

УДК 621.438

С. К. Колтун

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЗАГОТОВОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ПЕРИОДИЧЕСКИМ ПРОКАТОМ

В работе определены макро- и микроструктура, механические свойства и химический состав заготовок, полученных периодическим прокатом, и проведено их сравнение с групповой заготовкой.

Ключевые слова: рабочая лопатка, титановый сплав, периодический прокат, групповая заготовка, качество, производительность, технологическая наследственность.

Постановка проблемы и ее связь с практическими задачами

В ОАО «Мотор Сич» изготовление рабочих лопаток компрессора производится методом точной штамповки с последующим холодным вальцеванием без окончательной размерной механической обработки. Профиль пера формируется пластической деформацией металла – сначала горячей (периодический прокат и точная штамповка), а затем – холодной (вальцевание пера в несколько переходов) [1].

Сущность периодического проката заготовок лопаток состоит в том, что прутки определенного диаметра и длины нагревают в печи до необходимой температуры и подают в проводку ковочных валков стана. Ковочные валки на рабочей поверхности имеют профильный ручей, который при прокатке заготовки образует необходимую на ней геометрию. За один оборот валков профилируется 45 и более заготовок, связанных перемычкой (рис. 1) [1].

Основное назначение периодического проката – выполнить набор материала в зоне хвостовика лопатки за счет утонения исходной заготовки в зоне профильной части лопатки. Периодическую прокатку заготовок лопаток из титановых и нержавеющей сталей выполняют на специальном прокатном стане (рис. 2).

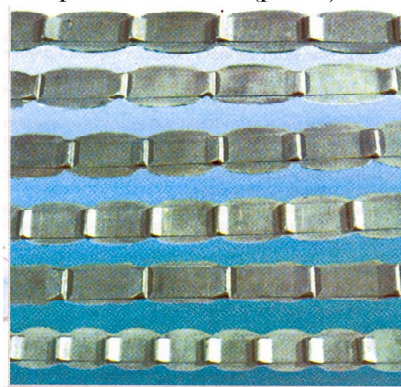


Рис. 1. Полосы периодического проката заготовок рабочих лопаток компрессора под точную штамповку

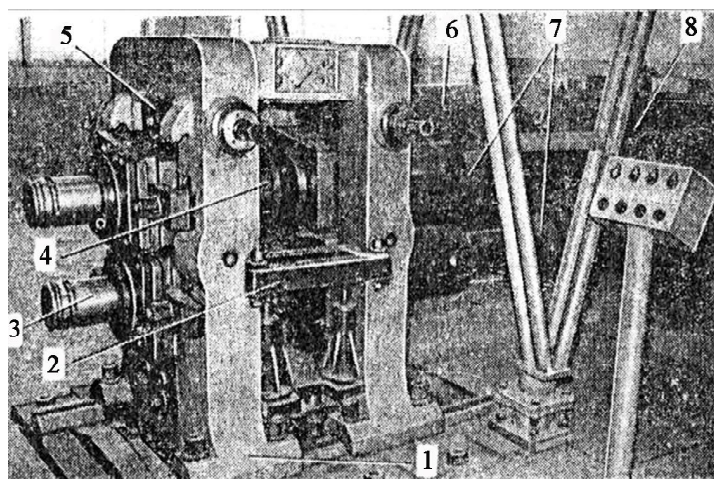


Рис. 2. Стан для продольной периодической прокатки заготовок лопаток:

1 – рабочая клетка; 2 – передний стол; 3 – вал; 4 – сборный валок; 5 – клин; 6 – электродвигатель; 7 – верхний и нижний шпиндели; 8 – редуктор с шестеренной клетью

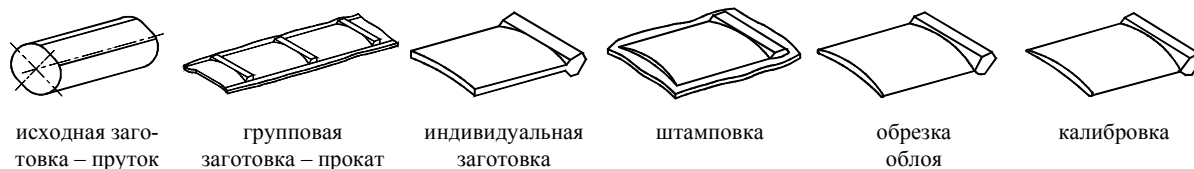


Рис. 3. Последовательность технологических переходов получения заготовок лопаток с применением периодического проката

Последовательность технологических переходов (рис. 3) с применением периодического проката следующая [1]:

- исходная заготовка;
- периодический прокат;
- вырубка индивидуальной заготовки;
- штамповка;
- обесечка облоя;
- калибровка.

Однако в научно-технической литературе нет публикаций по влиянию технологической наследственности периодического проката заготовок рабочих лопаток компрессора из титанового сплава на их качество.

Цель работы – определить параметры качества заготовок рабочих лопаток компрессора, полученных периодическим прокатом.

Содержание и результаты исследования

Периодическая прокатка заготовок под точную штамповку лопаток производилась по следующей технологии.

На исходную круглую заготовку наносилась смазка для сталей – стеклоэмалевая, для титанового сплава – порошок нитрида бора. Нагретые прутки прокатывались на полосу за один проход. Толщина получаемой полосы меньше высоты хвостовой части заготовки под штамповку, а ширина полосы меньше ширины хвостовика на 1...2 мм или равна ей. Нагрев заготовок под прокатку производился в электропечах до температуры 1080...1160 °С для сталей и до 900...930 °С для титанового сплава ВТ8. Нагретые плоские полосы прокатывались в калибровочных валках в периодическую полосу заготовок лопаток.

Полное усилие металла на валки при прокатке стальных лопаток составляло 60-75Тс, а при прокатке лопаток из титанового сплава ВТ8 ~ 50 Тс. Максимальное относительное обжатие по перу заготовки составляло 80...90 % для сталей и 50...60 % – для титанового сплава, а вытяжка соответственно – 2,5...3,0 и 2,3...2,6.

Проводились сравнительные металлографические исследования заготовок лопаток компрессора из титанового сплава ВТ8.

Макроанализ заготовок производился на макротомплетах, изготовленных в продольном направлении, по всей длине заготовки под лопатку.

Дополнительно на заготовке периодического проката изготовлен макротомплет в поперечном сечении.

Макроструктура на заготовке периодического проката в зоне пера – тонкая, без проявления макрозерна; в зоне хвостовика – рекристаллизована с величиной зерна, соответствующей баллу 1 единой 10-бальной шкалы АМТУ518-68.

В периферийной части заготовок имеется тонкая темная полоса по периметру профиля пера, которая является следствием усиленной деформации в подповерхностной зоне пера.

Макроструктура групповой заготовки рекристаллизована в хвостовике и пере. Величина зерна соответствует баллу 2.

Микроструктура заготовки периодического проката состоит из смеси $\alpha + \beta$ фаз несколько вытянутой формы, но более измельченной, чем на катанных прутках в исходном состоянии (рис. 4, а).

Микроструктура групповой заготовки состоит из смеси $\alpha + \beta$ фаз равноосной формы (рис. 4, б).

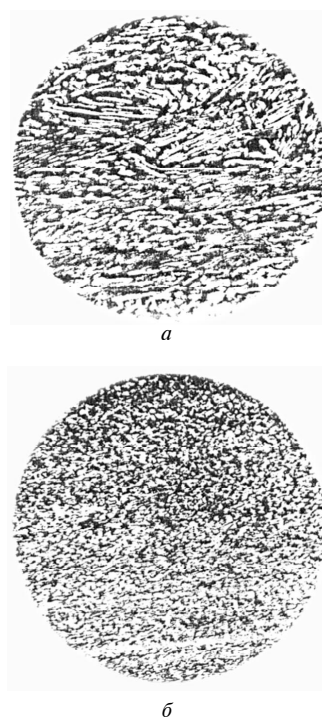


Рис. 4. Микроструктура материала заготовки: а – периодического проката; б – групповой заготовки

Зоны усиленной деформации на обеих заготовках отличаются большей степенью измельчения структуры по сравнению со структурой остального сечения пера.

Измерение микротвердости на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н показали, что в подповерхностных слоях металла заготовки периодического проката наблюдаются повышенные значения на 1700 МПа по сравнению с сердцевиной.

Микротвердость подповерхностного слоя на глубине 20...25 мкм составляет 4879 МПа, а в сердцевине – 3170 МПа, что свидетельствует о наличии газонасыщенного слоя, образовавшегося в процессе нагрева под технологическую операцию периодической прокатки профиля.

Аналогичное повышение микротвердости наблюдается и на групповой заготовке.

Значения механических свойств определялись на образцах, вырезанных из хвостовика и пера полосы периодического проката, а также из хвостовика и пера групповой заготовки (табл. 1).

Значения механических свойств для каждой из заготовок находятся на достаточно высоком уровне.

Механические свойства на образцах, вырезанных из хвостовика периодической полосы, имеют более высокие значения предела прочности и соответственно более низкие значения попереч-

ного сужения по сравнению с образцами из групповой заготовки.

Аналогичная разница наблюдается на обеих заготовках между значениями механических свойств образцов, вырезанных из хвостовика пера.

Разброс значений на обеих заготовках следует отнести за счет того, что испытания проводились на нестандартных образцах различной формы на промежуточной технологической операции без стабилизирующей термической обработки, проведение которой, согласно технологии, предусмотрено после всех операций горячего деформирования.

Химический состав заготовок групповой и периодического проката представлен в табл. 2.

Таким образом, из полученных результатов сравнительных исследований следует, что качество заготовок для рабочих лопаток компрессора из титанового сплава ВТ8, изготовленных методом периодического проката, по состоянию макро, микроструктуры и механических свойств практически аналогично групповым заготовкам.

Внедрение в производство продольной периодической прокатки заготовок рабочих лопаток компрессора под точную штамповку и вальцевание позволило улучшить качество лопаток, увеличить производительность в 34 раза, уменьшить расход материала на 20...50 % (рис. 5).

Таблица 1 – Механические свойства материала заготовок лопаток из титанового сплава ВТ8

Характеристика образцов	Предел прочности, МПа	Удлинение, %	Поперечное сужение, %	Твердость НВ 5/750, диаметр отпечатка, мм
Образцы из хвостовика полосы периодического проката	1130,0	12,0	46,2	1,70
	1111,0	13,0	51,7	1,72
	1130,0	13,3	51,3	1,67
	1115,0	16,6	55,4	1,70
	1108,0	17,0	51,3	1,68
	1114,0	13,3	51,9	1,71
Образцы из пера полосы периодического проката (плоские)	1220,0	2,5	–	–
	1178,0	8,5	–	–
	1186,0	7,0	–	–
	1186,0	7,0	–	–
Образцы из хвостовика групповой заготовки	1057,0	14,0	56,8	1,65
	1051,0	13,2	56,4	1,65
	1051,0	13,2	58,3	1,65
	1042,0	14,0	59,3	1,65
Образцы из пера групповой заготовки (плоские)	1242,0	6,0	–	–
	1213,0	6,0	–	–
	1290,0	4,8	–	–
	1242,0	4,8	–	–

Таблица 2 – Химический состав заготовок из титанового сплава ВТ8

Характеристика заготовки	Содержание элементов, %			
	Алюминий	Молибден	Цирконий	Титан
Групповые заготовки	6,17	3,55	0,36	Остальное
Периодический прокат	6,0	3,80	0,28	Остальное
АМТУ 388-68 на сплав ВТ8	6,0...7,3	2,8...3,8	–	–



Рис. 5. Заготовки лопаток, изготавливаемые точной штамповкой из периодического проката

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Установлено, что получение заготовок рабочих лопаток компрессора из титанового сплава BT8 периодической прокаткой по состоянию макро-, микроструктуры и механических свойств практически аналогично групповым заготовкам.

2. Внедрение в производство периодической прокатки заготовок рабочих лопаток компрессора под точную штамповку и вальцевание улучшает качество лопаток, увеличивает производительность и уменьшает расход материала.

3. Следует продолжить исследования, направленные на повышение качества изготовления лопаток и уменьшение расхода материалов.

Перечень ссылок

1. Технология производства авиационных двигателей/ [В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. Ф. Мозговой, Е. Я. Корневский] : – Запорожье : Изд. комплекс ОАО «Мотор Сич», 2000. – 945 с.
2. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть I / [В. А. Богуслаев, Ф. М. Муравченко, П. Д. Жеманюк и др.] – Запорожье : Изд. комплекс ОАО «Мотор Сич», 2003. – 396 с.

Поступила в редакцию 22.11.2010

Колтун С.К. Технологічна спадковість при отриманні заготовок робочих лопаток компресора періодичним прокатом

В роботі визначено макро- і мікроструктуру, механічні властивості та хімічний склад заготовок, які отримано періодичним прокатом, та проведено їх порівняння з групувою заготовкою.

Ключові слова: робоча лопатка, титановий сплав, періодичний прокат, групува заготовка, якість, продуктивність, технологічна спадковість.

Koltun S. Technological heredity when producing compressor rotor blades by die-rolling

The present paper determines macro and micro structures, mechanical properties and chemical composition of the blanks produced by die-rolling and they are compared with the batch blank.

Key words: rotor blade, titanium alloy, die-rolled metal, batch blank, quality, efficiency, technological heredity.