

Винахід стосується обробки металів тисненням, а саме способів отримання прутків з цирконієвих та титанових сплавів.

Відомий спосіб отримання прутків з цирконію та цирконієвих сплавів, який включає кування злитків в нагрітому стані, пресування прутків та наступне перекування заготовок в холодному стані на ротаційно-кувальних машинах (РКМ) з проміжними відпалами [1].

Недоліком цього способу є низька якість отримуваної поверхні прутків, невисока їх точність, а також низька продуктивність процесу.

Відомий також спосіб отримання прутків з цирконієвих та титанових сплавів, який включає багатостадійну холодну проробку на станах валкового, а потім роликового типу з проміжними відпалами, калібровку прутків волочінням, прикінцевий відпал та правлення прутків [2]. При цьому холодне прокатування здійснюють з загальною деформацією більшою за 90% для цирконієвих сплавів та 70% для титанових сплавів.

Недоліками відомого способу є низька якість, вихід придатного металу, продуктивність процесу, а також використання великої кількості високовартісного обладнання.

Задачею винаходу є розроблення способу, який забезпечує підвищення виходу придатного, якості металу, продуктивності процесу, а також зменшення кількості обладнання, необхідного для отримання прутків з цирконієвих та титанових сплавів пластичним деформуванням.

Це досягається тим, що в способі отримання прутків з цирконієвих та титанових сплавів, який включає холодне прокатування на стані валкового типу, відпал, калібрування прутків та прикінцевий відпал, новим є те, що прокатування здійснюють за один прохід з загальною деформацією понад 75% для цирконієвих сплавів та 55% для титанових сплавів, а після відпалу здійснюють холодне ротаційне кування заготовок на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині зі зменшенням разових ступенів деформування та величин подач стосовно початкової стадії кування з загальною деформацією 27-40%, при цьому калібрування прутків здійснюють під час ротаційного кування на останнім одному або двох проходах з подачами заготовки "з" бойків, витримуючи співвідношення

$$S = (0,1 - 1,3) \frac{L \cdot n}{N},$$

де S - подача заготовки;

L - ширина робочої поверхні бойка в напрямку подавання заготовки;

n - частота обертання шпинделя з бойками;

N - частота обтиснення заготовки,

а на останнім проході обтиснення здійснюють в тому ж розмірному калібрі бойків, що й на попередньому проході, налаштованому на кінцевий розмір прутка.

Задача винаходу досягається також тим, що калібрування прутків в розмірному калібрі бойків, налаштованому на кінцевий розмір прутка здійснюють після прикінцевого відпалу прутків.

Окрім того, задача винаходу досягається тим, що при калібруванні прутків до заготовки, в напрямку її повздовжньої осі, прикладають зусилля, яке забезпечує розтягуючу напругу, що становить 0,1-0,9 межі текучості оброблюваного матеріалу.

Спосіб здійснюють наступним чином.

Злиток з титанового або цирконієвого сплаву нагрівають до температури деформування та кувають вільним куванням на молотах або пресах. Під час кування відбувається деформування вилитої структури злитка, при цьому забезпечується переважно деформаційне пророблення осрової зони заготовки, внаслідок чого під час наступного нагрівання тут активно відбувається процес рекристалізації. Після кування пластичні характеристики отриманої заготовки суттєво підвищуються.

Отриману після кування заготовку відпалюють та видаляють поверхневий дефектний шар шляхом переточування заготовки на менший розмір. Потім заготовку нагрівають та здійснюють її пресування. Після пресування здійснюють холодне проковування заготовки на стані валкового типу з наступним відпалом, а після цього холодне ротаційне кування заготовок на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині. При пресуванні найбільш інтенсивно пророблюється структура металу в периферійній зоні заготовки, яка досягає середини радіуса, оскільки зсувні деформації найбільших значень досягають у цій зоні.

Послідовне поєднання процесів гарячого кування та пресування виявляють взаємопідсилюючий вплив на підвищення рівномірності проробки структури по всьому перетину і зниження нерівномірності фізико-механічних властивостей, а також на підвищення пластичних властивостей металу.

Для зменшення втрат металу, пов'язаних з інтенсивним окисленням при температурі гарячого деформування, а також для підвищення механічних властивостей та отримання дрібнозернистої структури сплаву здійснюють холодне деформування заготовок після пресування.

В пропонуваному способі холодне деформування заготовок здійснюють спочатку на стані валкового типу (ХПТ) за один прохід з загальною деформацією понад 75% для цирконієвих сплавів та 55% для титанових сплавів з наступним відпалом, а потім холодне деформування за декілька проходів на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині. Під час холодного прокатування на стані ХПТ за один прохід з високим ступенем деформування забезпечується висока продуктивність процесу та якість металу прутків.

При прокатуванні заготовок з цирконієвих сплавів зі ступенем деформування менше 75% та з титанових сплавів менше 55%, якість металу в кінцевих прутках не відповідає вимогам ГОСТів.

Завдячуючи всебічному деформуванню при наступному ротаційному куванні забезпечується більш однорідна структура та механічні властивості металу, повністю видаляються залишені при попередній обробці пори в металі. Для отримання високих механічних властивостей металу та гарантованого видалення залишених від попередньої обробки пор в металі, а також забезпечення високої продуктивності процесу, ротаційне кування здійснюють з загальною деформацією не менше 27-40%. В разі, коли загальна деформація при ротаційному куванні буде меншою за 27% в готових прутках можуть лишитись пори, а при загальній деформації більшій за 40% - знижується продуктивність процесу.

Ступінь деформації розраховують за формулою:

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%$$

де F_0 , F_1 - площа перерізу заготовки до та після деформації, відповідно.

Окрім того, деформування на ротаційно-кувальній машині забезпечує інтенсивну деформаційну проробку металу в поверхневій зоні та сприяє, при наступній термообробці, протіканню динамічної рекристалізації в цій зоні з формуванням дрібнозернистої структури.

Послідовне поєднання процесів холодного прокатування за один прохід на стані валкового типу та чотирибічного радіального кування зі ступенем деформування не менше 27% здійснює взаємопідсилюючий вплив на заварення внутрішніх пор в заготовці та покращення фізико-механічних властивостей металу.

Ротаційне кування прутків виконують зі зменшенням разових ступенів деформування та величин подач відносно початкової стадії кування, але з таким розрахунком, щоб не втрапити в критичний ступінь деформації для оброблюваного сплаву.

Зменшення разових ступенів деформацій та величин подач дозволяє суттєво покращити якість поверхні прутків, отримати в перерізі геометрично правильне коло ще на основній стадії ротаційного кування.

Прикінцеву механічну обробку прутків (калібрування) здійснюють також ротаційним куванням на останніх одному або двох проходах з подаванням заготовки "з" бойків [3] витримуючи при цьому співвідношення

$$S = (0,1 - 1,3) \frac{L \cdot n}{N}$$

де S - подача заготовки;

L - ширина робочої поверхні бойка в напрямку осі подавання заготовки;

n - частота обертання шпинделя з бойками;

N - частота обтиснень заготовки.

В пропонованому в заявці інтервалі подач кожна ділянка поверхні заготовки багаторазово обтискується бойками на протязі одного проходу.

$$S < 0,1 \frac{L \cdot n}{N}$$

При $S < 0,1 \frac{L \cdot n}{N}$ суттєво збільшуються витрати часу на калібрування, що є недоцільним, оскільки зменшується продуктивність процесу.

$$S > 1,3 \frac{L \cdot n}{N}$$

При $S > 1,3 \frac{L \cdot n}{N}$ не завжди досягаються потрібна точність та якість поверхні прутків.

Виконання калібруючих обтиснень в тому ж розмірному калібрі бойків, що й на попередньому проході, налаштованому на кінцевий розмір прутка, дозволяє загладити всі нерівності на його поверхні та тим самим суттєво покращити якість поверхні прутка.

Під час калібрування заготовка на останніх одному або двох проходах подається "з" бойків, тобто витягується з осередку деформування. При витягненні здійснюється виправлення заготовки, видаляється повздовжня кривизна заготовки.

Для більш ефективного правлення до заготовки, в напрямку її повздовжньої осі прикладають зусилля, що забезпечує розтягуючу напругу, яка становить 0,1-0,9 межі текучості оброблюваного матеріалу.

При прикладенні зусилля в напрямку повздовжньої осі заготовки, що створює розтягуючу напругу меншу за 0,1 межі текучості оброблюваного матеріалу не завжди досягається висока якість прутків після правлення.

При прикладенні зусилля в напрямку повздовжньої осі заготовки, що створює розтягуючу напругу більшу за 0,9 межі текучості оброблюваного матеріалу, можливі локальні стоншення перерізу заготовки та її розриви.

Для отримання гарантованої якості по кривині прутків калібрування їх в розмірному калібрі бойків, налаштованому на кінцевий розмір прутка, здійснюють після прикінцевого відпалу прутків. В цьому випадку позбавляються від можливих викривлень прутка під час термообробки.

Оскільки після гарячого кування та пресування здійснюють прокатування з деформацією понад 75% для цирконієвих сплавів та 55% для титанових сплавів, що збільшує частину холодного деформування заготовки на протязі всього процесу виготовлення прутків, втрати металу за рахунок окислення при високих температурах також зменшуються, що підвищує вихід придатного металу.

Приклад 1.

Злиток діаметром 450мм з цирконієвого сплаву Э110 нагріли до температури 750°C та прокували на молоті з м.п.ч. 3т на заготовку перерізом 120мм. Отриману заготовку відпалили при температурі 600°C та обточили на діаметр 110мм. Обточену заготовку нагріли до температури 750°C та пропресували на заготовку діаметром 25мм. Після цього виконали холодне прокатування заготовки діаметром 25мм на стані валкового типу (ХПТ) за один

прохід до отримання прутків діаметром 11,5мм ($\varepsilon_n = 84\%$). Після відпалу прутків здійснювали їх холодне ротаційне кування на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині до діаметра 9,5мм.

Загальний ступінь деформації при ротаційному куванні склав:

$$\varepsilon = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} \cdot 100\% = \frac{11,5^2 - 9,5^2}{11,5^2} \cdot 100 = 31,75\%$$

Кування здійснювали за чотири прохода зі зменшенням ступеню деформування та величини подачі на кожному наступному проході відносно попереднього. На першому проході прокували з діаметру 11,5 на діаметр 10,6мм ($\varepsilon^1 = 15\%$, $S_1 = 14$ мм), на другому проході - з діаметру 10,6мм на діаметр 10,0мм ($\varepsilon^2 = 11\%$, $S_2 = 12,25$ мм), на третьому проході - з діаметру 10,0мм на діаметр 9,5мм ($\varepsilon^3 = 9,75\%$, $S_3 = 10,5$ мм), на четвертому проході - з діаметру 9,5мм на діаметр 9,5мм ($\varepsilon^4 = 0$, $S_4 = 3,5$ мм). Третій та четвертий проходи були калібрувальними, а тому

подачі на цих проходах призначали розрахованими за формулами:

$$S_3 = 0,6 \frac{L \cdot n}{N} = 0,6 \frac{70 \cdot 500}{2000} = 10,5 \text{ мм}$$

$$S_4 = 0,2 \frac{L \cdot n}{N} = 0,2 \frac{70 \cdot 500}{2000} = 3,5 \text{ мм}$$

На третім та четвертій проходах (калібрувальних) подавання заготовки здійснювали "з" бойків, при цьому на останнім (четвертій) проході обтиснення здійснювали в тім же розмірнім калібрі, що й на попередньому проході, налаштованому на кінцевий розмір прутка (діаметр 9,5мм). Після калібрування прутки відпалювали при температурі 600°C.

Для порівняння прутки діаметром 9,5мм з цирконієвого сплаву Э110 отримували за відомою технологією. Базовим визнано спосіб, що включає:

- кування нагрітого злитку діаметром 450мм на заготовку діаметром 120мм, відпал та обточування її на діаметр 110мм;
- пресування гарячої заготовки діаметром 110мм на заготовку діаметром 25мм;
- багатопрхідне холодне прокатування на стані валкового типу (ХПТ) на заготовку діаметром 11,5мм з наступним відпалом прутків;
- холодне прокатування на стані роликового типу (ХПТР) на заготовку діаметром 10,0мм та відпал прутків;
- калібрування прутків методом волочіння за декілька проходів на діаметр 9,5мм зі спеціальним покриттям прутків та використанням мастила, наприклад на основі графіту;
- відпал та правлення прутків.

Приклад 2.

Злиток діаметром 450мм з цирконієвого сплаву Э110 кували на молоті з м.п.ч. 3т, потім отриману заготовку пресували, прокатували на стані ХПТ та кували на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині, як і в прикладі 1. Однак, цей спосіб відрізнявся тим, що після третього проходу при ротаційному куванні, прутки діаметром 9,5мм прикінцево відпалювали при температурі 600°C, а потім вже на четвертому проході їх калібрували в розмірному калібрі бойків, налаштованому на кінцевий розмір прутка - діаметром 9,5мм.

Приклад 3.

Злиток діаметром 450мм з цирконієвого сплаву Э110 кували на молотах з м.п.ч. 3т, а потім отриману заготовку пресували, прокатували на стані ХПТ та кували на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині так же, як і в прикладах 1,2. Але в цьому випадку при калібруванні прутків до заготовки, в напрямку її поздовжньої осі прикладали зусилля, яке забезпечувало розтягуючу напругу, що становить 0,5 від межі текучості оброблюваного матеріалу. Кривина по довжині прутків практично була відсутня.

Приклад 4.

Злиток діаметром 450мм з титанового сплаву ВТ-6 спочатку кували на молоті з м.п.ч. 3т на поковку діаметром 120мм, потім її відпалили та проточили на діаметр 110мм. Проточену заготовку нагріли та пропресували на діаметр 25мм. Потім виконали холодне прокатування заготовки на стані валкового типу за один прохід до прутків діаметром 15,8мм ($\epsilon = 60\%$). Після відпалу здійснили холодне ротаційне кування прутків на чотирибойковій ротаційно-кувальній машині з загальним ступенем деформації $\epsilon = 35\%$ за чотири проходи до отримання прутка діаметром 12,7мм. Третій та четвертий проходи були калібруючими. На цих проходах подавання заготовок виконували "з" бойків, при цьому до заготовки, в напрямку її поздовжньої осі прикладали напругу, забезпечуючи розтягуючі напруження, що складало 0,6 межі текучості оброблюваного матеріалу. Кривина вздовж прутків практично була відсутня. В табл.1, 2 наведені технологічні параметри та результати випробувань при виробництві прутків з цирконієвого сплаву Э110 (табл.1) та титанового сплаву ВТ-6 (табл.2) за пропонуванням та відомим (за прототипом) способами.

З аналізу даних, наведених в табл.1, 2 випливає, що в прутках, отриманих пропонуванням способом, відсутні пори, на відміну від способу-прототипу. Окрім того, пропонуванням спосіб забезпечує підвищення виходу придатного на 5,5-9,0% та продуктивності процесу в 1,12-1,45 рази при виготовленні прутків з цирконієвих сплавів, а також підвищення виходу придатного на 5,1-6,9% та продуктивності процесу в 1,15-1,50 рази при виготовленні прутків з титанових сплавів в порівнянні зі способом-прототипом.

Таблиця 1

№ досліджу	Технологічні параметри				Результати випробувань		Примітки
	Ступінь деформації при прокатуванні $\epsilon_n, \%$	Загальний ступінь деформації на РКМ $\epsilon_k, \%$	Відношення $S / \frac{L \cdot n}{N}$, один.	Відношення σ^* / σ_T , один.	Вихід придатного металу, %	Відносна продуктивність процесу, один.	
1.	70	27	0,7	0,05	-	1,27	Якість металу не відповідає вимогам ГОСТу
2.	84	28	0,7	0,05	-	1,23	
3.	84	20	0,7	0,05	-	1,23	Наявність пор в кінцевому

							прутку
4.	84	27	0,7	0,05	81	1,26	
5.	84	32	0,7	0,05	82,5	1,27	Необхідність додаткового правлення прутка
6.	84	32	0,05	0,05	80,5	0,95	
7.	84	32	0,1	0,05	82,0	1,12	
8.	84	32	1,3	0,05	80,8	1,45	
9.	84	32	1,5	0,05	81,7	1,6	Низька якість поверхні (риски, сліди бойків)
10.	84	32	0,7	0,1	83,1	1,25	
11.	84	32	0,7	0,5	84	1,25	
12.	84	32	0,7	0,9	82,7	1,25	
13.	84	32	0,7	1,0	-		Розрив прутка, брак
14. (прототип)	97			0,05	75	1,0**	
15. (прототип)	97			0,05	74,7	1,0	Наявність пор в кінцевому прутку

* розтягуючі напруження в матеріалі заготовки при її витягненні "з" бойків;

**продуктивність при виготовленні прутків відомим способом (за прототипом), умовно прийнята за 1,0.

Таблиця 2

№ досліджу	Технологічні параметри				Результати випробувань		Примітки
	Ступінь деформації при прокатуванні $\epsilon_n, \%$	Загальний ступінь деформації на РКМ $\epsilon_k, \%$	Відношення $\frac{L \cdot n}{N}$, один.	Відношення σ^* / σ_T , один.	Вихід придатного металу. %	Відносна продуктивність процесу, один.	
1.	50	27	0,7	0,05		1,25	Якість металу не відповідає вимогам ГОСТу
2.	61	28	0,7	0,05	-	1,19	
3.	61	19	0,7	0,05	-	1,19	Наявність пор в кінцевому прутку
4.	61	27	0,7	0,05	83,0	1,23	
5.	61	33	0,7	0,05	84,1	1,22	Необхідність додаткового правлення прутка
6.	61	35	0,06	0,05	82,2	0,97	
7.	61	35	0,1	0,05	83,8	1,15	
8.	61	35	1,3	0,05	83,3	1,50	
9.	61	35	1,5	0,05	83,9	1,58	Низька якість поверхні(риски, сліди бойків)
10.	61	35	0,7	0,1	84,0	1,27	
11.	61	35	0,7	0,5	84,5	1,28	
12.	61	35	0,7	0,9	83,1	1,28	
13.	61	35	0,7	1,0	-	-	Розрив прутка, брак
14. (прототип)	75	-	-	0,05	77,1	1,0***	
15. (прототип)	75			0,05	76,9	1,0	Наявність пор в кінцевому прутку

* розтягуючі напруження в матеріалі заготовки при її витягненні "з" бойків;

**продуктивність при виготовленні прутків відомим способом (по прототипу), умовно прийнято за 1,0.

Здійснення пропонованого способу потребує менше обладнання, ніж виготовлення прутків відомим способом.

Все це забезпечує більш високу економічну ефективність процесу з використанням пропонованого способу.
Джерела інформації:

1. Тугоплавкие материалы в машиностроении. Справочник. Колл. авторов. Под ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д-ра техн. наук А.Т. Туманова и д-ра техн. наук К.И. Портного. М., изд-во «Машиностроение», С.246-248, 1967.
2. Заявка на патент Російської Федерації №97116062/02, В21В3/00, С22F1/18, 24.09.97.
3. Ковка на радиально-обжимных машинах /В.А. Тюрин, В.А. Лазоркин, И.А. Поспелов и др.; Под общ. ред. В.А. Тюрина. - М.: Машиностроение, 1990, С.86-100.