

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
КОЛЬЦЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Костышев В.А., Шитарев И.Л.

В современных конструкциях авиационных двигателей одними из многочисленных деталей являются кольца, объем которых составляет около 15 % веса двигателя. Кольцевые детали выполняют весьма важную роль в работе двигателя. Достаточно отметить, что при разрушении промежуточного кольца дисков компрессора необходима поломка двигателя с опасными последствиями для самолета. Кольца работают в условиях высоких нагрузок от центробежных, осевых сил и сил термического расширения, возникающих при работе собственно кольца, так и от воздействия сопрягаемых с ним деталей, а также претерпевают определенные физико-химические изменения, приводящие иногда к потере их работоспособности.

Специфика конструирования авиадвигателей, требования их эксплуатационной надежности, технологичности и экономичности предъявляют, как указано в работах Н.Д.Кузнецова, М.А.Елизаветина, Б.И.Костецкого, К.Н.Михайлова и др., к металлургическим процессам и, в частности, процессам обработки металлов давлением особые требования по эффективности и качеству [1..4].

Разнообразие геометрических форм профилей, их габаритных размеров, требований к их качеству, позволяют использовать в современном двигателестроительном производстве множество технологических схем изготовления кольцевых профилей, которые по своему назначению применяются только для изготовления статорных колец, или только для роторных колец, или для тех и других одновременно.

Все известные технологические схемы производства кольцевых заготовок кольцевых двигателей можно подразделить на две основные группы: получение кольцевых заготовок из листа и раскаткой из кованой заготовки. Кроме того, в данной главе приведены перспективные методы получения раскатных колец из полых литых и катанных заготовок

Наиболее часто встречаются технологические схемы получения колец формовкой из листа и раскаткой из цельной заготовки (рис. 1...4) [5...7].

Для изготовления колец статора широко применяется технологическая схема получения колец формовкой из листовой заготовки методами осадки, отбортовки, ротационного раската и др. (см. рис. 1). По разработке и совершенствованию этой схемы большие работы выполнили К.Н.Боголюбенский, В.Ф.Баркая, Ю.Н.Алексеев, В.И.Ершов, М.П.Найденев, Т.В.Проскуряков, М.П.Назарцев и др.[8...17]. Значительные достижения в этой области имеют НИАТ, ВИС, моторостроительные предприятия городов Самары, Казани, Уфы.

Наряду с определенной универсальностью получения профиля кольца как по оборудованию, так и по технологии обработки, данная схема обладает некоторыми недостатками. Это выражается в пониженной их экономичности и недостаточно высоком качестве готовой продукции. Так коэффициент выхода годного часто не превышает 0,2. Отходы, в основном складываются из потерь при раскате и механической обработке. Необходимо отметить наличие значительной трудоемкости из-за весьма длинной технологической цепочки, а также и за счет использования малопродуктивных механической и слесарной обработок.

Шов в сварных кольцах по своей структуре всегда имеет резкое отличие от основного материала. Поэтому механические



Рис. 1. Технологическая схема получения колец формовкой из листовой заготовки

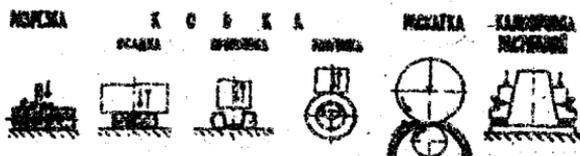


Рис. 2. Технологическая схема получения колец раскаткой из кованой заготовки

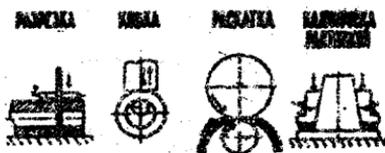


Рис. 3. Технологическая схема получения колец раскаткой из литой заготовки

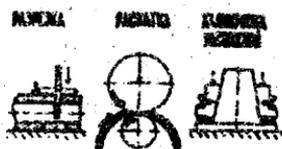


Рис. 4. Технологическая схема получения колец раскаткой из грубой заготовки

свойства в месте сварного шва ниже, чем в основной части кольца. Так, выносливость снижается на 40..50%. Это объясняется тем, что процесс сварки является металлургическим процессом, геометрическая зона сварки представляет из себя расплавленную жидкую массу, процесс кристаллизации в этом месте происходит заново. Если это жаропрочные сплавы, то наряду с пористостью образуется неравномерность фазового состава и значительное количество первичных карбидов, ослабляющих границы зерен и повышающих хрупкость. Кроме того, зона шва объединяется легирующими элементами.

При формоизменении металла колец в местах перехода деформированной зоны в недеформированную неизбежно имеют место критические деформации и, как следствие, после высокотемпературной обработки образуется крупное зерно.

При давящих операциях с многократным локальным разогревом до температуры горячей деформации и малой величиной дробной деформации в кольцах из титановых сплавов образуется грубая неоднородная структура, значительный альфированный слой.

Из рассмотренной технологической схемы производства профильных сварных колец видно, что наряду с пониженной ее экономичностью, кольца, полученные по этой схеме, не обеспечивают высоких требований эксплуатационной надежности и не могут быть использованы в наиболее ответственных элементах двигателя роторных кольцах ГТД.

Технологическая схема получения колец, где основным формообразующим процессом является раскатка, по своему назначению более универсальна. Она используется для изготовления как роторных, так и статорных колец. Большие достижения в совершенствовании данной схемы имеют как отечественные организации ВИАС,

ВИАМ, НИИД, СНТК им. Н.Д.Кузнецова, а также зарубежные фирмы Wagner, Banning, Wymen-Gordon, Snekma, Grotnes и др. Значительные работы в этом направлении выполнили П.И.Полухин, А.И.Целиков, Л.П.Котельников, Т.Т.Шалимов, В.Н.Выдрин, В.Н.Зиновьев, В.Hawkyard, W.Johnson, H.S.Marczinski, S.T. Winship и др. [4, 18...58]

В настоящее время применяется схема изготовления бесшовных кольцевых профилей раскаткой из ковanej заготовки (см. рис. 2). Технологическая цепочка по данной схеме значительно короче предыдущей. Трудоемкость же ниже в 8...10 раз. Здесь технологические отходы складываются из потерь при металлургическом переделе прутков - раскатное кольцо и при механической обработке. Однако несмотря на значительные меньшие потери при переделе прутков - раскатное кольцо, коэффициент выхода годного при этом не превышает 0,1...0,2. Это объясняется несовершенством имеющейся технологии раскатки, отсутствием процесса получения тонкостенных бесшовных профильных колец. Кроме этого наблюдается значительная структурная неоднородность, что снижает эксплуатационную надежность деталей ГТД. Так, при использовании известной технологии раскатки колец методом выдавливания, наблюдается существенная структурная неоднородность, что приводит к большой неравномерности механических свойств, при этом выносливость, по сравнению с однородным мелкозернистым металлом, снижается на 20...30% [59]. В перспективе, при условии решения задач по получению тонкостенных фланцевых профилей, коэффициент выхода годного может быть увеличен до 0,35 и более.

Помимо отмеченного традиционного метода, направлением совершенствования схемы изготовления кольцевых цельнолитых профилей авиационных двигателей может являться освоение процесса раскатки полых литых заготовок, полученных методом вытравки из расплава. Материал при этом может быть использован весьма полно. Отходы могут иметь место только при резке труб на мерные заготовки и механической обработке. Коэффициент выхода годного, при условии решения задачи получения тонкостенных

профильных колец может достигнуть уровня 0,5 и выше. Значительно сокращается длительность кузнечных операций, а значит, и объем ручного труда.

Большая совместная работа по исследованию процесса получения полых слитков из жаропрочных сплавов и освоению процесса профильной раскатки колец из них проведена в ВИАМ, СНТК им. Н.Д.Кузнецова авторами С.А.Моисеевым, В.А.Калицким, А.И.Мурзовым и др. [34...37,56].

Но широкое внедрение этой схемы задерживается ввиду наличия трудностей в освоении значительного количества типоразмеров исходных заготовок для раскатки профилей авиационных двигателей, существенными потерями металла и большой трудоемкостью при обточке полых слитков.

Следующей перспективной технологической схемой производства бесшовных кольцевых профилей авиационных двигателей является производство колец раскаткой из трубной катушечной заготовки. Коэффициент выхода годного при этом может быть доведен до 0,5 и выше. Величина ручного труда, как и в предыдущем случае, незначительна. Работы в этом направлении отсутствуют.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что процесс раскатки бесшовных колец является более рациональным, по сравнению с процессом производства сварных колец. Но для повышения экономичности и эксплуатационной надежности кольцевых деталей ГТД необходимо разработать процесс получения тонкостенных бесшовных фланцевых кольцевых профилей с однородной структурой и высокими уровнями механических свойств.

Для успешного решения этой задачи необходимо в первую очередь рассмотреть процесс формирования профильных раскатных колец с вычленившем механизмом процесса раскатки и последующим определением основных технологических параметров процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н.Д. Обеспечение надежности двигателей для гражданской авиации. - В кн.: Основные вопросы теории и практики надежности. М.: Советское радио, 1975, с. 27-42.
2. Елизаветин М.А., Сателъ Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. М.: Машиностроение, 1969. 400с.
3. Надежность и долговечность машин/Б.И.Костецкой и др. - Киев: Техника, 1975. 406с.
4. Михайлов К.Н., Сиротинский М.С. Основные задачи науки и промышленности в развитии процессов раскатики. - Научно-технический бюллетень ВИЛС.: Технология легких сплавов, 1973, №11; с. 9-10.
5. Пуппе И., Штаубер Г. Справочник по металлургии.: Прокатное дело. Киев.: Государственное научно-техническое издательство Украины, 1934, т. 1. 402 с.
6. Изготовление сварных кольцевых заготовок из листовых материалов/В.Л.Арутюнов и др. - М.: НИИТ, 1980. 160с.
7. Тришевский И.С. Гнутые профили проката. М.: Металлургия, 1980. 352 с.
8. Алексеев Ю.Н. Исследование состояния при ротационном выдавливании биметаллических оболочек. Самолетостроение. Техн. воздушн. флота. Респ. межвед. тематич. научно-технический сборник, 1976, №39, с. 57-62.
9. Баркая В.Ф. К теории расчета усилий и точности процессов ротационного формообразования. Труды Грузинского политехнического ин-та, 1975, №1, с. 173-177.
10. Шепель И.Н., Проскуряков Г.Н. Изготовление кольцевых заготовок из листовых титановых и жаропрочных сплавов на давлении установки с нагревом зоны деформации. Авиационная промышленность. 1975, №3, с. 60-63.
11. Исследование силовых параметров процесса ротационного выдавливания/К.Н.Богоявленский и др. - В сб.: Научные основы автоматизированных производственных процессов в машиностроении и приборостроении. Тезисы докл. 4 Всесоюз. междуз. конф. 1975. Секция: Обработка металлов давлением. - М., 1974, с. 35-37.

12. Проскуряков Г.В. Стесненный изгиб. Авиационная промышленность. 1966, №2, с. 9-13.
13. Ершов В.И. К расчету процессов формоизменения под действием нескольких нагрузок. Труды Казан. авиац. ин-та. Авиационная техника. 1980, №2, с. 103-107.
14. Найденов М.П. Основы расчета силовых параметров тангенциальной обработки трубчатых заготовок с применением теории размерностей. - В сб.: Обработка металлов давлением в машиностроении. 1974, №12, с. 8-16.
15. Назарцев Н.И., Саятов Б.В. Разработка технологии изготовления бесшовных цилиндрических тонкостенных обечаек методом раскатки. - В сб.: Стали и сплавы цветных металлов. Куйбышев, 1974, с. 84-92.
16. Ершов В.И. Анализ двух способов локального деформирования. Труды Казан. авиац. ин-та. Авиационная техника. 1981, №1, с. 87-92.
17. Анализ схем формообразования толстолистовых профилей стесненным изгибом/А.С.Зажигин, Г.В.Проскуряков и др. Авиационная промышленность. 1968, №5, с. 9-11.
18. Зинovieв В.Н. Исследование и совершенствование процесса раскатки колец из сплавов титана. Автореферат канд. дисс. М., 1977. 16 с.
19. Горючая раскатка профильных кольцевых деталей/Г.И.Зус, А.И.Мурзов, В.А.Костышев, В.С.Самохвалов. - В сб.: Алюминиевые сплавы и специальные материалы. - Труды ВИАМ, 1975, №9, с. 157-162.
20. Прокатка титановых бесшовных сложнопрофильных колец/А.И.Мурзов, В.А.Костышев, Г.И.Зус, А.А.Чулошников. - В сб.: Алюминиевые сплавы и специальные материалы. - Труды ВИАМ, 1977, №10, с. 155-160.
21. Производство бесшовных колец П-образной формы из жаропрочных сплавов по новой схеме раскатки/А.И.Мурзов, Г.И.Зус, В.А.Костышев, Ф.И.Хасаниши, В.С.Самохвалов. В сб.: Алюминиевые сплавы и специальные материалы. - Труды ВИАМ, 1977, №10, с. 160-165.
22. Опыт изготовления раскатных колец сложной конфигурации на машине РМ500/А.Я.Хозенюк и др. - Научно-технический бюллетень ВНИС.: Технология легких сплавов. 1973, №11, с. 76-79.
23. Jagishita K. et al. - "Mitsubishi Jukogihō", 1975, 12, №2, pp. 206-215.

24. Методы получения однородной макроструктуры и стабильных механических свойств цельнокатаных колец из титановых сплавов BT9 и BT3-1/Л.Н.Иванкина и др. В сб.: Технология легких сплавов. 1973, №2, с. 50-56.
25. Зиновьев В.Н., Иванкина Л.Н. Возможности прокатки на стане КПС-2000 титановых колец с высокими механическими свойствами. В сб.: Производство титановых сплавов. ВИС, 1975, №7, с. 283-288.
26. Исследование процесса прокатки колец с помощью киносъемки/В.Я.Осадчий и др. В сб.: Технология легких сплавов. 1976, №5, с. 40-43.
27. Производство полуфабрикатов методом кольцевой прокатки. Исследования, технология, оборудование/В.Н.Зиновьев и др. В сб.: Технология легких сплавов. 1977, №8, с. 79-88.
28. Остроушкин Г.П. Особенности пластического напряженного состояния при раскатке колец. Кузнечно-штамповочное производство. 1973, №4, с. 5-8.
29. Получение кольцевых заготовок прямоугольного и профильного сечения из сплава АМгб методом раскатки/А.И.Мурзов и др. В сб.: Технология легких сплавов. 1967, №6, с. 56-60.
30. Прокатка колец прямоугольного профильного сечения из сплава АМгб./А.И.Мурзов и др. В сб.: Алюминиевые и специальные сплавы. 1967, №3, с. 120-124.
31. Соловцов С.С., Альшиц М.Я. Формоизменение кольцевых заготовок при горячей раскатке с тавровым профилем поперечного сечения. Кузнечно-штамповочное производство. 1970, №2, с. 1-4.
32. Рабинович Л.А. Изготовление бесшовных кольцевых заготовок машинной раскаткой. Производственно-технический бюллетень. 1971, №10, с. 6-9.
33. Лапин В.В. Кинематические соотношения при раскатке колец прямоугольного сечения. - Труды Ленинградского политехнического ин-та, 1970, №315, с. 105-109.
34. Богоявленский К.Н., Лапин В.В. Холодная раскатка кольцевых деталей. Кузнечно-штамповочное производство. 1973, №2, с. 18-22.

35. Давыдов Ю.Д. Проектирование чертежа поковки раскатного кольца с помощью ЭВМ. Кузнечно-штамповочное производство. 1969, №11, с. 9-11.
36. Vieregge Gustav Gestaltung einer Ringschmiede unter besonderer Berücksichtigung des Ringwalzverfahrens. Stahl und Eisen, 1971, 91. №10, s. 563-572.
37. Казанцев В.П., Новичев В.В. Штамповка точной заготовки для прокатки колец. В сб.: Технологии легких сплавов. 1975, №12, с. 80-81.
38. Образование усадки при прокатке фасонных колец. "Int. J. Mech. Sci." 1975, 17, №11-12, с. 669-672. РЖ 14В, 1976, 6В64.
39. Влияние соотношения диаметров валков на основные параметры процесса раскатки колец/П.И.Полухин и др. - Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1972, №7, с. 80-82.
40. Распределение удельного давления по длине очага деформации при прокатке колец/П.И.Полухин - Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1970, №11, с. 77-80.
41. Сидоренко Б.Н., Савченко Б.Ф. Технологические особенности изготовления кольцевых деталей раскаткой. В сб.: Технология и организация производства. 1973, №3, с. 38-41.
42. Шевченко Л.Н., Дорошечкин А.Г. Получение кольцевых заготовок из сплава Д16 методом радиальной раскатки. Производственно-технический бюллетень. 1975, №6, с. 24-25.
43. Давление на валки и крутящий момент при раскатке колец. - "Int. J. Mech. Sci." 1973, 11, 15, №11, с. 873-893
44. Прокатка колец на заводе фирмы Woodhouse and Rixson. - Ring rolling at Woodhouse and Rixson. "Met and Metal Form.," 1973, 40, №8, с. 233. Реф.: РЖ Металлургия, 1974, 2Д79.
45. Исследование механизма деформирования, схемы напряженного состояния и выбор оптимальных решений при раскатке колец/А.И.Мурзов, З.А.Костышев и др. - Куйбышев. Информационно-технический бюллетень, 1977, №6, с. 5.

46. Юшков А.В., Мурзов А.И., Костышев В.А. Определение усилий при операциях изготовления колец свободной ковкой. Куйбышев. Информационно-технический бюллетень, 1979, №12, с. 5-8.
47. Мурзов А.И., Костышев В.А., Зуев Г.И. Исследование напряженно-деформированного состояния при раскатке колец ГТД. - Мегаузовский сборник. Куйбышев. 1979, с. 3-9.
48. Костышев В.А. Напряженное состояние в очаге деформации при раскатке колец авиационных двигателей с учетом теории анизотропных сред. - Сборник СГАУ. Самара, 1997, с. 57-63.
49. Weber K.H. - "Stahl und Eisen", 1959, Bd 79, Nr. 26, s. 1912-1923.
50. Node T., Iamato H. - "Sumitomo Metals", 1976, u. 28, №1, s. 87-93.
51. Котельникова Л.П., Шаламов Г.Г. В кн.: Производство точных заготовок машиностроительных деталей прокаткой. ВНИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968, в. 153-203.
52. Johnson W., Hawkuard J.B. - "Metallurgia und Metal Forming", 1976, v. 43, №1, pp. 4-11. (ЭИ.ТОКП, №19, 1976.)
53. Marczinski H.J. - "Metallurgia und Metal Forming", 1976, v. 43, №6, pp. 171-177.
54. Moderne Ringproduktion auf Barming HV - Ringwalzmaschinen. Vortrag. Schmiedeausrustungskongress "Forming Equipment Symposium", US - Forging Industry Association. Chicago. 1973, pp. 104-108.
55. Латин В.В., Фомичев А.Ф. Исследование формоизменения при раскатке колец прямоугольного сечения. - Труды Ленинградского политехнического ин-та. 1969, №308, с. 144-148.
56. Winship J.T. Cold ring-rolling warms up Amer. Mach., 1976, 20, № 1, pp. 110-113 (ЭИ. ТОКП, №20, 1976.)
57. Neuveau laminoir automatique a anneaux. "Metaux deform." 1979, № 52, pp. 31-36 (ЭИ. ТОКП, №9, 1980.)
58. Hawkyard J.B., Ingham P.M. An investigation into profile ring rolling. "Proc. Ist. Int. Conf. Rotary Metalwork. Process., London, 1979." Kempston, 1979, pp. 309, 311-320 (ЭИ. ТОКП, №40, 1980.)