке, при одних и тех же пластических характеристиках.

Повторная быстрая аустенизация приводит к существенному измельчению

зерна. Изменение текстуры прессового происхождения в изломе труб зависит от времени аустенизации и практически исчезает при выдержке 10 с. Морфология поверхности разрушения образца с выдержкой при повторной аустенизации 10 с характеризуется изломом камневидного типа, что соответствует межзёрненному разрушению, как и для традиционно закалённого образца (с той лишь разницей, что величина зерна более чем в 7 раз меньше и составляет 3...5 мкм). Кроме того, в начале и конце разрушения образца наблюдаются сколы; сколов, как на рис. 5 а, не наблюдается. Морфология поверхности разрушения образцов с выдержкой при повторной аустенизации менее 10 с характеризуется квазикристаллическим изломом. Величина зерна - порядка 3...5 мкм, сохранилась текстура. И начале и конце разрушения на поверхности излома наблюдаются сколы, свидетельствующие о вязкости разрушения.

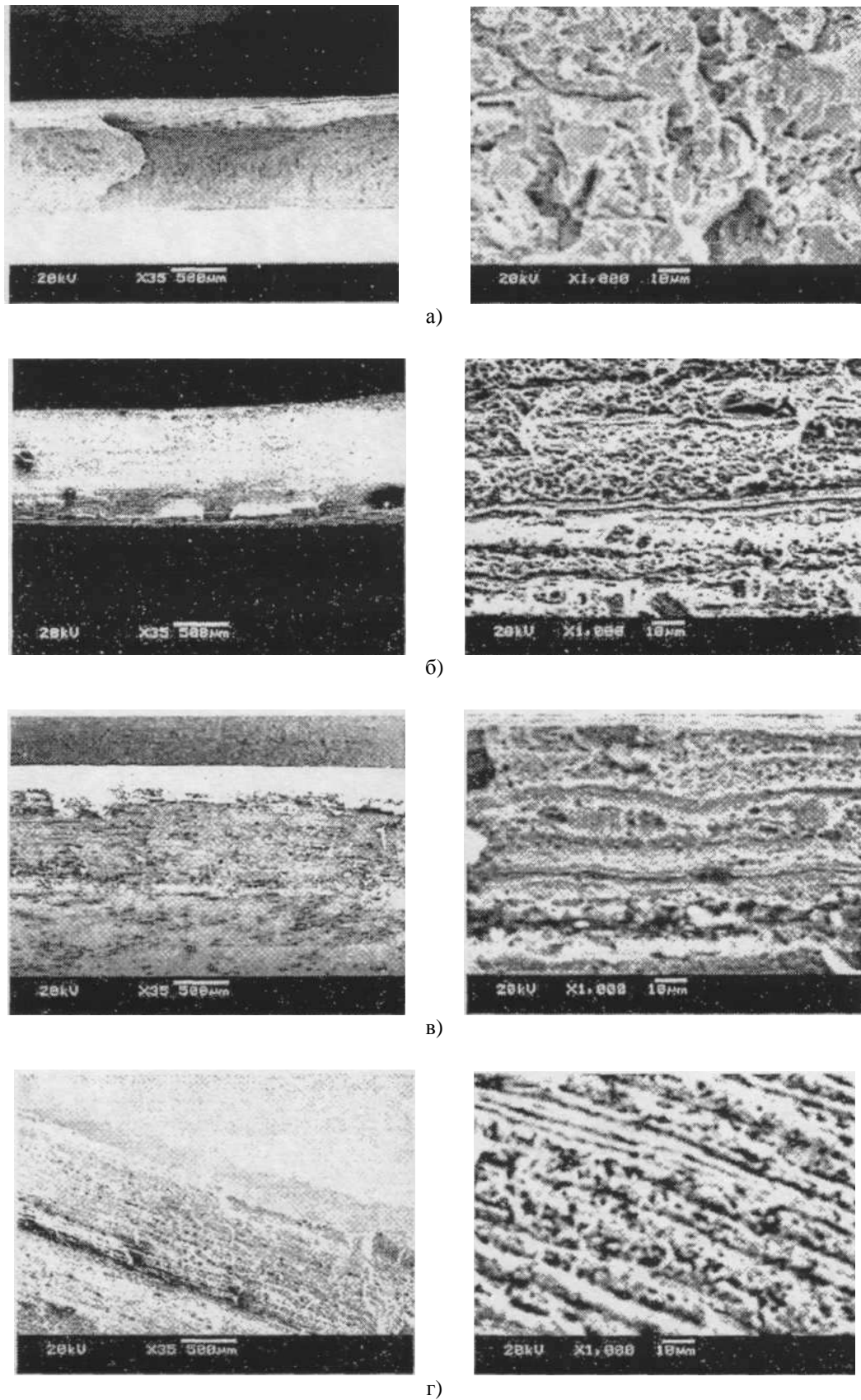


Рис. 4. Электронная фрактография излома образцов из стали 30ХГСА, испытанных на сплющивание после изотермической закалки с выдержкой при температуре 380°C в течение: а – 10 с; б – 30 с; в – 60 с; г – 15 мин

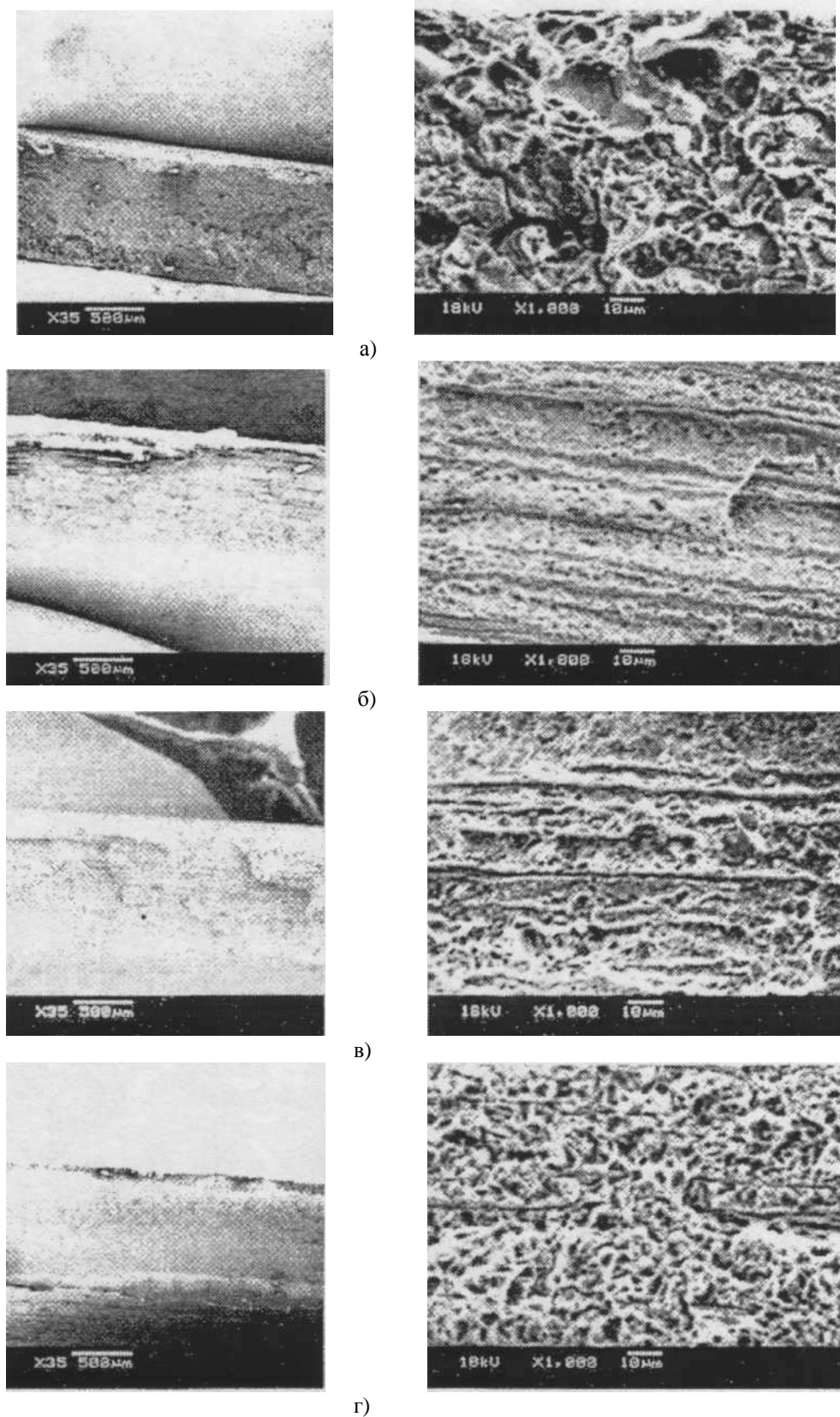


Рис. 5. Электронная фрактография излома трубных образцов из стали 30ХГСА, испытанных на сплющивание после закалки в воде с 900°C (а) и повторной закалки в воде при нагреве до 900°C в течение 1 с (б), 5 с (в), 10 с (г)

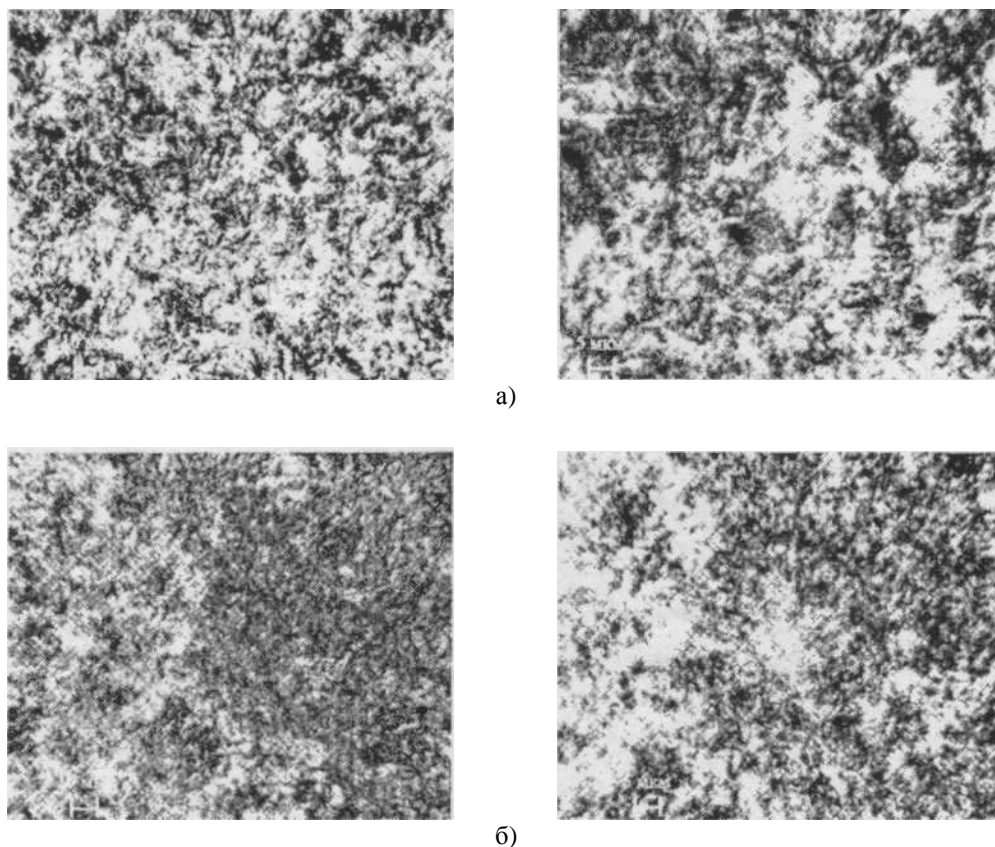


Рис. 6. Микроструктура трубных образцов из стали 30ХГСА после закалки в воде с 900°C (а) и повторной закалки в воде при нагреве до 900°C в течение 1 с (б)

Заключение

Исследованный режим изотермической закалки стали 30ХГСА с выдержкой в области бейнитного предпревращения (30...60 с при температуре 380°C) способствует выравниванию дефектной структуры стали, более полному мартенситному превращению и позволяет увеличить пластические свойства сплава до 25 % и прочностные характеристики до 37 % по сравнению с традиционным режимом термической обработки. Представляет научно-практический интерес более тщательное изучение влияния параметров изотермической выдержки в районе температуры бейнитного предпревращения и времени выдержки (1...300 с) на структуру и свойства

стали 30ХГСА, а также проверка исследуемого эффекта на других марках сталей.

Технологии многократной закалки могут быть использованы не только в качестве альтернативы классическому отпуску, требующей меньших временных затрат, но и в качестве перспективного метода получения улучшенного комплекса механических свойств стальных изделий. Эффекты, обнаруженные при исследовании двойной закалки стали 30ХГСА, нуждаются в более тщательном изучении (особенно вблизи температур фазовых превращений и выдержек при нагреве до 5 с), проверке на других типах конструкционных сталей и теоретическом обосновании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марочник сталей и сплавов / под ред. В.Г. Сорочкина. - М.: Машиностроение, 1989.-640 с.
2. Семашко, Н.А. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семаш-

- ко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин [и др.]. - М.: Машиностроение, 2002. – 240 с.
3. Гуляев, А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

1. Steel and Alloys Reference Book / under the editorship of V.G. Sorokin. - M.: Mechanical Engineering, 1989.- pp. 640.
2. Semashko, N.A. Acoustic Emission in Experimental Material Science / N.A. Semashko, V.I. Sport,

B.N. Maryin et al. - M.: Mechanical Engineering, 2002. – pp. 240.

3. Gulyaiev, A.P. Metal Science / A.P. Gulyaiev. - M.: Metallurgy, 1986. – pp. 544.

Статья поступила в редколлегию 4.04.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор Курской государственной сельскохозяйственной академии им. И.И.Иванова
Крупчатников Р.А.*

Сведения об авторах:

Гадалов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор Юго-Западного государственного университета, г. Курск, тел.: 8-908-128-49-70, e-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Фролов Алексей Валерьевич, к.т.н., доцент Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

Муравьев Василий Илларионович, д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

Gadalov Vladimir Nikolaievich, D.Eng., Prof. South-Western State University, Kursk, Phone: 8-908-128-49-70, e-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Frolov Alexey Valerievich, Can.Eng., Assistant Prof., Komsomolsk-upon-Amur State University

Muraviyov Vasily Illarionovich, D.Eng., Prof., Komsomolsk-upon-Amur State University

Ворначева Ирина Валерьевна, аспирант Юго-Западного государственного университета, г. Курск, тел.: 8-960-677-67-68, e-mail: vornairina2008@yandex.ru.

Розина Татьяна Николаевна, аспирант Юго-Западного государственного университета, г. Курск, тел.: (4712) 22-26-69.

Vornachyova Irina Valerievna, Post graduate student South-Western State University, Kursk Phone: 8-960-677-67-68, e-mail: vornairina2008@yandex.ru.

Rozina Tatiana Nikolaievna, Post graduate student South-Western State University, Kursk Phone: (4712) 22-26-69.