

Висновки

Результати теоретичних досліджень фізичних полів ВЧІ-плазмотрона при сфероїдизації гранул кварцу показали, що: при зростанні частоти струму на індукторі профіль індукованого струму в камері плазмотрона змінюється з V-подібного на W-подібний; рівень температур, який досягається в ВЧІ-плазмотроні при частоті струму 20 МГц, є достатнім для часткового плавлення і випаровування кварцових гранул, тому що максимальна температура у ядрі плазми перевищує температуру плавлення кварцу (2503 К) при всіх значеннях сили струму (50–250 А); при числовому аналізі теплового стану ВЧІ-плазмотрону обов'язково треба враховувати радіаційну складову теплообміну, тому що в протилежному випадку розрахункова температура плазми може сягати надто завищених значень (більш ніж у 5 разів).

Список літератури: 1. *Straub H.J.* Untersuchungen über den Existenzbereich der elektrodenlosen Ringentladung // *Ann. Phys.* — 1958. — Vol. 1. — P. 281 — 295. 2. ВЧ- и СВЧ-плазмотроны / С. В. Дресвин, А. А. Бобров, В. М. Лелёвкин и др. — Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1992. — 319 с. 3. Three-dimensional modeling of inductively coupled plasma torches / *D. Bernardi, V. Colombo, E. Ghedini* [et al.] // *Pure Appl. Chem.* — 2005.— Vol. 77, No. 2. — P. 359—372. 4. Моделирование процесса сфероидизации мелкодисперсных частиц кварца в ВЧІ-плазмотроне / *Е. Н. Панов, Н. А. Иванов, В. В. Кондратьев* [и др.] // *Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження.* — 2011. — №1(7) додаток. — С. 85—94. 6. Физические величины : справочник / под ред. И. С. Григорьева. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с. 7. *Краснощеков Е. А.* Задачник по теплопередаче : учебн. пособие / *Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел.* — М. : Энергия, 1969. — 264 с.

Надійшла до редколегії 10.03.2013

УДК 537.84

Математичне моделювання фізичних полів у високочастотному індукційному плазмотроні / А. Ю. Педченко // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 11 (985). – С. 167-174. – Бібліогр.: 7 назв.

Разработана математическая модель магнитогидродинамического и теплового состояния ВЧІ-плазмотрона для моделирования процесса сфероидизации кварцевых гранул. Исследовано влияние изменения частоты и силы тока, расходов плазмообразующего газа на поля индуцированного поля в плазме, на распределение полей температуры и скорости в ВЧІ-плазмотроне без и при наличии радиационной составляющей теплообмена.

Ключевые слова: ВЧІ-плазмотрон, магнитогидродинамическое и тепловое состояние, частота, плотность электрического тока, температура, скорость потока плазмы.

This paper deals with a mathematical model of physical fields of high-frequency inductive plasma torch. The results of computational simulation of magnetohydrodynamic thermal state process of spheroidizing of quartz granules are presented by changing such parameters as the frequency and current of the inductor, the velocity of plasma-forming gas, the presence or absence of the radiation component of heat transfer.

Keywords: high-frequency inductive plasma torch, magnetohydrodynamic and thermal state, frequency, current density, temperature, plasma velocity.

УДК621.778

Р. В. БЕЛЯНИН, ПАО «завод «ЮЖКАБЕЛЬ», Харьков

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДНОЙ КАТАНКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

На оборудовании ПАО «завод «Южкабель» выполнены исследования на двух партиях непрерывнолитой и прокатанной медной катанки. Получены расчетно-

© БЕЛЯНИН Р. В., 2013

экспериментальные зависимости влияния режимов волочения на конечные свойства проволоки. Анализ влияния способа изготовления медной катанки на характеристики медной проволоки.

Ключевые слова: волочение, катанка медная, непрерывнолитая, проволока, качество

Введение

Волочение - один из эффективных способов повышения прочностных характеристик проволочных изделий. Общая картина изменения механических свойств металла в процессе волочения состоит в повышении прочностных и снижении пластических характеристик. В процессе волочения происходит увеличение пределов прочности, текучести, упругости и пропорциональности, твердости при одновременном снижении таких показателей пластичности, как относительное удлинение и сужение, чисел перегибов, скручиваний и др.

Основными факторами, определяющими прочностные характеристики меди, служат характер дислокационной структуры и геометрические размеры заготовки. Несмотря на кажущуюся простоту процесса волочения и на то, что он применяется более 100 лет, многие его элементы изучены недостаточно.

Известно, что *основное влияние* на процесс волочения оказывают:

- прочностные и пластические свойства протягиваемого металла;
- степень и скорость деформации;
- форма профиля волочильного канала;
- материал волоки;
- качество трущихся поверхностей;
- смазка;
- тепловые процессы, происходящие при волочении.

Анализ последних исследований и литературы

На сегодняшний день в мире используется в основном 2 типа линий, это линии непрерывного литья и последующей горячей прокатки производства производства Southwire, Continuous-Properti, Contirod и линии непрерывного вертикального(восходящего) литья производства производства Upcast, Rautomeat, Vertirod. В обоих типах имеются преимущества по отношению к другим. В первых высокая производительность, широкий диапазон применения, переработка вторичного сырья во вторых компактность, возможность изготовления бескислородной меди с высокими электрическими свойствами и т.д.

Катанка должна обладать хорошей пластичностью и деформируемостью, поскольку именно от этих характеристик зависит степень волочения[1-10]. Чтобы определить качество катанки, оцениваются и геометрические характеристики материала. В процессе производства также следят за тем, чтобы поверхность была чистой, поперечное сечение не имело дефектов.

Цель исследования, постановка проблемы

Цель работы – провести анализ параметров качества проволоки в зависимости от исходной катанки, полученной способом непрерывного литья и непрерывного литья и прокатки.

В работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнены экспериментальные исследования изменения физико-механических свойств по технологическим переходам в волочильной машине ПАО «завод «Южкабель» непрерывнолитой катанки и катанки, произведенной методом непрерывного литья и прокатки.

2. Получены расчетно-экспериментальные зависимости влияния режимов волочения на конечные свойства проволоки.

Материалы исследований

Сопоставительные исследования непрерывнолитой катанки и катанки, произведенной методом непрерывного литья и прокатки были проведены на волочильном оборудовании ПАО «завод «Южкабель» при одинаковых режимах обжатия.

Медная катанка, представляющая собой проволоку диаметром 8 мм, является в настоящее время основным продуктом переработки меди. Основным сырьем для выпуска медной катанки являются медные катоды из меди марки М00к.

Исследование проведено на двух партиях непрерывнолитой и непрерывнолитой и прокатанной медной катанки на оборудовании ПАО «завод «Южкабель». Каждая партия включала 15 образцов проволоки различного диаметра. Испытания проволоки на растяжение в соответствии с требованиями ГОСТ 10446 «Проволока. Метод испытания на растяжение». Проволока разрезалась на образцы с расчетной длиной 200 мм. Проволока обеих партий (1-5 варианты) испытывали на разрывной машине Р-5 при настройке ее на шкалы 1000 кГ и 2500 кГ, проволока остальных вариантов испытывалась на разрывной машине Р-0,5 при настройке ее на шкалы 100 кГ, 250 кГ и 500 кГ. В процессе испытаний записывались диаграммы растяжения в координатах «нагрузка – деформация» при масштабе записи по оси деформации 10:1 и велось наблюдение за местом разрушения проволоки. Испытания по каждому варианту проводились на трех образцах. Перед испытаниями наносились метки по границам расчетной длины образцов, а также измерялись диаметры образцов микрометром.

Результаты исследований. Основные показатели процесса

Процесс волочения характеризуется следующими основными деформационными показателями:

а) вытяжка

$$\lambda = \frac{F_0}{F_1},$$

где F_0 и F_1 - площади проволоки перед и после волюки, соответственно;

б) логарифмическая деформация удлинения или логарифмическая вытяжка

$$\ln \lambda = \ln \frac{F_0}{F_1};$$

в) относительное обжатие

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0};$$

г) относительное удлинение

$$\delta = \frac{F_0 - F_1}{F_0}.$$

Эти показатели в разных математических выражениях определяют главную деформацию удлинения осевого слоя, которая в процессе волочения является максимальной по отношению к поперечным деформациям и поэтому достаточно полно отражает деформационную сторону процесса.

Обжатие и вытяжка связаны между собой следующими соотношениями, основанными на законе постоянства объема:

$$\varepsilon = \frac{(\lambda - 1)}{\lambda};$$
$$\lambda = \frac{1}{(1 - \varepsilon)}. \quad (1)$$

Результаты испытаний проволоки, произведенной из непрерывнолитой и непрерывнолитой и прокатанной медной катанки, приведены в табл. 1 и табл. 2, соответственно.

Таблица 1 - Результаты испытаний проволоки из непрерывнолитой катанки

Вариант №	Фактический диаметр проволоки d , мм	Расчетная длина образца l , мм	σ_b , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ_{200} , %
1	min 7,72 max 8,08 ср, 7,93	200	18,6	10,3	34,50
		200	18,8	11,1	30,50
		200	18,8	11,4	33,25
2	6,83	200	25,9	24,5	4,40
		200	25,9	24,5	5,00
		200	26,3	24,5	2,10
3	5,75	200	30,5	28,7	2,75
		200	30,7	28,5	3,70
		200	30,7	28,7	3,05
4	4,81	200	34,5	32,2	1,75
		200	34,0	32,2	2,40
		200	33,8	31,6	1,50
5	4,06	200	36,3	34,0	2,00
		200	36,4	35,4	2,00
		200	36,7	35,4	1,50
6	3,44	200	39,0	37,8	1,75
		200	39,6	38,9	2,25
		200	37,9	37,7	2,15
7	2,96	200	40,8	39,8	2,25
		200	41,1	40,6	1,60
		200	40,8	39,7	2,10
8	2,56	200	42,4	40,8	1,90
		200	40,3	39,5	0,25
		200	42,1	41,4	1,75
9	2,23	200	43,5	38,3	1,50
		200	43,5	39,0	1,50
		100	43,2	38,8	1,00
10	1,95	200	44,7	40,2	1,10
		200	44,7	41,9	0,60
		100	44,1	41,4	1,00
11	1,77	200	43,9	40,9	1,25
		200	44,7	43,0	0,60
		200	43,7	41,8	1,00
12	1,55	200	45,9	42,0	1,05
		200	44,0	40,8	0,30
		100	45,3	42,1	2,00
13	1,38	200	44,3	38,5	0,45
		200	45,2	41,2	0,50
		200	45,0	41,5	1,00
14	1,23	200	45,8	39,6	1,05
		200	45,6	40,7	0,75
		200	47,0	44,1	1,00
15	1,14	200	46,4	45,5	0,50
		200	47,1	46,0	0,50
		200	47,1	46,0	0,50

Таблица 2 - Результаты испытаний проволоки, произведенной из непрерывнолитой и прокатанной катанки

Вариант №	Фактический диаметр проволоки, d , мм	Расчетная длина образца l , мм	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ_{200} , %
1	min 7,88 max 8,08 ср, 7,98	200	24,3	14,0	41,1
		200	24,0	13,8	39,9
		200	24,0	13,6	40,5
2	6,83	200	32,5	30,7	54,5
		200	32,2	30,5	6,00
		200	32,5	30,0	7,60
		200	32,3	30,2	7,65
3	5,75	200	37,0	35,1	1,85
		200	37,2	35,1	0,55
		200	37,1	35,4	1,75
		200	37,4	35,4	3,95
4	4,82	200	40,0	37,6	0,55
		200	40,1	37,6	3,00
		200	39,6	37,7	0,75
		200	39,6	37,7	1,10
5	4,06	200	41,6	38,8	3,00
		200	41,8	38,8	3,90
		200	41,2	38,9	2,60
6	3,45	200	43,5	41,3	2,00
		200	42,8	41,0	1,00
		200	43,5	41,5	2,30
7	2,96	200	43,9	41,5	3,20
		200	43,3	41,0	2,70
		200	42,9	40,8	2,45
		200	43,5	40,8	2,05
8	2,56	200	44,0	41,6	1,70
		200	44,6	41,6	1,85
		200	44,6	41,8	1,85
9	2,23	200	44,0	42,8	1,25
		200	45,5	41,4	1,80
		200	45,6	42,5	1,80
10	1,95	200	43,9	43,0	1,35
		200	45,9	43,5	1,95
		200	46,0	43,8	2,00
11	1,77	200	45,3	44,1	1,50
		200	46,3	44,7	0,85
		200	46,5	44,7	1,75
12	1,55	200	45,4	42,8	1,25
		200	47,3	45,0	1,45
		200	46,7	45,0	1,00
		200	46,4	44,3	1,50
13	1,38	200	46,6	44,4	0,65
		200	47,1	45,1	1,00
		200	47,1	45,1	1,00
14	1,23	200	48,3	46,1	1,60
		200	47,7	45,5	1,00
		200	48,5	46,1	1,85
15	1,13	200	47,3	44,6	0,55
		200	47,9	45,2	0,75
		200	48,7	46,3	1,00

На основе экспериментальных данных (табл. 1, табл. 2) с использованием формулы (1) были рассчитаны суммарные вытяжки для катанки двух типов. Результаты представлены на рис. 1.

Полученные значения λ_{Σ} были аппроксимированы следующими зависимостями:

- для катанки, полученной способом непрерывного литья и прокатки:

$$\lambda_{\Sigma} = 17.7 - 4.7 \ln F;$$

- для катанки, полученной способом непрерывного литья:

$$\lambda_{\Sigma} = 17 - 4.8 \ln F.$$

По сравнению с показателем обжатия коэффициент вытяжки точнее характеризует степень деформации металла при волочении, причем с повышением степени деформации разница между показателями деформации увеличивается.

Теоретически более обоснованное представление о степени деформации дает показатель «истинной» относительной деформации (логарифмическая деформация удлинения).

Важнейшее расчетное свойство логарифмической деформации удлинения - его аддитивность, т.е. возможность суммирования показателей нескольких, следующих один за другим переходов. Таким свойством показатели относительное обжатие и относительное удлинение не обладают. Однако то, что в теории пластических деформаций продолжают их применять, объясняется, с одной стороны, влиянием на нее теории упругих деформаций, а с другой - простотой определения этих показателей, что ценно при проведении инженерных расчетов.

Волочение можно вести либо через одну волоку, либо при помощи специальных устройств одновременно через несколько волок. В первом случае волочение называют однократным, а во втором - многократным. В последнем случае зависимость между начальным и конечным сечениями протягиваемой заготовки, числом протяжек и средней вытяжкой за переход выражается формулой:

$$n = \frac{(\ln F_0 - \ln F_n)}{\ln \lambda_c}, \quad (2)$$

где $\lambda_c = \sqrt[n]{\lambda_{\Sigma}}$.

С учетом результатов, полученных по формуле (1), логарифмическая деформация удлинения составляют:

- для технологии непрерывного литья-прокатки $n=18,96$;

- для технологии непрерывного литья $n=18,35$.

По экспериментальным данным (табл. 1, табл. 2) построены графики, приведенные на рис. 2.

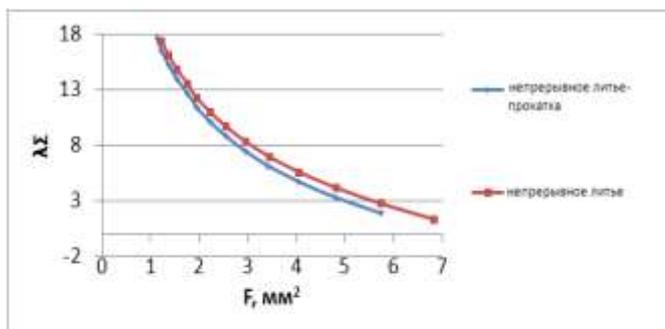


Рис. 1 – Графики зависимостей суммарной вытяжки от площади поперечного сечения проволоки в фильерах

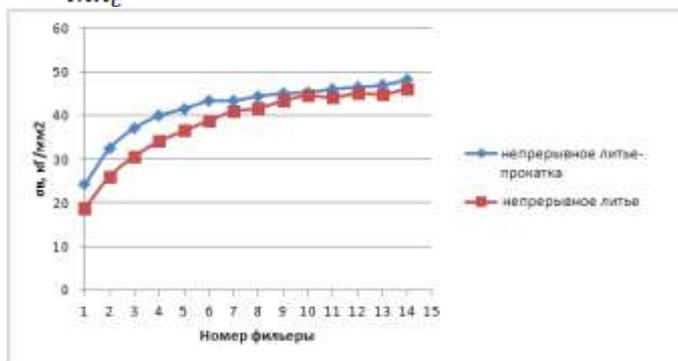


Рис. 2 – Изменение временного сопротивления разрыву медной проволоки после каждой фильеры

По результатам экспериментальных исследований катанки были получены функциональные зависимости $\sigma_B=f(d)$, которые имеют следующий вид:

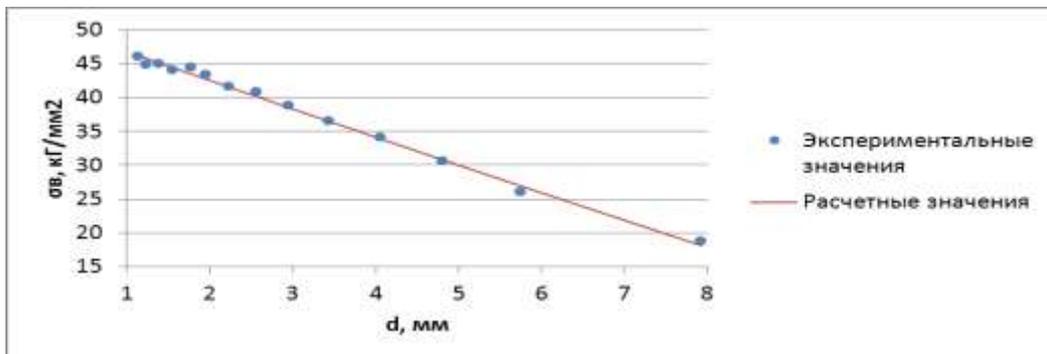
- для проволоки произведенной из непрерывнолитой катанки:

$$\sigma_B = -0,18d^2 - 1,711d + 49,4;$$

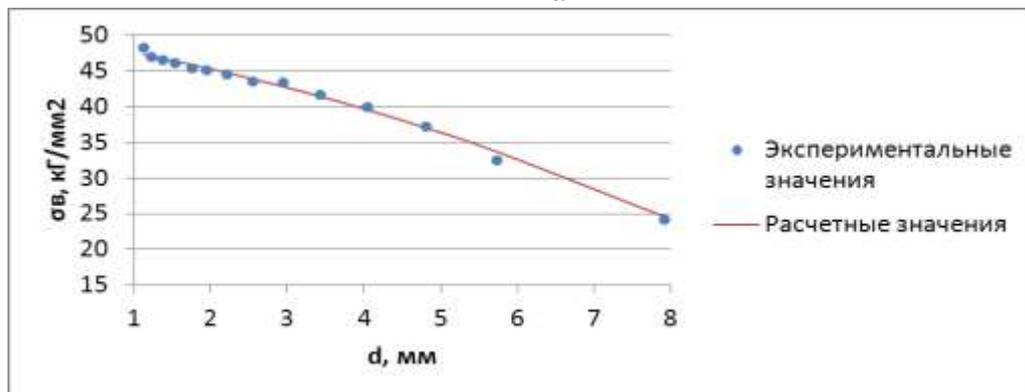
- для проволоки произведенной из непрерывнолитой и прокатанной катанки:

$$\sigma_B = 0,02d^2 - 4,33d + 51,1.$$

Полученные зависимость представлена в графическом виде на рис. 3.



а



б

Рис. 3 – Аппроксимирующие кривые зависимости $\sigma_B = f(d)$: а – из непрерывнолитой катанки; б – из непрерывнолитой и прокатанной катанки

Заключение

В работе выполнены сопоставительные исследования непрерывнолитой катанки и катанки, произведенной методом непрерывного литья и прокатки на волочильном оборудовании ПАО «завод «Южкабель» при одинаковых режимах обжатия. В результате выполненных исследований установлено:

1. Суммарные вытяжки для катанки двух типов λ_{Σ} могут быть аппроксимированы зависимостями вида: для катанки, полученной способом непрерывного литья и прокатки $\lambda_{\Sigma} = 17,7 - 4,7 \ln F$; для катанки, полученной способом непрерывного литья - $\lambda_{\Sigma} = 17 - 4,8 \ln F$.

2. Логарифмическая деформация удлинения составляют: для катанки, полученной по технологии непрерывного литья-прокатки $n=18,96$; для катанки, полученной по технологии непрерывного литья $n=18,35$.

3. По результатам экспериментальных исследований катанки были получены функциональные зависимости $\sigma_B=f(d)$, которые имеют следующий вид: для проволоки произведенной способом непрерывного литья-прокатки:

$\sigma_{\text{в}} = -0,18d^2 - 1,711d + 49,4$; для проволоки произведенной способом непрерывного литья: $\sigma_{\text{в}} = 0,02d^2 - 4,33d + 51,1$.

4. Полученные результаты свидетельствуют о том, что показатели качества проволоки, полученной из непрерывнолитой катанки на 3-5% выше, чем у проволоки, полученной из катанки способом непрерывного литья и прокатки

Список литературы. 1. Красильников Л. А. Новые процессы деформации металлов и сплавов. - М.: Высшая школа, 1986. - 330 с. 2. Красильников Л. А. Волоочильщик проволоки / Л. А. Красильников, А. Г. Лысенко. - М.: Металлургия, 1987. - 320 с. 3. Перлин И. Л. Теория волочения / И. Л. Перлин, М.З. Ерманок. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1971. - 411 с. 4. Шаталов Р. Л. Теория процессов прокатки и волочения. - М.: Издательство МГОУ, 1993. - 250 с. 5. Томсен Э. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э. Томсен Ч. Янг, Ш. Кобаяши. - М.: Машиностроение, 1968. - 504 с. 6. Горловский М. Б. Оборудование и инструмент для волочения стальной проволоки. - М.: Машиностроение, 1974. - 459 с. 7. Горловский М. Б. Справочник волоочильщика проволоки / М. Б. Горловский, В. Н. Меркичев. - М.: Металлургия, 1993. - 335 с. 8. Колмогоров Г. Л. Инструмент для волочения / Г. Л. Колмогоров, С. И. Орлов, В. Ю. Шевляков. - М.: Металлургия, 1992. - 144 с. 9. Тарновский А. Л. Эффективность волочения с противонапряжением. - М.: Металлургия, 1959. - 241 с. 10. Юхвец И. А. Волоочильное производство. - М.: Металлургия, 1987. - 319 с.

Надійшла до редколегії 22.01.2013

УДК621.778

Анализ влияния способа изготовления медной катанки на характеристики медной проволоки / Белянин Р.В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 11 (985). – С. 174-181. – Бібліогр.: 10 назв.

На обладнанні ПАТ «завод «Південкабель» виконані дослідження на двох партіях безперервнолитої і безперервнолитої та прокатоної мідної катанки. Отримані розрахунково-експериментальні залежності впливу режимів волочіння на кінцеві властивості дроту. Зіставлення параметрів якості дроту в залежності від вихідної катанки, отриманої способом безперервного лиття і безперервного лиття та прокатки.

Ключові слова: волочіння, катанка мідна, безперервнолита, дріт, якість

The equipment of PJSC Yuzhcable works conducted research on the two parties, and continuous casting and continuous and rolled copper rod. Calculated experimental dependence on the effect of drawing on the final properties of the wire. Analysis of the effect of the method of manufacturing copper rod on characteristics of copper wire.

Keywords: drawing, copper rod, concast, wire, quality