

// М. : Химия, 1971. – 416с.

9. Высококачественные чугуны для отливок / В.С. Шумихин, В.П. Кутузов, А.И. Храмченков и др.; под ред. Н.Н. Александрова. – М. : Машиностроение, 1982. – 222 с.

Bibliography:

1. Belaschenko D.K. The Phenomena of transfer in liquid metals and semiconductors / D.K. Belaschenko. – М. : Atomizdat, 1970. – 398 p. (Rus.)
2. Skrebcov A.M., Dan L.A., Vylegzhanina T.V. Change of properties of grey cast-iron after a thermocycling with the gradient of temperature // A.M. Skrebcov, L.A. Dan, T.V. Vylegzhanina // Theory and practice of metallurgical processes : Sb. – К. : UMK VO, 1990. – P. 94-102. (Rus.)
3. Dan L. A., Skrebcov A. M. A mechanism and kinetics of height of surface of cast-iron wares / L. A. Dan, A. M. Skrebcov // Priazov. State. tech. Univ: The ST. of Sciences. etc. – Mariupol, 2008. – P. 85-89. (Rus.)
4. Skrebcov A. M., Procenko D. N. Electronegateness of elements and use of her in the processes of formation of spherical graphite in cast-iron / A. M. Skrebcov, D. N. Procenko // the Metallurgical processes and equipment. – 2010. - №2 (20). – p.4-8. (Rus.)
5. Dil'mi Khamid. Influence of oxides of elements entering in the complement of greasing for moulds, on properties of cast-iron at the frequent heating to the high temperatures: Автореф. дис. канд. техн. sciences. it is Mariupol, 1988. - 15 p. (Rus.)
6. Kuz'menko P. P. Electromigration, termoperenos and diffusion in metals / P. P. Kuz'menko. – К. : Higher sch., 1983. – 152 p. (Rus.)
7. Poling L., Poling P. Chemistry / L. Poling, P. Polin c// М. : the World, 1978. – 584 p.
8. Klayd Dey M., Selbin Dzhoel. Theoretical inorganic chemistry / Dey M. Klayd, Dzhoel Selbin // М. : Chemistry, 1971. – 416 p. (Rus.)
9. High-quality cast-irons for foundings / V. P. Shumikhin, V. P. Kutuzov, A. I. Khramchenkov and dr.; under red. N. N. Aleksandrova. – М. : Engineer, 1982. – 222 p. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 01.03.2012

УДК 539.214:519.257

©Троцан А.И.¹, Каверинский В.В.², Левченко В.И.³,
Кашулэ И.М.⁴, Носоченко А.О.⁵

**ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СУЖЕНИЯ МЕТАЛЛА РЕЛЬСОВ
ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА И
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, УСТАНОВЛЕННАЯ
СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Разработаны рекомендации по оптимизации термообработки рельсов и химического состава рельсовой стали направленные на снижение отсортировки по относительному сужению. Указанная цель достигается за счёт поднятия температуры самоотпуска, снижения температуры нагрева под закалку, увеличения скорости перемещения рельса, снижения содержания O₂ и P, повышения содержания Cr при поддержании Mn и V на нижнем уровне.

Ключевые слова: относительное сужение, рельсы, рельсовая сталь, термообработка, самоотпуск, закалка, рельсозакалочная машина, химический состав стали, статистический анализ.

¹ д-р техн. наук, зав. кафедрой, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² вед. инж., Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев

³ директор по технологии и качеству, ПАО «МК «Азовсталь», г. Мариуполь

⁴ начальник ИТЦ ТУ, ПАО «МК «Азовсталь», г. Мариуполь

⁵ канд. техн. наук, вед. инж. сектора металлургии прокатного отдела, ПАО «МК «Азовсталь», г. Мариуполь

Троцан А.І., Каверинський В.В., Левченко В.І., Кашуле І.М., Носоченко О.О. Залежність відносного звуження металу рейок від технологічних параметрів виробництва і хімічного складу, що встановлена статистичними методами. Розроблені рекомендації з оптимізації термообробки рейок і хімічного складу рейкової сталі спрямовані на зниження відсорткування за відносним звуженням. Вказана ціль досягається за рахунок підняття температури самовідпуску, зниження температури нагріву під гартування, збільшення швидкості переміщення рейки, зниження вмісту O_2 і P , підвищення вмісту Cr , при підтримуванні Mn і V на нижньому рівні.

Ключові слова: відносне звуження, рейки, рейкова сталь, термообробка, самовідпуск, гартування, рейко гартувальна машина, хімічний склад сталі, статистичний аналіз.

A.I. Trotsan, V.V. Kaverinskiy, V.I. Levchenko, I.M. Kashule., O.O. Nosochenko. Dependence of the contraction ratio of rail metal on technological parameters of manufacture and the chemical combination, established fixed by statistical methods. Recommendations were made for optimisation of heat treatment of rails and chemical combination of rail steel directed on decrease of the rejection because of low contraction ratio. The objective is reached by raising of self-tempering temperature, decrease of hardening temperature, increase in velocity of the rail movement, decrease of content of O_2 and P , increase in content of Cr , keeping Mn and V content at the bottom level.

Keywords: contraction ratio, rails, rail steel, heat treatment, self-tempering, hardening, rail quenching machine, steel chemical combination, the statistical assaying.

Постановка проблеми. Одной из важнейших разновидностей проката фасонного профиля специального назначения являются рельсы. Значительный объём грузоперевозок, строительство высоконагруженных скоростных железных дорог налагают всё более высокие требования к качеству производимых рельсов и стали для их изготовления. При совершенствовании технологии производства рельсов большое внимание уделяется обеспечению высокого уровня твёрдости и прочности при сохранении пластических свойств и ударной вязкости на достаточном уровне [1]. Однако в ряде случаев в металле термообработанных рельсов из стали конвертерного производства наблюдались низкие значения относительного сужения при растяжении (ψ), что приводило к переводу их в низшую категорию качества. Для выяснения причин возникновения неудовлетворительных значений ψ рельсовой стали и разработки рекомендаций по снижению отсортровки была проведена данная научно-исследовательская работа.

Анализ последних исследований и публикаций. Совершенствованию технологии производства железнодорожных рельсов и повышению их качества посвящён целый ряд различных исследований. Современным и высокоэффективным способом упрочнения рельсов является поверхностная закалка головки рельсов токами высокой частоты с охлаждением водовоздушной смесью [2] или сжатым воздухом [3]. Разработаны технологии, позволяющие упрочнять не только верхнюю, но и боковую поверхность головки рельса [4]. Немало внимания уделялось также повышению качества рельсовой стали и оптимизации её химического состава [4-8]. Основные тенденции при этом сводились к корректировке содержания углерода и марганца, легированию и микролегированию рельсовой стали хромом, ванадием, титаном и другими элементами, исследованию методов снижения вредных примесей (O_2 , S , P), предотвращению появления микросегрегаций углерода и легирующих элементов, ухудшающих свойства материала и эффективность термообработки. Существуют также исследования направленные на снижение отрицательного влияния на свойства рельсовой стали неметаллических включений [9,10]. Следует отметить, что основная масса исследований была направлена на повышение характеристик прочности, твёрдости, износостойкости рельсов, тогда как повышению пластических свойств (относительного удлинения и сужения) и выяснению возможных причин их снижения уделялось недостаточно внимания. В связи с возникшей проблемой отсортровки рельсов по причине неудовлетворительных значений ψ на ПАО «МК «Азовсталь» вопрос выяснения причин его снижения до значений ниже допустимых и поиск путей решения указанной проблемы приобрёл высокую актуальность.

Цель статьи – выяснение причин снижения относительного сужения металла рельсов до неудовлетворительных значений и выдача рекомендаций, направленных на уменьшение отсортировки.

Изложение основного материала. Методами математической статистики был проведен анализ влияния технологических параметров на ψ применительно к рельсовой стали, произведенной на ПАО «МК «Азовсталь» в период с 28.02.2011 по 12.10.2011. В общей сложности рассмотрена 451 плавка. В качестве независимых параметров (факторов) были взяты: содержание углерода, марганца, кремния, серы, фосфора, хрома, никеля, меди, ванадия, скорость движения рельса в рельсозакалочной машине, температура нагрева под закалку, температура самоотпуска, расходы воды на каждой из шести секций рельсозакалочной машины (РЗМ) и номер ручья. Предварительный анализ данных показал, что распределение всех рассматриваемых параметров близко к нормальному. Следовательно, применение регрессионного анализа математически корректно и допустимо [11]. В таблице 1 представлены основные статистические характеристики рассматриваемых параметров: среднее, минимальное и максимальное значения, дисперсия (S^2), среднее квадратичное отклонение (σ) и коэффициент ковариации (cov). Все рекомендации, выдаваемые в данной работе на основании статистического анализа, справедливы только в пределах указанного в таблице варьирования факторов. Следует отметить, что наиболее распространенным значением ψ среди рассмотренных данных является $\psi=24...27\%$, которое встречается примерно в 24 % плавков. Значения ψ ниже 15 %, равно как и значения ψ выше 33% редки.

Таблица

Основные статистические характеристики параметров

Фактор	Среднее значение	Минимум	Максимум	σ	$cov, \%$	S^2
№ Руч.	9,85	5	12	1,98	20,09	3,91
C	0,773 %	0,72 %	0,81 %	0,017	2,21	$2,9 \cdot 10^{-4}$
Mn	0,906 %	0,84 %	0,105 %	0,027	3,02	$7,5 \cdot 10^{-4}$
Si	0,315 %	0,24 %	0,40 %	0,031	9,91	$9,7 \cdot 10^{-4}$
S	0,0044 %	0,0010 %	0,0170 %	0,003	68,13	$8,9 \cdot 10^{-06}$
P	0,0172 %	0,0010 %	0,0310 %	0,004	22,76	$1,5 \cdot 10^{-05}$
Cr	0,0325 %	0,02 %	0,08 %	0,0099	30,60	$9,8 \cdot 10^{-5}$
Ni	0,0273 %	0,010 %	0,015 %	0,00116	42,62	$13 \cdot 10^{-6}$
Cu	0,0314 %	0,01 %	0,08 %	0,0105	33,53	$1,1 \cdot 10^{-3}$
V	0,055 %	0,031 %	0,070 %	0,0075	13,85	$5,7 \cdot 10^{-05}$
$V_{дв. р-са}$	43,06 мм/с	38,0 мм/с	45,0 мм/с	0,847	1,97	0,716
T_n	933,3 °C	895 °C	950 °C	7,33	0,79	53,8
$T_{с.о.}$	462,2 °C	380 °C	540 °C	27,74	6,00	769,4
Расх. вод. 1	42,68	20,0	64,0	6,21	14,55	38,6
Расх. вод. 2	57,16	34,0	74,0	6,12	10,71	37,5
Расх. вод. 3	68,23	40,0	92,0	7,72	11,30	59,5
Расх. вод. 4	73,20	42,0	96,0	8,81	12,03	77,6
Расх. вод. 5	63,94	26,0	98,0	10,39	16,26	108,1
Расх. вод. 6	36,31	18,0	84,0	9,99	27,50	99,8
ψ	25,44	5,5	54,0	6,75	26,54	45,6

Также можно отметить не очень выраженный максимум распределения в районе $\psi=18...21$. Это может говорить о том, что случаи пониженного ψ можно разбить на две категории: в первой относительное сужение понижено незначительно (в пределах 21-24%), во второй имеется значительное снижение ψ (ниже 20%). Методом корреляционного анализ установлено, что имеется выраженная взаимосвязь между номером ручья и всеми расходами воды, в мень-

шей степени, температурой нагрева под закалку и температурой отпуска. Коррелированы содержание марганца с содержанием хрома и углерода, содержание углерода и кремния, хрома и никеля, никеля и меди, кремния и фосфора, кремния и ванадия. Заметно выражена корреляция между температурой нагрева под закалку и скоростью движения рельса. Все расходы воды коррелированы между собой. Имеются также другие межфакторные корреляции, но они незначительны, возможно, случайны.

Свойство (относительное сужение) имеет статистически значимую корреляцию с содержанием хрома, скоростью движения рельса, температурой нагрева под закалку, температурой самоотпуска, расходом воды в первой и четвёртой секциях. Это говорит о возможности наличия заметного влияния этих факторов на свойство. Наибольшая корреляция у ψ с температурой самоотпуска. На рисунках (рис. 1) показано влияние некоторых отдельно взятых факторов на ψ . Из данных рисунка 1 и таблицы 1 следует, что оптимальное содержание хрома составляет 0,035...0,080%; температура самоотпуска должна составлять не менее 460°C, желательно 520...540°C; температура нагрева под закалку –890...930°C.

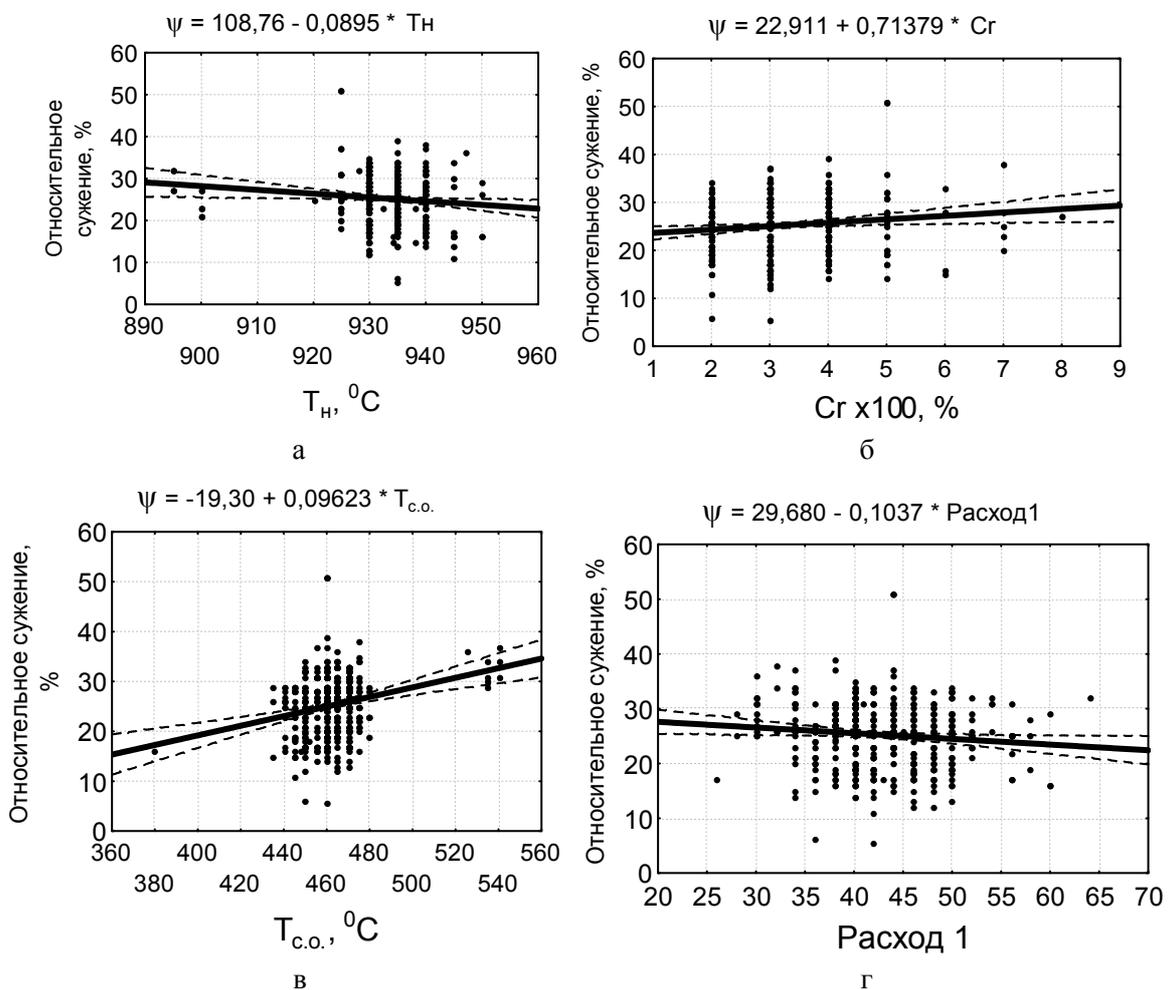


Рис. 1 – Влияние различных факторов на ψ : а) температуры нагрева; б) содержания хрома; в) температуры самоотпуска; г) расхода воды в первой секции РЗМ

Проводилось статистическое исследование зависимости относительного сужения рельсовой стали от содержания углерода, фосфора и серы по плавкам за июль 2011г. Обработка проводилась по следующей методике: выполнялась сортировка массива по величине массовой доли элемента, после чего значения относительного сужения, которые укладываются в интервал 0,01-0,02%, усреднялись. Влияние массовой доли серы в готовом металле выражено куда менее резко. Единственный вывод, который можно сделать – рекомендуемая массовая доля серы в

готовом металле – не более 0,015%. Выводы данного анализа подтверждаются и оценкой частоты проявления выпадов по относительному сужению.

Для каждой плавки вычислялась средняя величина относительного сужения (по трем пробам или принималась величина по одной пробе). В качестве выпада отмечались плавки, в которых средняя величина относительного сужения менее 25%. В группе плавков с массовой долей углерода 0,79-0,81% и фосфора не более 0,014% из 9 плавков неудовлетворительное значение ψ отмечено на 1 плавке (т.е. около 11% выпадов). В группе плавков с массовой долей углерода 0,74-0,76% и фосфора свыше 0,016 % из 12 плавков провалы по величине относительного сужения отмечены на 8 плавках (т.е. свыше 66% выпадов).

Относительно влияния массовой доли серы сложно сделать однозначные выводы, но в группе плавков, не удовлетворяющих техническим требованиям по относительному сужению, доля плавков с $[S]>0,010\%$ составила 10%, а в группе плавков с удовлетворительным результатом – лишь 3%. Но в целом, содержание серы и фосфора в большинстве случаев удовлетворяют действующим техническим условиям.

Проводилось исследование образцов рельсовой стали с различными значениями ψ (как с удовлетворительными, так и с неудовлетворительными) на содержание кислорода. Всего было исследовано 18 образцов. Влияние содержания кислорода на относительное сужение представлено на рисунке 2. Из рисунка 2 можно заключить, что имеется некоторое влияние содержания кислорода на ψ . С повышением содержания кислорода относительное сужение в среднем снижается. Если кислорода содержится 22 ppm и более, то среднее значение ψ становится ниже 25 и большая часть образцов показывает неудовлетворительное его значение (7 неудовлетворительных против 3-х удовлетворительных). В тех случаях, где кислорода менее 22 ppm соотношение следующее: 6 удовлетворительных против 2-х неудовлетворительных. Тем не менее, поскольку зависимость выражена не очень четко, то можно сказать, что повышенное содержание кислорода – значимый, но не единственный фактор, приводящий к понижению ψ до значений ниже допустимых. Согласно работе [1] предельное содержание кислорода в стали для рельсов категории В должно ограничиваться ещё более низким значением – 20 ppm. В работе [12] показано, что даже небольшие (~0,003%) содержания кислорода в твёрдом растворе способны вызывать снижение ударной вязкости (особенно при пониженных температурах). Таким образом, мы можем говорить о целесообразности снижения содержания кислорода.

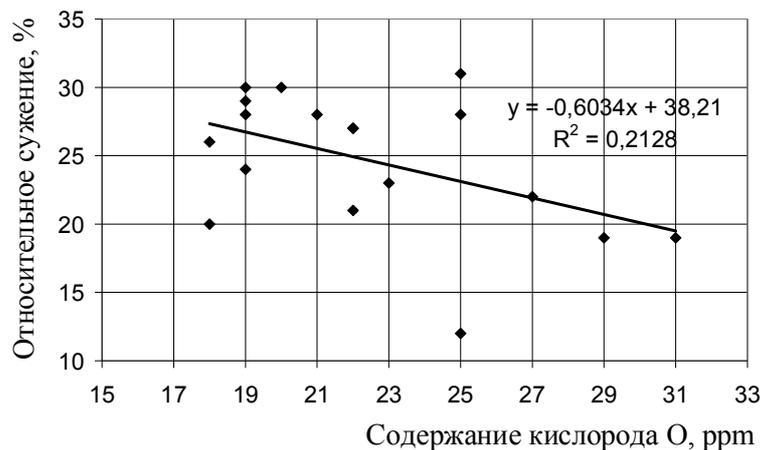


Рис. 2 – Влияние содержания кислорода на относительное сужение рельсовой стали

Многофакторный регрессионный анализ показал, что из всех рассматриваемых параметров статистически значимыми (в смысле влияния на ψ) являются: содержание марганца, хрома, ванадия, скорость движения рельса в рельсозакалочной машине, температура нагрева под закалку, температура самоотпуска. Регрессионный анализ отдельно взятых значимых факторов позволил получить следующее линейное уравнение регрессии (1):

$$\psi = 89,75 - 22,66 \cdot Mn + 74,5 \cdot Cr - 6,37 \cdot V + 1,365 \cdot v_{дв.р} - 0,1545 \cdot t_{н.} + 0,092 \cdot t_{с.о.} \quad (1)$$

где Mn, Cr, V – содержания соответствующих элементов, %;
 $v_{дв.р}$ – скорость движения рельса в рельсозакалочной машине, мм/с;
 t_n – температура нагрева под закалку,
 $^{\circ}C$; $t_{c.o}$ – температура самоотпуска, $^{\circ}C$.

На рисунке 3(а) представлена диаграмма ранжирования факторов линейного уравнения регрессии по коэффициентам в кодовом масштабе. Диаграмма на рисунке 3(а) показывает степень влияния отдельно взятых факторов на значение относительного сужения. Из диаграммы видно, что наиболее значимыми из них являются параметры термической обработки – температура самоотпуска, температура нагрева под закалку и скорость движения рельса.

Несколько менее значимы факторы химического состава – содержания хрома, марганца и ванадия. Знак коэффициентов в уравнении регрессии говорит о направлении влияния соответствующих факторов: знак «-» означает что увеличение значения данного фактора приводит к снижению ψ , знак «+» – к увеличению ψ .

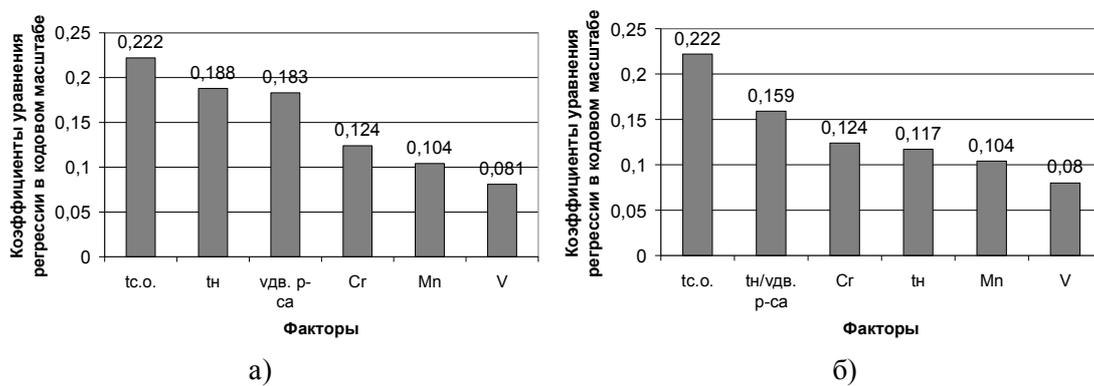


Рис. 3 – Диаграмма ранжирования факторов по коэффициентам в кодовом масштабе: а) для линейного уравнения регрессии; б) для нелинейного уравнения регрессии

Так как имеется выраженная корреляция между температурой нагрева под закалку (T_n) и скоростью движения рельса, введём в рассмотрение соотношение ($T_n/v_{дв.р}$). Уравнение регрессии в этом случае примет вид (2):

$$\psi = 149,84 - 22,65 \cdot Mn + 74,6 \cdot Cr - 6,29 \cdot V - 2,61 \cdot (t_n / v_{дв.р}) - 0,0956 \cdot t_n + 0,09228 \cdot t_{c.o} \quad (2)$$

Диаграмма ранжирования факторов для данного нелинейного уравнения регрессии представлена на рисунке 3(б), из которого видно, что введенное соотношение статистически значимо, уступая лишь температуре самоотпуска. Приведенные исследования показали, что при низких температурах самоотпуска (430-450 $^{\circ}C$) наиболее наглядно проявляется влияние на ψ параметров термической обработки: скорости движения рельса и отношения температуры закалки к этой скорости. Характер этих зависимостей представлен на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что зависимости имеют значение R^2 (0,32 и 0,36), а если рассматривать интервалы значений скорости перемещения рельсов от 43 до 45 мм/с и отношения $t_n/v_{дв.р-са}$ от 20,9 до 21,6 (при которых наблюдается заметное возрастание ψ), то значение R^2 становятся более 0,6. Это позволяет говорить об определенной достоверности установленных зависимостей. Из рисунка можно заключить, что даже при низкой температуре самоотпуска можно получить удовлетворительные и даже высокие значения относительного сужения. Увеличение скорости движения рельсов, особенно выше 43,5 мм/с, способствует возрастанию ψ и видимому снижению отсортировки, особенно при пониженных температурах самоотпуска. Снижение соотношения температуры закалки к скорости движения рельса (этому способствуют снижение температуры нагрева под закалку и повышение скорости движения рельса) также способствует повышению средних показателей ψ и снижению отсортировки, особенно при значениях этого соотношения менее 21,5. Температура нагрева под закалку при этом не должна превышать 930 $^{\circ}C$ и находиться в пределах 890...930 $^{\circ}C$. В работе [13] рекомендуют ещё более низкую тем-

температуру нагрева под закалку для рельсовой стали: ~850...930°C.

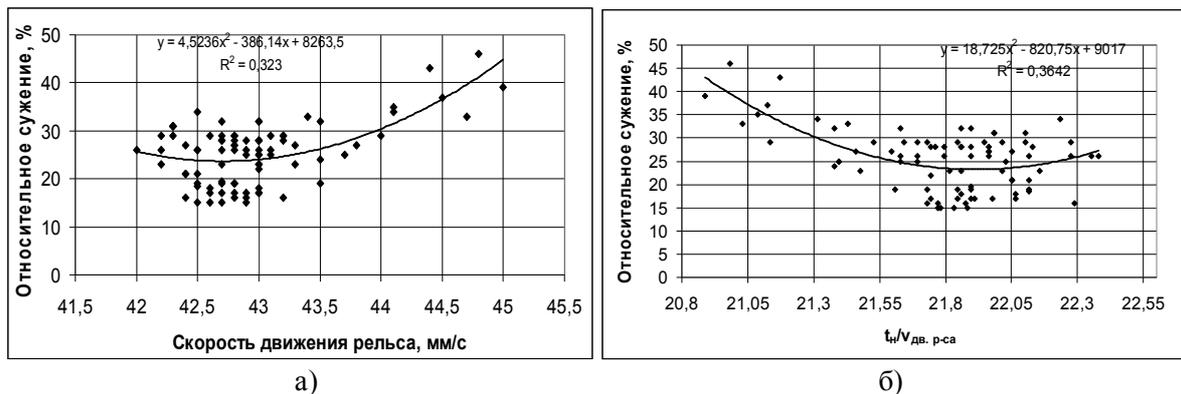


Рис. 4 – Влияние скорости движения рельса в РЗМ (а) и отношения температуры закалки к скорости движения рельса (б) на относительное сужение рельсовой при температуре самоотпуска 430-450°C

Выводы

1. Методами регрессионного анализа получены уравнения зависимости относительного сужения рельсовой стали от химического состава и параметров термической обработки, что позволяет прогнозировать значение ψ , и подобрать и скорректировать технологические параметры таким образом, чтобы максимально снизить долю отсортировки.
2. Установлено влияние малых концентраций кислорода (18...31 ppm) на показатели ψ . Показано, что содержание в рельсовой стали 22 ppm кислорода и более в значительной мере (в 2,5...3 раза) повышает вероятность появления неудовлетворительных (менее 25%) значений ψ .
3. Установлено влияние скорости движения рельса в закалочной машине и отношения к ней температуры нагрева под закалку на ψ . Физическая природа такого влияния может объясняться влиянием указанных параметров на характер распределения температур по сечению рельса и его изменение во времени при нагреве и охлаждении.
4. Показан нелинейный характер зависимостей относительного сужения от скорости движения рельса в закалочной машине и от отношения температуры нагрева под закалку к этой скорости: так при значениях скорости движения рельса в пределах 42...43 мм/с и при значениях отношения температуры закалки к ней в пределах 21,8...22,4 °C·мм/с влияния на ψ выражено слабо, тогда как при увеличении скорости движения рельса от 43 до 45 мм/с и при снижении значения соотношения температуры закалки к скорости движения рельса от 21,8 до 20,8 ψ возрастает по параболической зависимости.
5. Нами показано, что для повышения качества рельсов и снижения отсортировки по ψ параметры химсостава и термообработки должны находиться в следующих пределах:
 - скорость движения рельса в закалочной машине должна составлять 43,0...45,0 мм/с (желательно не менее 43,55), особенно при пониженных температурах самоотпуска;
 - температура самоотпуска рельсов должна быть выше 460°C, причём наименьший процент отсортировки наблюдаются при температурах 520...540°C;
 - отношение температуры нагрева под закалку к скорости движения рельса должно находиться в пределах 21,0...21,5, желательно не выше 21,3;
 - содержание хрома в рельсовой стали должно находиться в пределах 0,035...0,080%, особенно при повышенном содержании марганца;
 - содержание кислорода не должно превышать 22 ppm;
 - содержание марганца должно находиться в пределах 0,84...0,92%;
 - рекомендуемое содержание фосфора в готовом металле – не более 0,015%.

Список использованных источников:

1. Совершенствование сортамента и технологии производства железнодорожных рельсов / [Д.

- В. Сталинский, А. С. Рудюк, И. В. Ганошенко и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №6. – 2010. – С. 66 – 68.
2. Разработка оптимальных режимов поверхностной закалки головки рельсов с нагрева токами высокой частоты / [Д. В. Сталинский, А.С. Рудюк, В. Е. Сапожков и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №5. – 2009. – С. 65 – 70.
 3. Сталинский Д. В. Улучшение качества рельсов при закалке с нагрева токами высокой частоты (ТВЧ) / Д. В. Сталинский, Д. К. Нестеров, В. Е. Сапожков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №1. – 2006. – С. 66 – 71.
 4. Износостойкость закалённых рельсов и совершенствование технологии их производства / [Д. В. Сталинский, Д. К. Нестеров, А. С. Рудюк, В. Е. Сапожков] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №4. – 2009. – С. 64 – 69.
 5. Технические требования к железнодорожным рельсам и меры по повышению их качества / [Д. В. Сталинский, А. С. Рудюк, В. Е. Сапожков, Д. К. Нестеров] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №2. – 2009. – С. 58 – 63.
 6. Технологические аспекты и качество рельсов из стали Э90АФ / [А. Б. Юрьев, Л. А. Годик, Н. А. Козырев и др.] // *Сталь*. – №7. – 2008. – С. 101 – 103.
 7. Оптимизация химического состава стали и технологии для производства рельсов низкотемпературной надёжности / [А. А. Дерябин, И. Г. Горшенин, В. В. Могильный и др.] // *Сталь*. – №6. – 2005. – С. 134 – 136.
 8. Качество рельсов из легированной хромом и ванадием стали / [А. А. Дерябин, В. Е. Семенов, В. В. Матвеев и др.] // *Сталь*. – №1. – 2004. – С. 58 – 61.
 9. Левченко Н. В. Изменение неметаллических включений в процессе производства рельсов / Н. В. Левченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – №2. – 2006. – С. 63 – 65.
 10. Новый методический подход к оценке загрязнённости рельсов включениями кислородной группы / [А.А. Дерябин, А.Б. Добужская, Л.В. Минаева и др.] // *Сталь*. – №1. – 2001. – С. 70–73.
 11. Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа: Монография / С. Г. Радченко – К.: «Корнийчук», 2011. – 376 с.
 12. Гудремон Э. Специальные стали / Э. Гудремон – М.: «Металлургия», Т.1 – 1966. – 736 с., Т.2 – 1966. – 538 с.
 13. Грудев А. П. Технология прокатного производства / А. П. Грудев, Л. Ф. Машкин, М. И. Ханнин – М.: *Металлургия*, 1994. – 656 с.

Bibliography:

1. Perfection of assortment and production technology of railway rails / [D.V. Stalinsky, A.S. Rudjuk, I.V. Ganoshenko, etc.]// *Metallurgical and mining industry*. - №6. - 2010. - P. 66 - 68. (Rus.)
2. Development of optimum modes of superficial hardening of a rails head by method of high frequency currents heating / [D. V. Stalinsky, A.S. Rudjuk, V.E. Sapozhkov, etc.] // *Metallurgical and mining industry*. - №5. - 2009. - P. 65 - 70. (Rus.)
3. Stalinsky D.V. Improvement of rails quality at hardening by high frequency currents heating / D.V. Stalinsky, D.K. Nesterov, V.E. Sapozhkov // *Metallurgical and mining industry*. -№1. -2006. - P. 66-71. (Rus.)
4. Wearing quality of the tempered rails and perfection of their manufacture technology / [D. V. Stalinsky, D.K. Nesterov, A.S. Rudjuk, V.E.Sapozhkov] // *Metallurgical and mining industry*. - №4. - 2009. - P. 64 - 69. (Rus.)
5. Technical requirements to railway rails and actions on increase of their quality / [D. V. Stalinsky, A.S. Рудюк, V.E. Sapozhkov, D.K. Nesterov] // *Metallurgical and mining industry*. - №2. - 2009. - P. 58 - 63. (Rus.)
6. Technological aspects and quality of rails from steel Э90АФ / [A. B.Jurev, L.A.Godik, N.A.Kozyrev, etc.] // *Steel*. - №7. - 2008. - P. 101 - 103. (Rus.)
7. Optimization of chemical compound of the steel and techniques of low-temperature reliability rails manufacture / [A.A. Derjabin, I. G. Gorshenin, V.V. Mogilnyj, etc.] // *Steel*. - №6. - 2005. - P. 134 - 136. (Rus.)
8. Quality of rails from steel alloyed by chrome and vanadium / [A.A. Derjabin, B.E. Semenov,

- V.V. Matveev, etc.] // Steel. - №1. - 2004. - P. 58 - 61. (Rus.)
9. Levchenko N.V. Change of nonmetallic inclusions in the course of rails manufacture / N.V. Levchenko // Metallurgical and mining industry. - №2. - 2006. - P. 63 - 65. (Rus.)
 10. The new methodical approach to an estimation of impurity of rails by inclusions of oxygen group / [A.A. Derjabin, A.B. Dobuzhsky, L.V. Minaev, etc.] // Steel. - №1. - 2001. - P. 70-73. (Rus.)
 11. Radchenko S.G. Methodology of regression analysis: Monograph / S. G. Radchenko - K: «Korniyuchuk», 2011. - 376 p. (Rus.)
 12. Houdremont E. Special steels / E. Houdremont - M: "Metallurgy", V.1 - 1966. - 736 p., V.2 - 1966. - 538 p. (Rus.)
 13. Grudev A.P. Technology of rolling manufacture / A. P.Grudev, L.F. Mashkin, M.I. Khanin - M: Metallurgy, 1994. - 656 p. (Rus.)

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

Статья поступила 26.04.2012

УДК 621.742

©Дан Л.А.¹, Трофимова Л.А.², Шепилов В.А.³, Дан Е.Л.⁴

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СЫРЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Исследовано влияние электромагнитной обработки воды, входящей в состав формовочных песчано-глинистых смесей, на их прочность в сыром состоянии. Показана возможность и предложены режимы обработки, обеспечивающие увеличение предела прочности на сжатие в 2 раза.

Ключевые слова: песчано-глинистая смесь, вода, электромагнитная обработка.

Дан Л.О., Трофимова Л.О., Шепилов В.О., Дан О.Л. Підвищення міцностних властивостей сирих піщано-глинястих формувальних сумішей шляхом електромагнітної обробки води. Досліджений вплив електромагнітної обробки води, що входить до складу формувальних піщано-глинястих сумішей, на їх міцність в сирому стані. Показана можливість і запропоновані режими обробки, що забезпечують підвищення межі міцності на стиснення приблизно в два рази.

Ключові слова: піщано-глиняста суміш, вода, електромагнітна обробка.

L.O. Dan, L.O. Trofimova, V.O. Shepilov, O.L. Dan. Increase of strength properties of green molding sand by electromagnetic treatment of water. Influencing of electromagnetic treatment of water, entering in the composition of green molding sand on strengths properties was investigated. The modes of treatments, providing increase of tensile strength on a compression in two times were offered.

Keywords: molding sand, water, electromagnetic treatment.

Постановка проблемы. Существенным резервом повышения качества литья в песчано-глинистые формы является улучшение свойств формовочных материалов, используемых для их изготовления. Среди свойств, определяющих качество сырых литейных форм, наиболее значима прочность на сжатие. Литейные формы и стержни должны обладать определенной прочно-

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

⁴ студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь