

Глава 4. ГОРЯЧАЯ РОТАЦИОННАЯ КОВКА ПРУТКОВ ДИАМЕТРОМ 2-20 ММ ИЗ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

^{1,2}Андреев В.А., ²Юсупов В.С., ²Перкас М.М., ^{1,2}Якушевич Н.В.

¹«Промышленный центр «МАТЭК-СПФ»,

г. Москва, Россия, E-mail: andreev.icmateks@gmail.com

²ИМЕТ РАН, Москва, Россия, E-mail: vl-yusupov@mail.ru

Сплавы на основе никелида титана различных составов, обладающие целым рядом уникальных функциональных свойств, широко востребованы во многих областях человеческой деятельности, в том числе и инновационных [1]. Однако до сих пор существуют проблемы с производством таких материалов в промышленных масштабах, и, прежде всего, в виде длинномерной продукции.

Технология получения полуфабрикатов никелида титана в СССР разрабатывалась в период 80-х годов на базе ВИЛСа (Всесоюзный институт лёгких сплавов). Слитки и прутки диаметром до 20 мм получали по технологиям и на оборудовании, используемом для производства полуфабрикатов из титановых сплавов [2, 3]. Попытки дальнейшего передела по «титановой» технологии – в катанку диаметром 8 мм и холодное волочение на цепных станах – к успеху не привели из-за более высокого сопротивления деформации никелида титана. В конце 80-х годов впервые было предложено (к.т.н. Лукьянычев С.Ю., нач. лаборатории ВИЛС) использование горячей ротационной ковки для получения прутков из никелида титана диаметром 19-3 мм.

В конце 90-х годов специалистами Промышленного центра МАТЭК-СПФ, при разработке технологического цикла получения проволоки и прутков из никелида титана, горячая ротационная ковка была внедрена для получения прутков диаметром 20-2 мм. При разработке технологии опытные ковки проводились на РКМ (ротационно-ковочных машинах) старой конструкции моделей РКМ-201 и РКМ-202 (разработка Таганрогского завода «Прессмаш») на базе Опытного завода тугоплавких металлов и твёрдых сплавов г. Москва. Данные машины использовались для ковки вольфрамовых и молибденовых заготовок. Недостатком РКМ-201 и РКМ-202 было использование ковочного инструмента с короткой зоной деформации, обусловленное небольшими по глубине размерами ковочного узла. Поверхность прутка получалась неровной, часто возникали дефекты на поверхности (заковы и плена). Использование газовых печей для нагрева заготовок затрудняло контроль температуры, что не имело особого значения для вольфрама и молибдена, но, для никелида титана было очень важно.

В 1999 г. при проектировании цеха по производству прутков и проволоки из никелида титана была применена линия из 4-х РКМ нового поколения Таганрогского завода «Прессмаш» – РКМ-1(В2129.01), РКМ-2(В2129.02), РКМ-3(В2127.01), РКМ-4(В2123.01). Новые машины имели более объёмный ковочный узел и повышенное номинальное усилие ковки. Это позволило разработать и использовать ковочный инструмент с увеличенной длиной зоны деформации. Для нагрева заготовок были разработаны и изготовлены электрические проходные трубчатые печи, обеспечившие точность и равномерность температуры нагрева заготовки в процессе ковки.

На рисунке 1 приведена технологическая схема получения прутков и проволоки из сплавов никелида титана [4, 5 и 6]. Исходной заготовкой для ротационной ковки являлся горячекатаный пруток диаметром 20 мм, полученный на станах ПВП (поперечно-винтовой прокатки) из литой заготовки диаметром 90-100 мм.

Особенностью ротационной ковки является осуществление деформации в условиях всестороннего сжатия, её высокой дробности и при небольших единичных усилиях, что позволяет подвергать формоизменению малопластичные и труднодеформируемые материалы[3]. Ротационная ковка также обеспечивает получение прутка с хорошо проработанной структурой и равномерными свойствами, как по длине, так и в поперечном сечении при высоком качестве поверхности во всём диапазоне составов никелида титана. В данной технологической цепочке были применены двухбойковые ротационно-ковочные машины. Принципиальная схема ковочного узла общая для всех 4-х машин приведена ниже на рисунке 2.

Длина заготовки в зависимости от диаметра должна быть не более, указанной в таблице 1, что обусловлено размерами рабочей части камерной нагревательной печи.

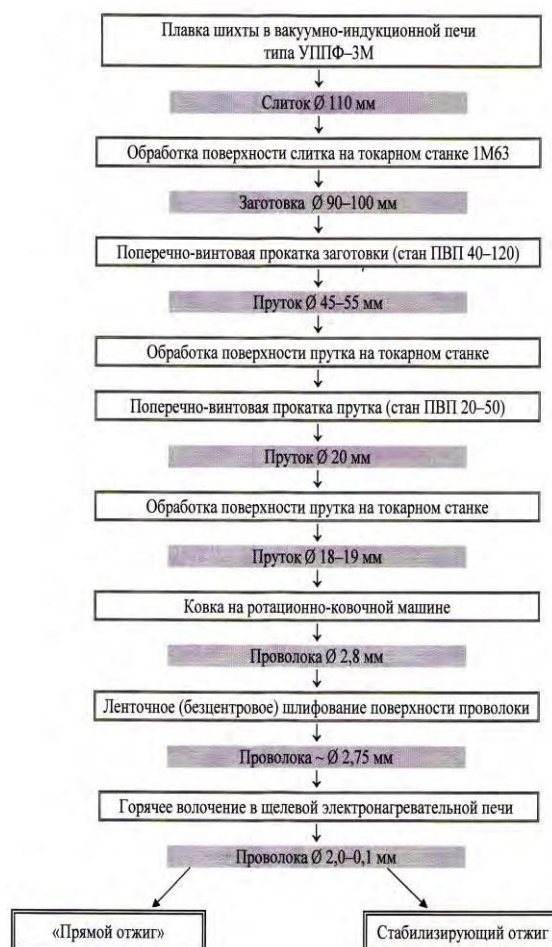


Рисунок 1 – Технологическая схема производства прутков и проволоки из сплавов никелида титана

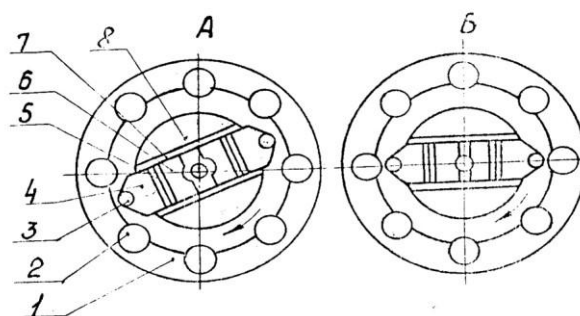


Рисунок 2 – Принципиальная схема ковочного механизма. 1 – сепаратор; 2 – ролик сепаратора; 3 – ролик ползуна; 4 – ползун; 5 – регулировочные пластины; 6 – боёк; 7 – бойковая плита; 8 – вал

Таблица 1 – Максимальные длины заготовок в зависимости от их диаметра

Диаметр заготовки, мм	Длина, мм	Диаметр заготовки, мм	Длина, мм	Диаметр заготовки, мм	Длина, мм
20	500	16	781	12	1388
19	554	15	888	11	1653
18	617	14	1020	10	2000
17	692	13	1180		

Примечание: Заготовки диаметром менее 10 мм имеют длину в зависимости от объема металла первоначальной заготовки.

Перед операцией ковки, заготовки из сплавов никелида титана подвергают нагреву в электрических печах. Режимы нагрева заготовок указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Режимы нагрева заготовок

№ п/п	Печь	Температура установки прибора электропечи, С°	Температура на поверхности металла, С°
1	Печь № 1	890±5	850-900
2	Печь № 2	890±5	850-900
3	Печь № 3	870±5	850-880
4	Печь № 4	850±5	830-860

Нагрев заготовки производится в камерной печи ПК-3.20.2/11 (Печь № 1) и трубчатых проходных печах ПТС-2000-60-1200 или ПТ9.20/11 (Печь № 2, Печь № 3, Печь № 4), разработанных по техническому заданию «Промышленный центр МАТЭК-СПФ» и предназначенных для нагрева длинномерных изделий типа прутков. Заготовки больших диаметров (20-10 мм) и малых длин должны быть прогреты на всю глубину. Для этого после контроля температуры поверхности заготовки оптическим пирометром и при условии достижения требуемого значения, делается выдержка из расчета не менее 1,5 мин. на один мм радиуса заготовки. Заготовки малых диаметров (10-1,6 мм) и большей длины успевают прогреваться в процессе перемещения в печи со скоростью подачи. Технические характеристики печей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики электрических печей

№ п/п	Наименование параметра	Номера и модели печей			
		Печь № 1 (ПК-3.20.2/11)	Печь № 2 (ПТ9.20/11)	Печь № 3 (ПТ9.20/11)	Печь № 4 (ПТ9.20/11)
1	Потребляемая мощность, кВт	25	40	40	40
2	Рабочая температура, °С	1100	1100	1100	1100
3	Размеры рабочего пространства, мм: длина	2000	2000	2000	2000
	ширина	300	Ø100	Ø100	Ø100
	высота	200			
4	Габаритные размеры, мм: длина	2450	2250	2250	2250
	ширина	740	600	600	600
	высота	1600	1200	1200	1200

Относительная степень деформация за проход составляет не более 15-20%. Между проходами осуществляется промежуточный нагрев заготовки. Существует проблема измерения температуры заготовки в ковочном узле и перед ним. В настоящее время приходится в основном ориентироваться на температуру в печи, что не всегда отражает фактические условия деформации. Для сплавов с памятью формы на основе никелида титана перепад в 30-50°С может иметь серьезное значение для формирования функциональных свойств в готовом изделии.

На больших диаметрах 20–10 мм подача заготовки осуществляется вручную (рис.3), что связано с длиной исходной заготовки. На дальнейших проходах с диаметра 10 мм используется валковая подача, что позволяет получить более прямолинейную заготовку и убрать неравномерность по длине.



Рисунок 3- Ковка прутка никелида титана диаметром 18 мм на РКМ-1

Таблица 4 – Основные технические данные РКМ-1 (B2129.01)

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Значение
1	Номинальное усилие	кН	800
2	Величина хода бойков	мм	4
3	Частота вращения шпинделя	мин ⁻¹	220
4	Количество бойков	шт.	2
5	Частота хода бойков	мин ⁻¹	1760
6	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	мм	20
7	Наименьший диаметр готового прутка	мм	7
8	Скорость подачи заготовки (регулировка бесступенчатая)	м/сек	0,1-0,14
9	Точность получаемой поковки	мм	+/- 0,2

Технологический маршрутковки прутков диаметром 20-10 мм на РКМ-1 приведён в таблице 5.

Таблица 5 – Технологический маршрутковки на РКМ-1

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Исходный диаметр, мм	Размер после операции, мм
1	Нагрев	Печь № 1	Ø 20x500	Ø 20x500
2	Ковка (размер бойков Ø19 мм)	РКМ-1	Ø 20x500	Ø 19x554
3	Нагрев	Печь № 1	Ø 19x554	Ø 19x554
4	Ковка (размер бойков Ø18 мм)	РКМ-1	Ø 19x554	Ø 18x617
5	Нагрев	Печь № 1	Ø 18x617	Ø 18x617
6	Ковка (размер бойков Ø17 мм)	РКМ-1	Ø 18x617	Ø 17x692
7	Нагрев	Печь № 1	Ø 17x692	Ø 17x692
8	Ковка (размер бойков Ø16 мм)	РКМ-1	Ø 17x692	Ø 16x781
9	Нагрев	Печь № 1	Ø 16x781	Ø 16x781
10	Ковка (размер бойков Ø15 мм)	РКМ-1	Ø 16x781	Ø 15x888
11	Нагрев	Печь №1	Ø 15x888	Ø 15x888
12	Ковка (размер бойков Ø14 мм)	РКМ-1	Ø 15x888	Ø 14x1020
13	Нагрев	Печь №1	Ø 14x1020	Ø 14x1020
14	Ковка (размер бойков Ø13 мм)	РКМ1	Ø 14x1020	Ø 13x1180
15	Нагрев	Печь №1	Ø 13x1180	Ø 13x1180
16	Ковка (размер бойков Ø12 мм)	РКМ-1	Ø 13x1180	Ø 12x1388
17	Нагрев	Печь № 1	Ø 12x1388	Ø 12x1388
18	Ковка (размер бойков Ø11 мм)	РКМ-1	Ø 12x1388	Ø 11x1653
19	Нагрев	Печь № 1	Ø 11x1653	Ø 11x1653
20	Ковка (размер бойков Ø10 мм)	РКМ-1	Ø 11x1653	Ø 10x2000

Прутки промежуточных диаметров получают ковкой на ротационно-ковочных машинах путем подбора подкладных пластин под рабочие бойки. Для получения более

точных размеров диаметра и продольной кривизны, прутки подвергают дополнительной ковке на калибровочных бойках, имеющих увеличенную длину деформирующего участка.

Продольная подача заготовки при работе на РКМ-2 осуществляется валковым механизмом, расположенным на станине ротационно-ковочной машине. Механизм подачи включается одновременно с приводом главного шпинделя. Скорость механизма подачи заготовки регулируется вариатором в диапазоне, указанном в таблице 6. Скорость зависит от диаметра заготовки и подбирается таким образом, чтобы заготовка, проходящая через проходную электропечь, имела на выходе из печи постоянную температуру по всей длине. Контроль температуры осуществляют оптическим пирометром на первой заготовке по всей ее длине на выходе из печи. Механизм подачи заготовок имеет регулируемый прижим ведомого ролика. Прижим ролика регулируется в зависимости от диаметра прокованной заготовки. Прижим должен исключать «пробуксовку» заготовки между ведущим и ведомым роликами и исключать получение отпечатков на заготовке от насечек на роликах.

Технологический маршрут ковки прутков диаметром 10-6,5 мм на РКМ-2 приведён в таблице 7.

Следует отметить, что скорость продольной подачи увеличивается с уменьшением диаметра заготовки (табл. 6, 8 и 10). Данный параметр имеет большое значение для получения качественной поверхности и режима течения металла в зоне деформации (рис. 4).

Таблица 6 – Основные технические данные РКМ-2 (B2129.02)

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Значение
1	Номинальное усилие	кН	800
2	Величина хода бойков	мм	3
3	Частота вращения шпинделя	мин ⁻¹	240
4	Количество бойков	шт.	2
5	Частота хода бойков	мин ⁻¹	1920
6	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	мм	8,5
7	Наименьший диаметр готового прутка	мм	6
8	Скорость подачи заготовки (регулировка бесступенчатая)	м/сек	0,036 - 0,048
9	Точность получаемой поковки	мм	+/- 0,2

Таблица 7 – Технологический маршрут ковки на РКМ-2

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Исходный размер, мм	Размер после операции, мм
21	Нагрев	Печь № 2	Ø 10x2000	Ø 10x2000
22	Ковка (размер бойков Ø 9мм)	РКМ-2	Ø 10x2000	Ø 9x2469
23	Нагрев	Печь № 1	Ø 9x2469	Ø 9x2469
24	Ковка (размер бойков Ø 8 мм)	РКМ-2	Ø 9x2469	Ø 8x3125
25	Нагрев	Печь №2	Ø 8x3125	Ø 8x312 1
26	Ковка (размер бойков Ø 7,2мм)	РКМ-2	Ø 8x3125	Ø 7,2x3858
27	Нагрев	Печь № 2	Ø 7,2x3858	Ø 7,2x3858
28	Ковка (размер бойков Ø6,5 мм)	РКМ-2	Ø 7,2x3858	Ø 6,5x4734

Таблица 8 – Основные технические данные РКМ-3 (B2127.01)

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Значение
1	Номинальное усилие	кН	500
2	Величина хода бойков	мм	2,5-2,0
3	Частота вращения шпинделя	мин ⁻¹	530
4	Количество бойков	шт.	2
5	Частота хода бойков	мин ⁻¹	4240

Продолжение таблицы 8

6	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	мм	7,0
7	Наименьший диаметр готового прутка	мм	3,5
8	Скорость подачи заготовки (регулировка бесступенчатая)	м/сек	0,042- 0,067
9	Точность получаемой поковки	мм	+/- 0,1

Технологический маршрутковки прутков диаметром 6,5-3,4 мм на РКМ-3 приведён в таблице 9.

Таблица 9 – Технологический маршрутковки на РКМ-3

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Исходный размер, мм	Размер после операции, мм
29	Нагрев	Печь № 3	Ø 6,5x4734	Ø 6,5x4734
30	Ковка (размер бойков Ø 5,8 мм)	РКМ-3	Ø 6,5x4734	Ø 5,8x5945
31	Нагрев	Печь № 3	Ø 5,8x5945	Ø 5,8x5945
32	Ковка (размер бойков Ø 5,2 мм)	РКМ-3	Ø 5,8x5945	Ø 5,2x7396
33	Нагрев	Печь № 3	Ø 5,2x7396	Ø 5,2x7396
34	Ковка (размер бойков Ø 4,7 мм)	РКМ-3	Ø 5,2x7396	Ø 4,7x9054
35	Нагрев	Печь № 3	Ø 4,7x9054	Ø 4,7x9054
36	Ковка (размер бойков Ø 4,25 мм)	РКМ-3	Ø 4,7x9054	Ø 4,7x11072
37	Нагрев	Печь № 3	Ø 4,25x11072	Ø 4,25x11072
38	Ковка (размер бойков Ø 3,8 мм)	РКМ-3	Ø 4,25x11072	Ø 3,8x13850
39	Нагрев	Печь № 3	Ø 3,8x13850	Ø 3,8x13850
40	Ковка (размер бойков Ø 3,4мм)	РКМ-3	Ø 3,8x13850	Ø 3,4x17301

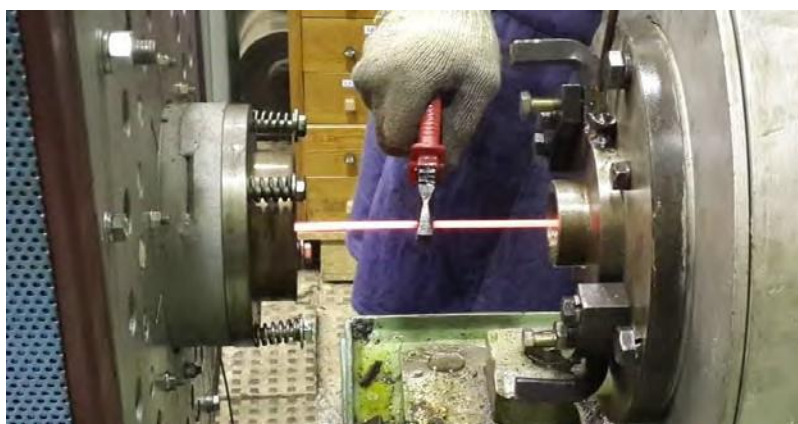


Рисунок 4 – Ковка прутка никелида титана диаметром 4,25 мм на РКМ-3

Отметим также, что в процессе дальнейшейковки на РКМ-4(В2123.01) (табл. 10) при получении прутка диаметром 3,0 мм и менее возможно применение проводной установки вместо направляющих стеллажей, или смотка-наматывающего устройства.

Таблица 10 – Основные технические данные РКМ-4 (В2123.01)

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Значение
1	Номинальное усилие	кН	200
2	Величина хода бойков	мм	1,5;1,2;1,0
3	Частота вращения шпинделя	мин ⁻¹	900
4	Количество бойков	шт.	2
5	Частота хода бойков	мин ⁻¹	7200
6	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	мм	5,0

Продолжение таблицы 10

7	Наименьший диаметр готового прутка	мм	1,68
8	Скорость подачи заготовки (регулировка бесступенчатая)	м/сек	0,051- 0,115
9	Точность получаемой поковки	мм	±0,05

Технологический маршрут ковки прутков диаметром 3,4-1,6 мм на РКМ-4 приведён в таблице 11.

Таблица 11 – Технологический маршрут ковки на РКМ-4

№ п/п	Наименование операции	Оборудование	Исходный размер, мм	Размер после операции, мм
41	Нагрев	Печь № 4	Ø 3,4x17301	Ø 3,4x17301
42	Ковка (размер бойков Ø3,0 мм)	РКМ-4	Ø 3,4x17301	Ø 3,0x22222
43	Нагрев	Печь №4	Ø 3,0x22222	Ø 3,0x22222
44	Ковка (размер бойков Ø2,7 мм)	РКМ-4	Ø 3,0x22222	Ø 2,7x27435
45	Нагрев	Печь № 4	Ø 2,7x27435	Ø 2,7x27435
46	Ковка (размер бойков Ø2,45 мм)	РКМ-4	Ø 2,7x27435	Ø 2,45x33320
47	Нагрев	Печь №4	Ø 2,45x33320	Ø 2,45x33320
48	Ковка (размер бойков Ø2,2 мм)	РКМ-4	Ø 2,45x33320	Ø 2,2x41322
49	Нагрев	Печь № 4	Ø 2,2x41322	Ø 2,2x41322
50	Ковка (размер бойков Ø2,0 мм)	РКМ-4	Ø 2,2x41322	Ø 2,0x50000
51	Нагрев	Печь № 4	Ø 2,0x50000	Ø 2,0x50000
52	Ковка (размер бойков Ø1,8 мм)	РКМ-4	Ø 2,0x50000	Ø 1,8x61728
53	Нагрев	Печь № 4	Ø 1,8x50000	Ø 1,8x61728
54	Ковка (размер бойков Ø1,6 мм)	РКМ-4	Ø 1,8x61728	Ø 1,6x78125

Проведенные исследования и накопленный производственный опыт получения полуфабрикатов с применением РКМ создали предпосылки для разработки и внедрения в их конструкцию новых технических решений, расширяющих спектр доступных технологических цепочек, для производства полуфабрикатов из никелида титана с другими функциональными свойствами. К таким решениям относятся и изменение некоторых технических данных машин (частота вращения шпинделя, механизация подачи больших диаметров заготовок, скорость продольной подачи), а также изменение геометрии рабочего инструмента. Несколько более подробно остановимся на последнем.

В рабочем инструменте – бойках, образующих рабочий канал, – выделяют несколько зон (рис. 5-7): входная распушка или заходный конус, деформирующая зона, калибровочная зона, выходная распушка (возможна), иногда переходные поверхности. Возможны и другие зоны.



Рисунок 5 – Ковочные рабочие стальные бойки диаметром 10 мм на РКМ-1



Рисунок 6 – Ковочные рабочие стальные бойки диаметром. 4,25 мм на РКМ-3



Рисунок 7 – Ковочные калибровочные стальные бойки диаметром. 7, 5 мм на РКМ-2

Геометрия бойка, материал и качество его изготовления существенно влияют, как на долговечность самого инструмента, так и на качество поверхности и свойства получаемого прутка.

Изменяя геометрию этих зон можно получить различные режимы деформации заготовки. Так, укоротив деформирующую зону можно при том же усилии, развиваемом машиной, получить большие давления при деформации. Это имеет значение для получения специальных служебных свойств материалов при теплой или даже холодной ковке. Увеличение длины зоны калибровки улучшает качество поверхности и снижает овальность сечения.

На начальном этапе производства в описанной здесь технологии применялись бойки из сталей марок – Р18, ШХ15, Х12М, 9ХС и др. Однако вскоре выяснилось, что при горячей ковке никелида титана и других сплавов на никелевой основе используемый рабочий инструмент не обладает требуемой стойкостью. Замена бойков из указанных сплавов на, пусть и более дорогие, стальные с твёрдосплавными вставками из сплавов семейства ВК8-ВК20 (рис. 8) на больших машинах (РКМ-1 и РКМ-2), а на малых машинах (РКМ-3 и РКМ-4) – на твердосплавные, полностью себя оправдала, в том числе и экономически.

К сожалению, вынуждены констатировать, что на момент написания настоящего материала в России технология изготовления такого инструмента оказалось практически утеряна, что вынуждает нас обращаться к зарубежному производителю.

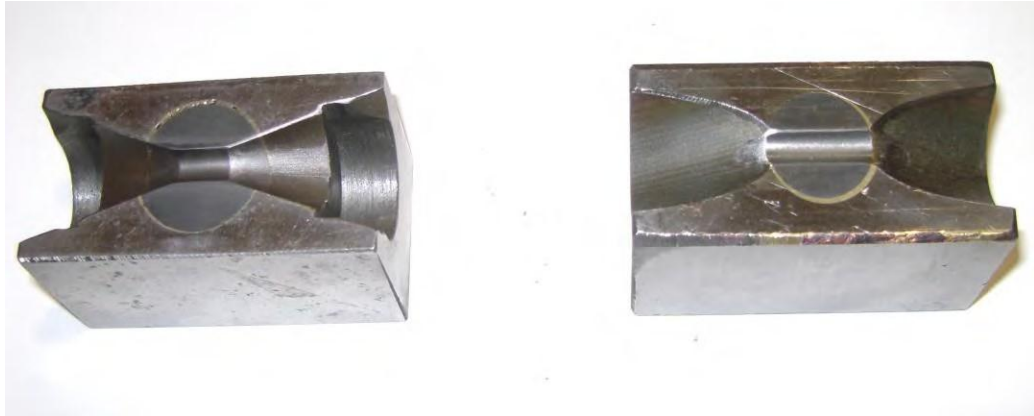


Рисунок 8 – Ковочные рабочие стальные бойки с твёрдосплавными вставками 2-х исполнений

Эти и ряд других технических решений позволяют без разработки новых машин и без замены основных деталей и узлов, существенно расширить технологические возможности и эффективность использования РКМ.

Заключение

Приведённая здесь технология позволяет в промышленных масштабах получать полуфабрикаты из сплавов с памятью формы на основе никелида титана диаметром 2-20 мм. Продукция, удовлетворяющая современным требованиям заказчиков, и в соответствии с данной технологией производится на базе действующего технологического цикла Промышленного центра МАТЭК-СПФ, с использованием процесса ротационной ковки металла.

Проведённые исследования и накопленный производственный опыт позволяют утверждать, что включение в технологический цикл комплекса ротационно-ковочных машин с проходными нагревательными электропечами обеспечивает получение полуфабрикатов из сплавов на основе никелида титана требуемого высокого качества.

Предложенная технология отличается эффективностью, гибкостью и позволяет управлять термо-деформационными параметрами процесса, а, следовательно, механическими и служебными свойствами производимых полуфабрикатов.

Список литературы:

1. Ооцука, К. Сплавы с эффектом памяти формы / К.Ооцука, К.Симидзу, Ю. Судзуки - Пер. с японск. М.: Металлургия, 1990.- 260 с.
2. Андреев В.А. Актуальные вопросы производства полуфабрикатов (прутков, проволоки) из литого никелида титана для медицины / В.А.Андреев // Актуальные вопросы имплантологии и остеосинтеза: Сб. науч. трудов. Новокузнецк–Санкт-Петербург 2001.- С.27-28.
3. Радюченко Ю.С. Ротационное обжатие / Ю.С.Радюченко Москва, 1972.- С. 5-15.
4. Способ получения прутков и способ получения проволоки из сплавов системы никель-титан с эффектом памяти формы и способ получения этих сплавов. Патент № 2162900 от 20.07.2000 / Андреев В.А. и др. Оpubл. 10.02.2001. Бюл. №4.
5. Способ получения прутков и способ получения тонкой проволоки из сплава системы никель-титан с эффектом памяти формы Патент на изобретение № 2536614 от 09.04.2013 / Андреев В.А.. Оpubл. 27.12.2014. Бюл. №36.
6. Андреев, В.А. Технологические особенности получения проволоки из сплавов TiNi с эффектом памяти формы / В.А.Андреев, М.А.Хусаинов, А.Б.Бондарев.// - Производство проката.- 2008. -№9.-С.37-42.