

7. Brondel D., Edwards R., Hayman A., Hill D., Mehta S., Semerad T. Corrosion in the Oil Industry. *Oilfield review*, pp. 4–18.
8. State Standard R 52203-2004. Pump-Compressor Tubes and Couplings for Them. Specifications. Moscow, 2015 (In Russian).
9. API Specifiaction 5CT. Specification for Casing and Tubing. Eight Edition, July 1, 2005. ISO 11960:2004, Petroleum and natural gas industries – Steel pipes for use as casing or tubing for wells.
10. Sergio Cerruti. An Overview of Corrosion Resistant Alloy Steel Selection and Requirements for Oil and Gas Industry. AGIP Divisione Esplorazione e Produzione
11. Bruce D. Craig, Liane Smith Corrosion Resistant Alloys (CRAs) in the oil and gas industry – selection guidelines update. 3rd Ed. September 2011. The Nickel Institute. p. 12.
12. Craig B.D. Selection guidelines for corrosion resistant alloys in the oil and gas industry. *Materials selection for the oil and gas industry*, pp. 1–11.
13. Safonov V.N. and Kim S.K. Performance of the wells of the OOO Lukoil-Komi under corrosive conditions. *Inzh. Praktika*, no. 1, pp. 50–59, 2012.
14. Smith L.M. Engineering with clad steel. *NiDI Series*, no. 10 064, p. 20, 1992.
15. Xuesheng Wang, Peining Li, Ruzhu Wang. Study on hydro-forming technology of manufacturing bimetallic CRA-lined pipe. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45 (2005), pp. 373–378.
16. A.C. de Koning, H. Nakasugi, Li Ping. TFP and TFT back in town (Tight Fit CRA lined Pipe and Tubing). *Stainless Steel World*, 2003, pp. 1–12.
17. Bogatov N.A., Bogatov A.A., and Salikhyanov D.R. Corrosion-Resistant Lined Pump and Compressor Pipe. *Steel in Translation*, vol. 44, no. 11, 2014, pp. 867–869.
18. Bogatov N.A., Bogatov A.A., and Salikhyanov D.R. Use of The Lining Method to restore the Service Characteristic of Pump-Compressor Tubing that has exhausted its original service life. *Metallurgist*, vol. 58, no. 11–12, 2014, pp. 1006–1010.
19. Bogatov N.A. *Sposob izgotovleniya nasosno-kompressornykh trub* [Method of making pump-compressor tubing]. Patent RF, no. 2344266, 2007.

Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Развитие технологии изготовления труб в коррозионностойком исполнении // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 33–38.

Bogatov N.A., Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Development of manufacturing process of corrosion-resistant pipes. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 33–38.

УДК 65.011.56: 621.771: 621.778: 669.21/23.018

## СОЗДАНИЕ НОВЫХ СПЛАВОВ ЮВЕЛИРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ОБРАБОТКИ\*

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Дитковская Ю.Д., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Рудницкий Э.А.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

**Аннотация.** В статье приведен анализ технологии изготовления длинномерных деформированных полуфабрикатов для производства ювелирных цепей из сплавов драгоценных металлов. С применением программного обеспечения, базирующегося на авторских методиках расчета деформационных и энергосиловых параметров холодной сортовой прокатки и волочения, спроектированы новые технологические режимы обработки для новых сплавов на основе золота, серебра и палладия, прошедшие опытно-промышленную апробацию и позволившие повысить технико-экономические показатели производства ювелирных изделий.

**Ключевые слова:** сплавы на основе золота, серебра и палладия, технологические процессы, ювелирные цепи, проволока, сортовая прокатка, волочение.

### Введение

В настоящее время актуально создание новых сплавов ювелирного назначения на основе уменьшающих вредное воздействие на здоровье человека драгоценных металлов и аллергенов, обладаю-

щих повышенными прочностными и эксплуатационными характеристиками и обеспечивающих эффективное производство качественной продукции.

Существующая практика применения единой технологической схемы для сплавов на основе золота, серебра и палладия без учета свойств обрабатываемого материала приводит к нерациональной энергосиловой загрузке оборудования, низкому качеству готовой продукции и высокому проценту брака. Внедрение в производство этих сплавов, обладающих повышенными механическими характеристиками, требует разработки новых технологических режимов изготовления длинномерной продукции для ювелирных цепей. Таким образом,

\* Статья по материалам доклада на международной молодежной научно-технической конференции «Инновационные процессы обработки металлов давлением: фундаментальные вопросы связи науки и производства», состоявшейся 15–17 июня 2015 г. в ФГБОУ ВПО «МГТУ» (г. Магнитогорск) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ №15-38-10185).

© Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Дитковская Ю.Д., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Рудницкий Э.А., 2015

актуальной является задача проектирования рациональных деформационных режимов обработки новых сплавов драгоценных металлов с учетом их механических свойств.

### Материалы и методы исследования

Учеными кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета (ИЦМиМ СФУ) разработан и запатентован ряд новых ювелирных сплавов на основе золота [1–4], серебра [5] и палладия [6–7]. Предложенные сплавы многокомпонентных систем драгоценных металлов обладают мелкозернистой структурой и высоким уровнем прочностных и эксплуатационных свойств, распределенных равномерно по длине и сечению слитка. Они гипоаллергенны, пригодны для изготовления изделий методами литья и обработки давлением, обеспечивают высокое качество готовой продукции и широкие возможности их применения в ювелирном производстве.

Для исследований применяли общепринятые методы металлографического анализа и теории обработки металлов давлением. В табл. 1 представлены свойства новых сплавов драгоценных металлов. Деформированные образцы отбирались после каждого этапа сортовой прокатки в соответствии с применяемой в заводских условиях технологической схемой изготовления проволоки для производства ювелирных цепей из сплавов драгоценных металлов.

Химический состав новых сплавов драгоценных металлов

Сплав	Массовая доля компонента, %									
	Au	Ag	Pd	Cu	Zn	In	Ru	Sn	Si	Rh
Сплав 1 красное золото [3]	58,5	5,0	–	33,2	2,9	–	0,001	–	–	–
Сплав 2 белое золото [1]	58,5	26,0	8,0	5,5	1,5	0,5	0,01	–	–	–
Сплав 3 серебро [5]	–	93,0	–	4,5	2,3	0,07	–	0,09	0,07	–
Сплав 4 палладий [7]	2,5	12,9	85,5	–	–	–	–	–	–	0,5

Исследования свойств металла проводили на образцах, отобранных после технологических операций сортовой прокатки, волочения и промежуточных отжигов, в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84 и 10446-80 на проведение испытаний методом растяжения. В качестве оборудования применяли универсальную электро-механическую испытательную машину «LFM-

400» (Walter + Bai AG, Швейцария) при следующих условиях: температура 22–25°C, скорость деформирования 20 мм/мин, длина рабочей зоны 50 мм для проката размерами 3,7×3,7 и 2,1×2,1 мм, 100 мм – для проката размерами 1,1×1,1 мм. Проволочные образцы разрывали на универсальной разрывной машине «H5K-S» (Hounsfield teste quipment ltd, Великобритания), специально адаптированной под образцы тонких сечений при следующих условиях: температура 22–25°C, скорость деформирования 200 мм/мин, длина рабочей зоны 100 мм.

Для выявления микроструктуры образцы изначально шлифовали, после чего полировали и в некоторых случаях, для лучшего выявления структуры металла, шлифы протравливали. Металлографические исследования проводили на микроскопе Axio Observer D1m (Carl Zeiss, Германия). Микротвердость определяли при помощи цифрового микротвердомера DM8 (Affri, Италия), предназначенного для определения твердости очень малых (микроскопических) объемов материалов. В качестве индентора при измерении микротвердости применяли правильную четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136°, которая плавно вдавливалась в образец при нагрузках 50 и 200 гр (ГОСТ 9450-76).

### Технические и технологические разработки

Применяемая в ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В.Н. Гулидова» (ОАО «Красцветмет») технология изготовления ювелирных цепей из сплавов драгоценных металлов (рис. 1) характеризуется высокой трудо- и энергоемкостью, большим количеством технологических переделов, сравнительно низкими показателями экономической эффективности производства.

Основными операциями для изготовления длинномерных деформированных полуфабрикатов являются многопереходные процессы холодной сортовой прокатки и волочения. При этом литая заготовка диаметром 8–10 мм в процессе обработки металла изменяет свою форму и размеры вплоть до получения проволоки диаметром 0,25–0,35 мм.

Сортовая прокатка осуществляется в три этапа (28 проходов) с применением промежуточных отжигов. Анализ показал, что распределение деформации по проходам для принятого режима весьма неравномерно, при этом не учитывается упрочнение материала при холодной деформации.

ции, и в конце первого и второго этапов прокатки коэффициенты вытяжки  $\lambda$  растут. Это неблагоприятно сказывается на обработке металла, ведет к повышению энергосиловой загрузки оборудования и появлению трещин на раскате.

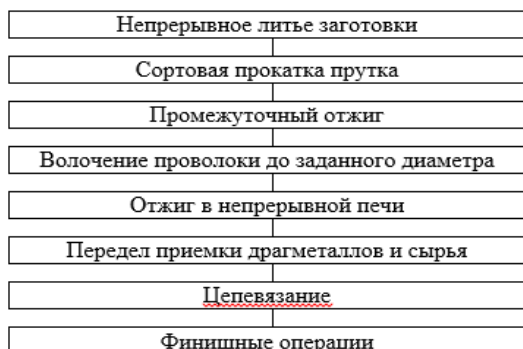


Рис. 1. Типовая схема изготовления ювелирных цепей

Характер распределения деформации по переходам при волочении также неравномерный. При этом коэффициент вытяжки имеет максимальное значение в первом проходе, что приводит к увеличению напряжения волочения и возможности обрывов проволоки.

Следует отметить, что данные деформационные режимы применимы для сплавов, характеризующихся повышенными пластическими свойствами, так как не приводят к браку по указанным выше причинам. Однако обработка сплавов с повышенными прочностными характеристиками неизбежно приводит к его появлению, в том числе и в результате быстрого упрочнения металла, к

которому приводит дробность деформации при прокатке и волочении.

В связи с этим предложены новые технические разработки, заключающиеся в выборе химических составов сплавов многокомпонентных систем драгоценных металлов и методов их модифицирования [8] и обработки [9]. Технологические задачи решались путем рационального распределения деформационных показателей по переходам, определения энергосиловых параметров процессов с учетом свойств деформируемого металла при его обработке на каждом из технологических переделов.

### Результаты исследований и их обсуждение

Для анализа и проектирования новых технологических режимов деформации металла, расчета и моделирования калибровки валков при сортовой прокатке и их изготовления применялась система автоматизированного проектирования “PROVOL” [10, 11]. Особенностью данной программы является ее адаптация к производственным условиям ОАО «Красцветмет». В ней заложены алгоритмы расчета сортовой прокатки прутков в восьмигранных калибрах в непрерывных группах клетей прокатных станов и расчета процесса многократного волочения проволоки со скольжением, применяемые на предприятии при изготовлении различных видов ювелирных цепей из драгоценных металлов.

С помощью этой программы были спроектированы режимы сортовой прокатки (табл. 2) и волочения (табл. 3) для новых сплавов красного и белого золота 585 пробы, серебра 925 пробы и палладия 850 пробы.

Таблица 2

Разработанные режимы сортовой прокатки новых сплавов драгоценных металлов

Номер калибра	Сплав № 1			Сплав № 2			Сплав № 3			Сплав № 4		
	Вытяжка $\lambda_i$	$\sigma_i$ , МПа	$R_p$ , кН	Вытяжка $\lambda_i$	$\sigma_i$ , МПа	$R_p$ , кН	Вытяжка $\lambda_i$	$\sigma_i$ , МПа	$R_p$ , кН	Вытяжка $\lambda_i$	$\sigma_i$ , МПа	$R_p$ , кН
1	1,43	311,7	32,1	1,24	418,1	47,2	1,32	213,3	24,3	1,95	482,7	59,6
2	1,35	418,2	35,5	1,32	507,4	47,9	1,19	277,4	28,2	1,18	611,4	62,1
3	1,28	436,5	31,6	1,28	544,2	43,8	1,24	317,0	28,2	1,22	637,8	56,8
4	1,24	450,1	28,4	1,22	575,7	40,8	1,31	354,3	26,4	1,33	662,7	49,3
5	1,19	458,8	25,9	1,19	598,4	37,9	1,34	385,9	23,8	1,33	683,4	42,2
6	1,16	464,5	23,8	1,15	615,0	35,6						
7	1,16	468,8	21,8	1,15	627,9	33,2						
8	1,11	472,0	20,6	1,14	639,1	31,1						
9	1,28	385,6	14,3	1,32	521,3	21,2	1,38	410,1	20,5	1,39	440,1	22,0
10	1,27	324,2	10,3	1,27	422,5	16,2	1,55	429,8	16,2	1,55	563,7	21,2
11	1,25	368,8	10,2	1,20	464,8	14,4	1,49	444,3	13,0	1,20	627,8	21,2
12	1,21	398,1	9,7	1,18	497,3	13,9	1,46	452,9	10,4	1,24	651,8	19,0
13	1,20	417,8	9,1	1,14	523,2	13,4	1,17	457,2	9,5	1,21	670,3	17,4
14	1,19	432,5	8,4	1,12	542,8	12,9				1,41	686,9	14,2
15	1,29	369,3	6,1	1,25	469,5	9,7	1,13	458,9	8,9	1,13	398,5	7,7
16	1,28	326,8	4,6	1,27	411,9	7,3	1,26	460,6	7,6	1,37	486,0	7,6
17	1,26	371,9	4,5	1,25	457,7	7,0	1,28	462,6	6,6	1,18	563,2	8,0
18	1,25	402,6	4,2	1,23	498,1	6,7	1,11	463,8	6,1	1,10	593,2	7,8
19	1,19	422,5	4,0	1,22	532,4	6,3	1,23	464,7	5,4	1,23	618,5	7,2
20	1,14	434,6	3,8	1,20	561,0	5,9	1,17	465,6	4,9	1,17	643,5	6,7

Таблица 3

## Разработанные режимы волочения новых сплавов драгоценных металлов

Номер прохода	Вытяжка $k_i$	Сплав 1		Сплав 2		Сплав 3		Сплав 4	
		$\eta$	$P_v, H$	$\eta$	$P_v, H$	$\eta$	$P_v, H$	$\eta$	$P_v, H$
1	1,57	1,65	275,6	1,40	225,7	1,60	117,1	1,46	235,5
2	1,47	1,49	247,5	1,44	168,3	1,30	93,4	1,45	183,6
3	1,42	1,53	183,5	1,52	119,6	1,44	57,8	1,52	131,5
4	1,38	1,62	131,4	1,61	84,4	1,55	37,7	1,61	92,9
5	1,33	1,77	92,2	1,77	58,9	1,72	24,8	1,77	64,7
6	1,31	1,85	68,6	1,84	43,7	1,81	17,6	1,84	48,0
7	1,28	1,98	50,5	1,98	32,2	1,94	12,6	1,97	35,3
8	1,26	2,07	38,5	2,07	24,5	2,05	9,3	2,07	26,8
9	1,25	2,13	30,1	2,13	19,2	2,11	7,1	2,13	21,0
10	1,23	2,25	23,3	2,25	14,8	2,22	5,4	2,25	16,2

Расчет проводился для имеющегося на предприятии оборудования и в соответствии с применяемой на производстве схемой прокатки заготовки диаметром 8 мм до полуфабриката восьмигранного сечения со стороной 1 мм для дальнейшего волочения – в три этапа с применением промежуточных отжигов. Предложенные режимы учитывают повышенные прочностные свойства сплавов, их упрочнение в процессе обработки, а также ограничения по энергосиловым параметрам, обусловленные характеристиками применяемого оборудования.

Разработанные маршруты обеспечивают более равномерное распределение вытяжек по проходам, тем самым создавая благоприятные условия для обработки металла и снижения вероятности возникновения брака готовой продукции (переполнение калибров, образование трещин, обрывы и т.п.).

О целесообразности внедрения предложенных режимов свидетельствует их сравнение с существующими маршрутами сортовой прокатки деформированных длинномерных полуфабрикатов для изготовления ювелирных цепей (рис. 2). Сократилось количество проходов для всех сплавов, а усилие не превысило допустимого. Высокие пластические свойства нового сплава серебра (сплав 3) позволяют вести его обработку по разработанному маршруту без проведения промежуточных отжигов. Для наглядного подтверждения данных выводов приведено изменение коэффициента вытяжки и усилия при прокатке сплава 1.

Перераспределение вытяжек по проходам при волочении позволило добиться более равномерного изменения деформации, при этом значения усилий волочения ( $P_v$ ) не превышают допустимых величин. Кроме того, повышаются значения коэффициента запаса ( $\eta$ ), свидетельствующие о снижении риска образования брака в виде обрыва проволоки (рис. 3).

Результаты исследований механических свойств полуфабрикатов из рассматриваемых сплавов при различных степенях деформации приведены в табл. 4.

Апробация предложенных режимов сортовой прокатки и волочения, в том числе в условиях ОАО «Красцветмет», показала, что их применение для изготовления проволоки из новых сплавов позволяет повысить технико-экономические показатели производства, эксплуатационные характеристики ювелирных изделий и получить однородную волокнистую структуру и равномерное распределение механических свойств по длине и сечению изделия (рис. 4) за счет модифицирования сплава рутением в заявленных количествах [8].

Выход годного при изготовлении цепей типа «Снейк» из проволоки, полученной по предложенной технологии для сплава 1, составил около 70%, что на 9,7% выше среднего для производства таких цепей из сплава золота 585 пробы, применяемого на заводе.



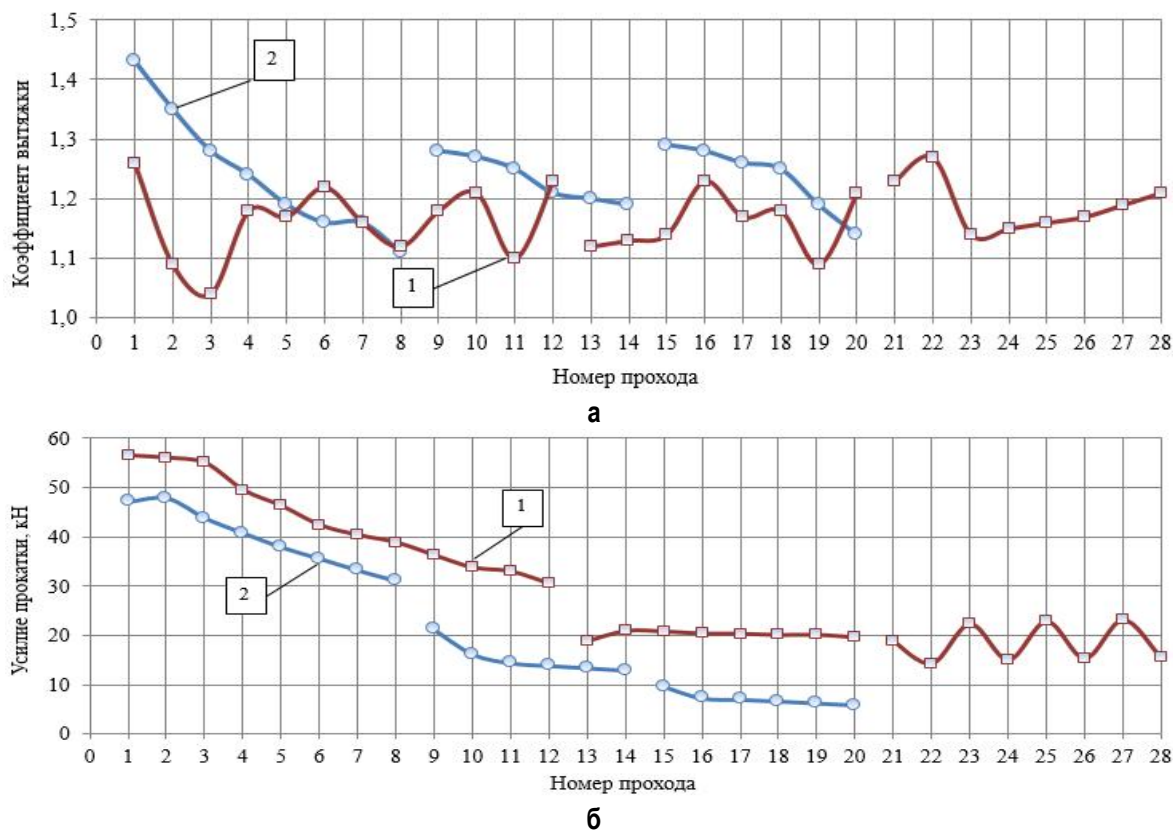


Рис. 2. Изменение коэффициента вытяжки (а) и усилия (б) по проходам для существующего (1) и предложенного (2) маршрутов сортовой прокатки сплава 1

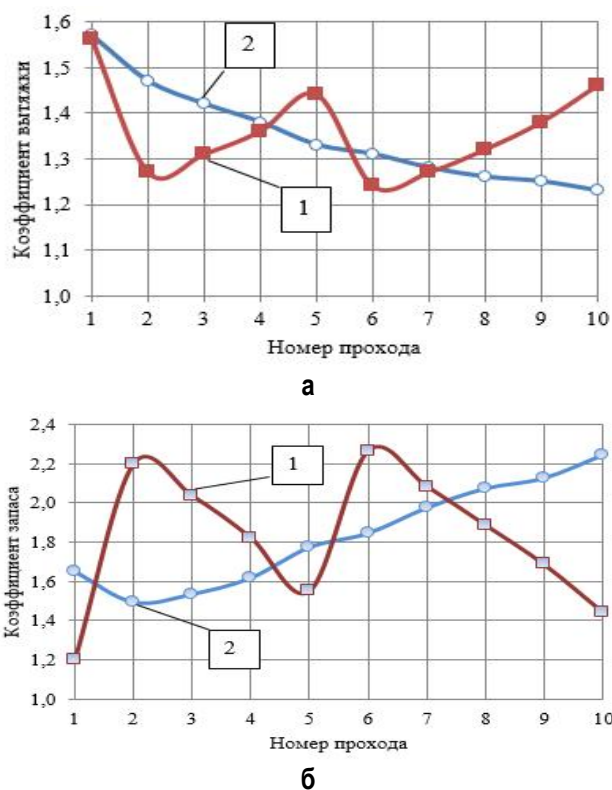


Рис. 3. Изменение коэффициента вытяжки (а) и коэффициента запаса (б) по проходам для существующего (1) и предложенного (2) маршрутов волочения сплава 1

Таблица 4

## Механические свойства новых сплавов драгоценных металлов

Номер прохода	Степень деформации, %	Сплав 1		Сплав 2		Сплав 3		Сплав 4	
		$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
1	78,6	979,7	0,6	626,4	4,0	420,3	1,3	688,4	0,8
2	67,8	929,0	1,2	599,7	2,4	392,3	5,0	659,8	1,4
3	72,5	952,3	2,7	611,7	1,5	404,7	4,5	672,8	2,5

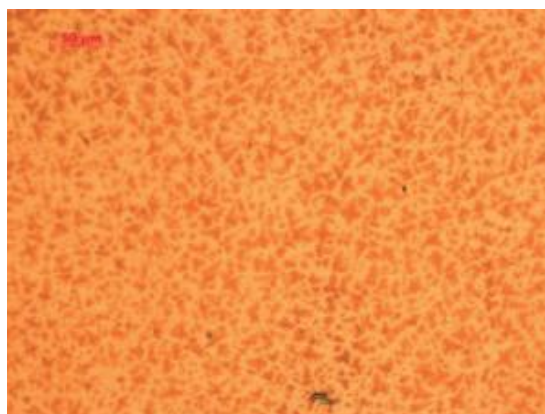


Рис. 4. Структура сплава 1 в литом состоянии

## Заключение

Таким образом, предложены для промышленного использования сплавы на основе золота, серебра и палладия, обладающие повышенным уровнем механических и эксплуатационных свойств. Для данных сплавов разработаны технологические схемы для получения проволоки ювелирного назначения с помощью операций сортовой прокатки и волочения.

Разработанная технология позволяет снизить трудоемкость производства, повысить качество готовой продукции, увеличить выход годного и снизить процент брака при изготовлении ювелирных изделий.

## Список литературы

1. Пат. 2430982 Российская Федерация. Сплав на основе золота белого цвета 585 пробы / Сидельников С.Б., Мальцев Э.В., Довженко Н.Н. [и др.], 2011.
2. Пат. 2439179 Российская Федерация. Сплав на основе золота белого цвета 585 пробы / Сидельников С.Б., Мальцев Э.В., Довженко Н.Н. [и др.], 2012.
3. Пат. 2391425 Российская Федерация. Сплав на основе золота / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Биронт В.С. [и др.], 2010.
4. Пат. 2514898 Российская Федерация. Сплав красного цвета на основе золота 585 пробы / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Лопатина Е.С. [и др.], 2014.
5. Пат. 2513502 Российская Федерация. Сплав белого цвета на основе серебра 925 пробы, модифицированный кремнием / Сидельников С.Б., Беляев С.В., Столяров А.В. [и др.], 2014.
6. Пат. 2392339 (РФ). Сплав на основе палладия / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Биронт В.С. [и др.], 2010.
7. Заявка 2014130807 Российская Федерация. Сплав на основе палладия 850 пробы / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Беляев С.В. [и др.], 2014.
8. Пат. 2507284 Российская Федерация. Способ модифицирования сплавов на основе золота / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Лопатина Е.С. [и др.], 2014.
9. Разработка и исследование технологии получения деформированных полуфабрикатов из сплавов золота 585 пробы / Сидельников С.Б., Беляев С.В., Лебедева О.С., Павлов Е.А., Столяров А.В., Усков И.В., Феськов Е.В., Гайлис Ю.Д. // Цветные металлы – 2012. 2012. С. 802–807.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612273 / Сидельников С.Б., Беляев С.В., Лебедева О.С. [и др.], 2015.
11. Разработка подсистемы САПР технологических процессов производства ювелирных изделий / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Гайлис Ю.Д., Лебедева О.С. // Известия МГТУ «МАМИ». Сер. 2. Технология машиностроения и материалы. 2013. №2(16). Т.2. С. 216–220.

## INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

## CREATION OF NEW JEWELRY ALLOYS FROM MULTICOMPONENT PRECIOUS-METAL SYSTEMS AND THEIR PROCESSING TECHNOLOGIES

**Sidelnikov Sergey Borisovich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.  
E-mail: sbs270359@yandex.ru.

**Dovzhenko Nikolay Nikolaevich** – D.Sc. (Eng.), Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Ditkovskaya Yulia Dmitrievna** – Postgraduate Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Lopatina Ekaterina Sergeevna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Lebedeva Olga Sergeevna** – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Rudnitsky Edvard Anatolevich** – Ph.D. (Eng.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

**Abstract.** The article presents the analysis of manufacturing technology of long deformed semi-finished products for jewelry-chain production from precious metal alloys. New conditions for gold-silver-palladium-based alloy processing have been designed with the software based on the proprietary calculation techniques of deformation and power parameters of cold section rolling and drawing. Being successfully piloted, the conditions ensured improvement of jewelry production performance indicators.

**Keywords:** Gold-silver-palladium-based alloys, technological processes, jewelry chains, wire, section rolling, drawing.

#### References

1. Sidelnikov S. B. et al. *Splav na osnovе zolota belogo cveta 585 proby* [An Alloy Based on 585 Probe White Gold]. Patent RF, no. 2430982, 2011.
2. Sidelnikov S. B. et al. *Splav na osnovе zolota belogo cveta 585 proby* [An Alloy Based on 585 Probe White Gold]. Patent RF, no. 2439179, 2012.
3. Sidelnikov S. B. et al. *Splav na osnovе zolota* [An Alloy Based on Gold]. Patent RF, no. 2391425, 2010.
4. Dovjhenko N.N. et al. *Splav krasnogo cveta na osnovе zolota 585 proby* [An Alloy Based on 585 Probe Red Gold]. Patent RF, no. 2514898, 2014.
5. Sidelnikov S. B. et al. *Splav belogo cveta na osnovе serebra 925 proby, modifitsirovanniy kremniem* [An White Color Alloy Based on 925 Probe Silver Modified with Silicon]. Patent RF, no. 2513502, 2014.
6. Sidelnikov S. B. et al. *Splav na osnovе palladiya* [An Alloy Based on the Palladium]. Patent RF, no. 2392339, 2010.
7. Dovjhenko N. N. et al. *Splav na osnovе palladiya 850 proby* [Alloy Based on 850 Probe Palladium]. Application for patent RF no. 2014130807, 2014.
8. Sidelnikov S. B. et al. *Sposob modifitsirovaniya splavov na osnovе zolota* [A Method of Gold-based Alloys Modifying]. Patent RF, no. 2507284, 2014.
9. Sidelnikov S.B., Belyaev S.V., Lebedeva O.S., Pavlov E.A., Stolyarov A.V., Uskov I.V., Feskov E.V., Gaylis Y.D. *Razrabotka i issledovanie tehnologii polycheniya deformirovannih polufabrikatov iz splavov zolota 585 proby. Cvetniye metally – 2012* [Non-ferrous metals – 2012]. 2012, pp. 802–807.
10. Sidelnikov S. B. et al. Certificate of computer program state registration no. 2015612273, 2015.
11. Sidelnikov S. B., Dovjhenko N. N., Gaylis Y. D., Lebedeva O. S. *Razrabotka podsistemy SAPR tehnologicheskikh pcessov proizvodstva yuvelirnyh izdeliy. Izvestiya MGTU «MAMI»* [MSTU “MAMI” Proceedings]. 2013, vol. 2, no. 2, pp. 216-220.

Создание новых сплавов ювелирного назначения из многокомпонентных систем драгоценных металлов и технологий их обработки / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Дитковская Ю.Д., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Рудницкий Э.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 38–44.

Sidelnikov S.B., Dovjhenko N.N., Ditkovskaya Yu.D., Lopatina E.S., Lebedeva O.S., Rudnitsky E.A. Creation of new jewelry alloys from multicomponent precious-metal systems and their processing technologies. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 38–44.