

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕМЕТАЛІЧНИХ ВКЛЮЧЕНЬ В КРУПНИХ ЗЛИТКАХ, ВИРОБНИЦТВА ПАТ «ЕНЕРГОМАШСПЕЦСТАЛЬ»

Якість крупного злитка великою мірою залежить від вмісту і розподілу неметалічних включень. Для отримання високоякісних злитків була проведена позапічна обробка металу в печі-ковші і вакууматорі. Для оцінки вмісту включень були використані методи оптичної і растрової електронної мікроскопії. Встановлено, що розроблена технологія забезпечує високу чистоту металу по з'єднаннях сірки і фосфору. Основною неметалічною фазою стають оксиди алюмінію і складні оксиди типу $(Al, Ca, Mg, Si)_m O_n$. Найбільш вірогідним джерелом їх формування є процес руйнування вогнетривкого футерування печі і агрегатів позапічної обробки, проте можливо частина з них формується в процесі розкислювання і модифікування розплаву.

Ключові слова: неметалічні включення, крупний злиток, позапічна обробка, вакуумування, растрова електронна мікроскопія.

M.V. Yefimov *, A.A. Selutin *, P.M. Yavtushenko *, V.V. Pashynsky **, O.A. Snizhko **, A.D. Ryabtsev **

* Energomashspetsstal', Kramatorsk

** Donetsk National Technical University, Donetsk

NONMETALLIC INCLUSIONS IN LARGE INGOTS, PRODUCED BY “ENERGOMASHSPETSSTAL”

The quality of large ingots highly depends on the content and distribution of nonmetallic inclusions. In order to produce high-quality ingots we performed out-of-furnace treatment of metal in a ladle furnace and degasser. To estimate inclusion content we used the methods of optical and scanning electron microscopy. The developed technique provides high purity metal. The basic non-metal phase is presented by the oxides of aluminium and complex oxides of $(Al, Ca, Mg, Si)_m O_n$. They are most certainly formed as a result of the process of destruction of heat-resistant lining-up of a furnace and out-of-furnace treatment facilities, however it is possible that some of them are formed in the process of melt deoxidizing and modification.

Keywords: nonmetallic inclusions, large ingot, out-of-furnace treatment, degassing, scanning electron microscopy.

УДК 679.7.025.7

В.И. АЛИМОВ (д-р техн.наук, проф.), О.В. ПУШКИНА
Донецкий национальный технический университет, Донецк

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОВОЛОЧНОЙ ЗАГОТОВКИ С ПОМОЩЬЮ ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ

Наиболее полная и информативная оценка общего комплекса свойств проволоки и передельной заготовки, предназначенной для холодной высадки, катанку для которой подвергали различным режимам термообработки, может быть произведена с помощью обобщённого критерия Харрингтона. С помощью этого критерия установлено, что

наиболее высокие свойства холодновысадочной проволоки достигаются при полном и высокотемпературном отжиге.

Ключевые слова: проволока, отжиг, комплекс свойств, критерий Харрингтона.

Постановка проблемы

Установление режимов термической обработки заготовок, в том числе проволочных, для холодно высаживаемого крепежа является актуальным в связи с совершенствованием парка холодновысадочных скоростных автоматов и возрастанием требований как к технологичности передела заготовки, так и требований к качеству крепёжных изделий, оцениваемому по отсутствию трещин при их глубокой посадке и уровню механических свойств. Это может быть обеспечено не только химсоставом исходного металла, но и его структурным состоянием – типом структурных составляющих, их долевым соотношением, размером элементов зёрненной структуры и особенно размером зерна.

Включение в технологическую цепь производства катанки на прокатных станах её ускоренного охлаждения с прокатного нагрева приводит не только к измельчению зерна и иногда типа структурных составляющих, но и к изменениям тонкой кристаллической структуры и эти изменения в силу металлогенетической наследственности передаются в последующих поколениях переработки этой катанки в проволочную заготовку и крепёжные изделия из неё, что зачастую снижает технологичность и качество крепёжных изделий, прежде всего способность к осадке без растрескивания.

Совокупное качество катанки и волоочной проволочной заготовки может быть достигнуто варьированием режимов термообработки с интегральной оценкой этого качества с помощью обобщающих критериев.

Анализ последних исследований и публикаций

Интерес к проволоке и изделиям из неё усиливается во всем мире [1], что в полной мере типично и для высадочной проволоки, используемой для изготовления крепёжных изделий (болтов, винтов и т.п.), которые используются повсеместно во многих видах механизмов и машин.

В большинстве исследований в различных областях техники, в т.ч. металлургической [2÷4] оценивают исследуемый объект отдельно по каждому изученному параметру, что затрудняет, а в некоторых случаях делает невозможным обобщенную оценку и сравнение преимуществ и недостатков различных способов повышения качества продукции, поэтому представляет интерес использование обобщённого критерия, учитывающего различные характеристики, для анализа влияния режимов обработки в целом на свойства готовых металлопродуктов.

В большинстве случаев оценивают механические свойства заготовки [5], другие – акцентируют внимание на осадке, но механические свойства при этом не учитываются [6]. Некоторые зарубежные исследователи главным считают формоизменение цементита и его определяющее влияние на

конечные свойства [2-3]. В тоже время необходима интегральная оценка свойств, как проволоки, так и проволочной заготовки.

Цель (задачи) исследования

В связи с этим, целью настоящей работы является обоснование выбора критерия, который мог бы обеспечить интегральную оценку качества проволочной заготовки и проволоки для крепёжных изделий, получаемых методом холодной осадки-высадки.

Основной материал исследования

Для исследований использовали катанку диаметром 6,5 мм из стали 10 (% масс.: 0,09 С, 0,47 Mn, 0,4 Si, 0,027 S, 0,032 P, 0,18 Ni). Часть образцов использовали в исходном горячекатаном состоянии (режим 1). Другие образцы катанки подвергали перекристаллизационному отжигу (режим 2), обычному полному (режим 3) и высокотемпературному полному (режим 4) отжигу. Отжиг выполняли в печах типа СНОЛ – 4×6/10. Температура нагрева при отжиге образцов вариантов 2, 3 и 4 составляла соответственно 760, 920 и 1000°C. При температуре нагрева образцы выдерживали 2 ч., а затем охлаждали с печью. Частичную защиту поверхности образцов от интенсивного окисления и обезуглероживания осуществляли с применением засыпки из использованного для цементации древесного угля. После подготовки поверхности образцы катанки всех 4-х режимов протягивали в холодную в режиме однократного волочения на заготовки диаметром 5 мм с суммарным обжатием 41 % (далее – ЗХД). Холоднотянутые заготовки отжигали по режиму: посадка в печь с температурой 300°C, нагрев до 760°C в течение 2 ч., выдержка в течение 2,5 ч., замедленное охлаждение (далее – ЗО.) с печью – этот режим близок к применяемому в производственных условиях в промышленных колпаковых печах. Отожжённые заготовки диаметром 5 мм затем калибровали в холодную на проволоку диаметром 4,5 мм с одноразовым обжатием 19 % [7].

Интегральную оценку качества проволоки и передельной заготовки для неё производили при помощи функции желательности или критерия Харрингтона, который рассчитывается по формуле [8,9]:

$$D = \sqrt[4]{d_1 d_2 d_3 d_4} \text{ или } D = \sqrt[5]{d_1 d_2 d_3 d_4 d_5}, \quad (1)$$

где d_1 , d_2 , d_3 , d_4 и d_5 – частные функции желательности изучаемых свойств проволоки.

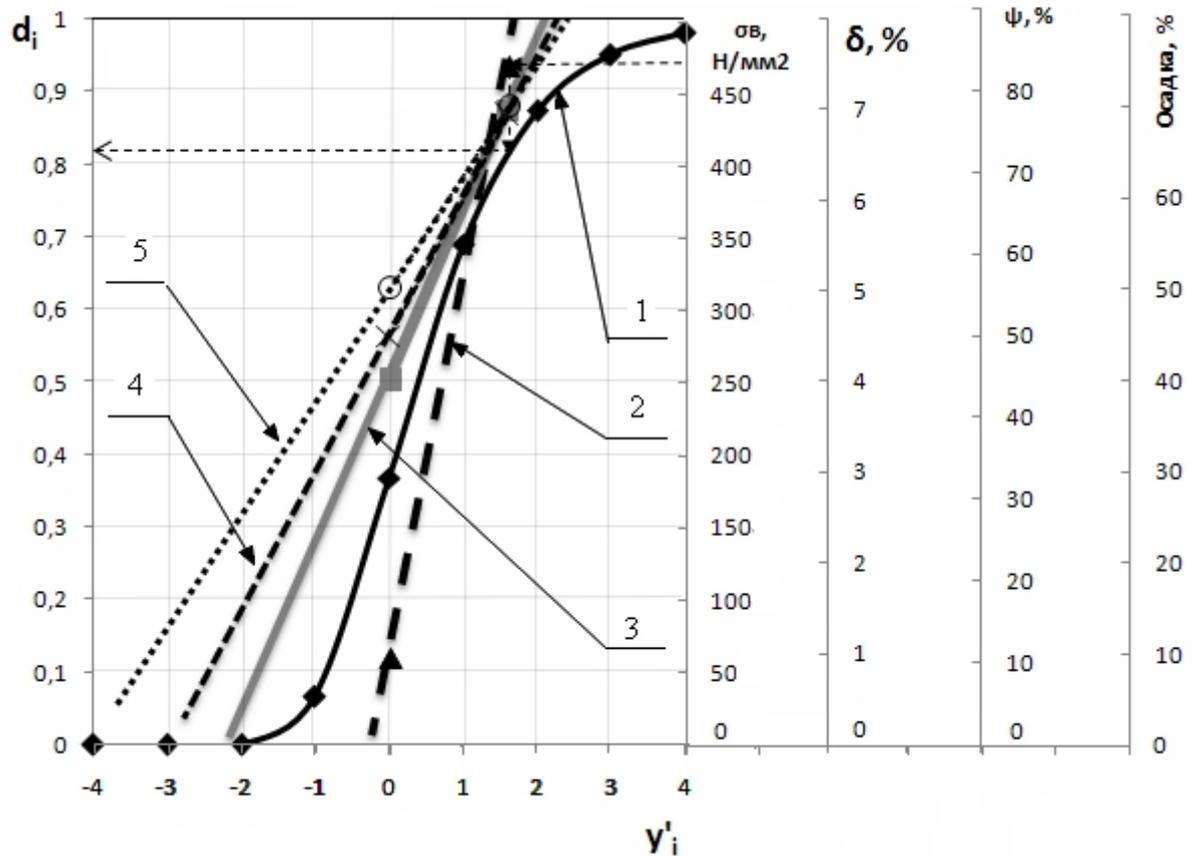
На исследуемых образцах определяли временное сопротивление разрыву σ_e (Н/мм²) (y_1), относительное удлинение δ (%) (y_2), относительное сужение ψ (%) (y_3), выдерживаемую без трещин осадку (%) (y_4) и номер зерна феррита (y_5). Значения свойств приведены в таблице 1. Переход от значений y_i к значениям d_i осуществляется по кривой желательности, пример на основе полученных свойств для готовой проволоки представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Свойства катанки, заготовки и проволоки для холодновысадочного крепежа

Вид изделия и обработка	Режим отжига катанки	Механические свойства			Осадка, %				Размер зерна феррита	
		σ_b , Н/мм ²	δ , %	ψ , %	50	67	75	80	Средний условный диаметр, мм	Номер по ГОСТ 5639 [10]
Катанка диаметром 6,5 мм, перекристаллизационный отжиг	1	409	31	73	+	+	-	-	0,0195	8
	2	390	34	72	+	+	-	-	0,0186	8
	3	379	34	71	+	+	+	+	0,0299	7
	4	364	35	71	+	+	+	+	0,049	6
Холоднотянутая заготовка диаметром 5 мм	1	740	3	57	+	-	-	-	-	-
	2	651	4	63	+	±	±	-	-	-
	3	622	4	58	+	+	+	±	-	-
	4	572	5	52	+	+	+	+	-	-
Заготовка диаметром 5 мм, неполный отжиг	1	360	30	75	+	+	±	±	0,0202	8
	2	353	30	76	+	+	±	±	0,0179	8 (9)
	3	338	30	69	+	+	+	±	0,0195	8
	4	338	31	74	+	+	+	+	0,0273	7
Проволока диаметром 4,5 мм	1	473	8	78	+	±	±	-	-	-
	2	482	7	77	+	+	+	±	-	-
	3	473	5	77	+	+	+	+	-	-
	4	452	6	76	+	+	+	+	-	-

Принято считать, что значения желательности от 0 до 0,2 соответствуют "очень плохому" уровню свойств; 0,2...0,37 – "плохому"; 0,37...0,63 – "удовлетворительному"; 0,63...0,8 – "хорошему" и 0,8...1 – "очень хорошему" уровню свойств.

Реперные точки для установления связи между y_i и y'_i (y'_i – безразмерная величина, линейно связанная с y_i) приведены в таблице 2.



1 – кривая желательности; 2 – временное сопротивление разрыву; 3 – относительное удлинение; 4 – относительное сужение; 5 – осадка

Рисунок 1 – График для перевода свойств холодновысадочной проволоки в частные функции желательности.

Таблица 2 – Реперные точки для перевода механических свойств.

Механические свойства	Реперные точки по описанному выше способу*)											
	Катанка диам. 6,5 мм			ЗХД диам. 5 мм			ЗО диам. 5 мм			Готовая проволока диам. 4,5 мм		
	y_i	d_i	y'_i	y_i	d_i	y'_i	y_i	d_i	y'_i	y_i	d_i	y'_i
$\sigma_b, \text{H/mm}^2$ – y_1	<u>200</u> 385	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>200</u> 646	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>200</u> 347	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>200</u> 470	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6
$\delta, \%$ – y_2	<u>4</u> 34	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>3</u> 5	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>4</u> 30	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>4</u> 7	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6
$\psi, \%$ – y_3	<u>50</u> 72	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>50</u> 58	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>50</u> 74	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>50</u> 77	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6
Осадка, % – y_4	<u>50</u> 70	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>50</u> 70	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>50</u> 70	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	<u>50</u> 70	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6
Номер зерна – y_5	<u>8</u> 5	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	– –	– –	– –	<u>8</u> 5	<u>0,37</u> 0,8	<u>0</u> 1,6	– –	– –	– –

*) Числитель – минимальный удовлетворительный уровень свойств, знаменатель – максимальный хороший уровень свойств

При их определении предполагали, что минимальному удовлетворительному уровню свойств соответствуют требования ГОСТ 5663 [11], а максимальному хорошему уровню – среднее арифметическое полученных экспериментальных результатов.

Рассчитанные значения функции Харрингтона для проволоки на всех стадиях изготовления приведены в таблице 3 и показаны в виде гистограммы распределения на рисунке 2.

Таблица 3 – Критерий Харрингтона (D) для проволоки, заготовки для которой подвергнуты различным режимам перекристаллизационного отжига, на всех этапах изготовления.

Вид изделия и обработка	Режим отжига	Механические свойства										D
		σ_6		δ		ψ		Осадка		Номер зерна		
		y_1 , Н/мм ²	d_1	y_2 , %	d_2	y_3 , %	d_3	y_4 , %	d_4	y_1	d_5	
Катанка диам. 6,5 мм	1	409	0,83	31	0,79	73	0,82	67	0,77	8	0,37	0,69
	2	390	0,81	34	0,8	72	0,8	67	0,77	8	0,37	0,68
	3	379	0,79	34	0,8	71	0,79	80	0,91	7	0,54	0,76
	4	364	0,78	35	0,81	71	0,79	80	0,91	6	0,69	0,79
ЗХД диам. 5 мм	1	740	0,86	3	0,37	57	0,78	50	0,37	–	–	0,55
	2	651	0,8	4	0,6	63	0,92	50	0,37	–	–	0,64
	3	622	0,79	4	0,57	58	0,8	75	0,88	–	–	0,75
	4	572	0,77	5	0,78	52	0,48	80	0,91	–	–	0,72
ЗО диам. 5 мм	1	360	0,82	30	0,8	75	0,82	67	0,77	8	0,37	0,69
	2	353	0,81	30	0,81	76	0,83	67	0,77	8	0,37	0,69
	3	338	0,79	30	0,8	69	0,75	75	0,88	8	0,37	0,69
	4	338	0,79	31	0,82	74	0,8	80	0,91	7	0,54	0,76
Готовая проволока диам. 4,5 мм	1	473	0,82	8	0,88	78	0,83	50	0,37	–	–	0,69
	2	482	0,83	7	0,79	77	0,8	75	0,88	–	–	0,82
	3	473	0,82	5	0,58	77	0,8	80	0,91	–	–	0,77
	4	452	0,79	6	0,7	76	0,78	80	0,91	–	–	0,79

Полученный критерий Харрингтона подтверждает тот факт, что все режимы отжига заготовки для холодновысадочной проволоки приводят к получению хорошего и очень хорошего уровня свойств готовой проволоки, при этом максимальный комплекс свойств для передельной заготовки достигается после проведения полного и высокотемпературного полного отжигов, а для готовой проволоки наиболее благоприятен неполный отжиг.

Наиболее низкий комплекс свойств во всех изученных случаях получен на изделиях, заготовки для которых не подвергали отжигу после горячей прокатки с ускоренным охлаждением, хотя он также входит в интервал "хороших".

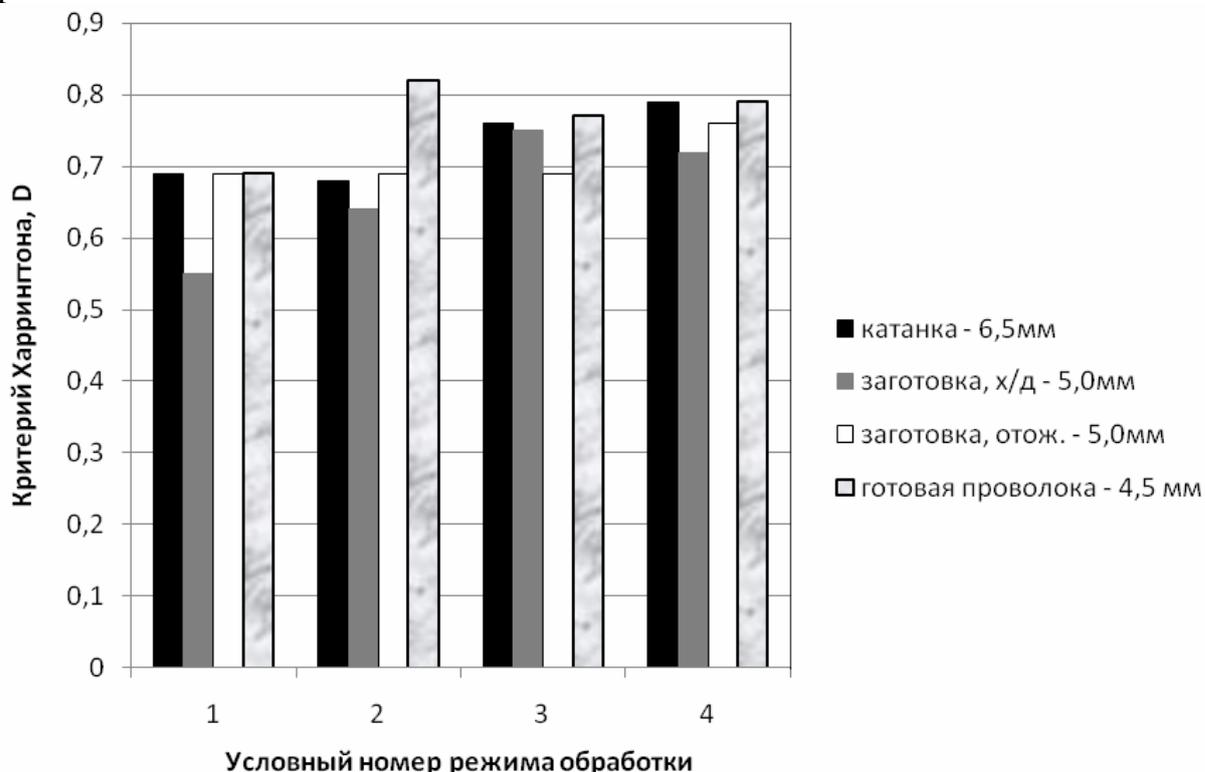


Рисунок 2 – Критерий Харрингтона на всех этапах изготовления проволоки в зависимости от режима предварительной обработки катанки.

Выводы

1. Изученные при помощи обобщённой функции желательности свойства холодновысадочной проволоки и заготовок для неё свидетельствуют о том, что максимальный уровень свойств относительно требований ГОСТ достигается при использовании горячекатаной заготовки после полного и высокотемпературного отжигов.

2. Получение минимального значения функции желательности в случае катанки, не подвергнутой отжигу после прокатки, подтверждает гипотезу, что ускоренное охлаждение катанки с прокатного нагрева, несмотря на экономию из-за уменьшения количества металла, теряемого с окалиной, приводит к ухудшению структуры и свойств заготовки. Последующие переделы заготовки до готовой проволоки не могут нивелировать эффект наследственного влияния, что и приводит к ухудшению комплекса свойств.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алимов В.И. Фазовые и структурные превращения при деформационно-термической обработке проволоки / В.И. Алимов, О.В. Пушкина. – Донецк: Донбасс, 2012. – 242 с.
2. Samuel E.I. Accelerated spheroidisation induced by high intensity electric pulse in a severely deformed eutectoid steel / E.I. Samuel, A. Bhowmik, R.S. Qin // Journal of Materials Research. – 2010. – Vol. 25. – №6. – P. 1020-1024.
3. Qin R.S. Electropulse-induced cementite nanoparticle formation in deformed pearlitic steels / R.S. Qin, E.I. Samuel, A. Bhowmik // Journal of Materials Science. – 2011. – №46. – P. 2838-2842.
4. Teruyuki Murai. Direct Heat Treatment Technique for High-Strength, Large-Diameter PC Steel Bars with Pearlite Microstructure / Murai Teruyuki // Sei Technical Review. – 2011. – №73. – P. 31-34.
5. Долженков И.Е. Сфероидизация карбидов в стали / И.Е. Долженков, И.И. Долженков. – М.: Металлургия, 1984. – 143 с.
6. Экспериментальное исследование условий получения проволоки и заготовок болтов на сопротивление деформации стали / Д.М. Закиров, А.В. Сабадаш, С.С. Скворцова и др. // Производство проката. – 2006. – № 6. – С. 58-65.
7. Алимов В.И. К вопросу повышения технологической пластичности холоднодеформируемой стали перекристаллизационным отжигом / В.И. Алимов, О.В. Олейникова (Пушкина) // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Збірник наукових праць. – Луганськ: ВНУ ім. Даля, 2011. – С. 66-71.
8. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
9. Сухариков А.Е. Исследование влияния режима отпуска на качество патентованной заготовки / А.Е. Сухариков // МиТОМ. – 1986. – №1. – С. 20-22.
10. Сталь и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна: ГОСТ 5639-82. – [Действующий от 1983-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 23 с.
11. Проволока стальная углеродистая для холодной высадки. Технические условия: ДСТУ ГОСТ 5663-79. – [Действующий от 1980-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 6 с.

Надійшла до редакції 28.05.2012

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.В. Кочура

В.І. Алімов, О.В. Пушкіна

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДРОТЯНОЇ ЗАГОТОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ

Найбільш повна і інформативна оцінка загального комплексу властивостей дроту і передільної заготовки, призначеної для холодної висадки, катанку для якої піддавали різним режимам термообробки, може бути проведена за допомогою узагальненого критерію Харрінгтона. За допомогою цього критерію встановлено, що найбільш високі властивості холодновисадочного дроту досягаються при повному і високотемпературному відпалі.

Ключові слова: дріт, відпал, комплекс властивостей, критерій Харрінгтона.

V. Alimov, O. Pushkina
Donetsk National Technical University, Donetsk

WIRE BAR QUALITY ESTIMATION WITH DESIRABILITY FUNCTION

We estimated the properties of wire and workpiece intended for cold heading, the wire rod for which was subjected to different modes of heat treatment. The most complete estimation can be performed using generalized Harrington criterion. Thus we concluded that the best cold heading wire properties are achieved with the full and high-temperature annealing.

Keywords: wire, annealing, a set of properties, the criterion of Harrington.

УДК 620.18:669.187.56

О.А. СНИЖКО*(канд. техн.наук), **В.В. ПАШИНСКИЙ*** (д-р техн.наук, проф.), **Т.Е. КОНСТАНТИНОВА**** (д-р физ.-мат.наук, проф.), **А.Д. РЯБЦЕВ ***(д-р техн.наук, проф.)

*Донецкий национальный технический университет, Донецк

** Донецкий физико-технический институт, Донецк

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО МЕХАНИЗМА ОХРУПЧИВАНИЯ ТИТАНА, ЛЕГИРОВАННОГО КИСЛОРОДОМ

Приведены результаты исследований структурных превращений титана с содержанием кислорода в диапазоне 0,053 – 0,27% по массе. Показано, что повышение содержания кислорода в исследованном интервале приводит к формированию крупных зёрен в литом и отожжённом состоянии, что способствует переходу от вязкого к хрупкому характеру разрушения при -196°С. Кроме того, в титане увеличивается склонность к протеканию фазового превращения по мартенситному механизму, что снижает размер структурных элементов по сравнению с литым и отожжённым состоянием. С повышением содержания кислорода в игольчатых кристаллах α' фазы формируется все более развитая субструктура, что дополнительно измельчает структуру сплава. Нагрев сплавов до температуры 350°С при выдержках до 4 часов не приводит к существенному изменению структуры сплава, а при нагреве до 500°С и выдержке 1 час, начинается рекристаллизация и огрубление структуры. Повышение содержания кислорода в титане приводит к торможению процесса рекристаллизации.

Ключевые слова: легированный титан, легирование кислородом, структура, характер разрушения, рекристаллизация.

Введение

Титан и его сплавы широко применяются в медицине для изготовления медицинских инструментов и имплантатов. В этом случае, наряду с высокой удельной прочностью и сопротивлением ударным и усталостным нагрузкам, важнейшим требованием становится также коррозионная стойкость и биосовместимость. Одним из таких материалов, соответствующим этим требованиям являются титановые сплавы типа ВТ6С (Grade5). Одна-