

Д.А. Пономаренко¹, Н.В. Моисеев¹, А.В. Скугорев¹

ПРОИЗВОДСТВО ДИСКОВ ГТД ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРЕССАХ

Представлены принципы деформационной обработки современных жаропрочных сплавов методом горячей изотермической штамповки на воздухе. Определены преимущества использования изотермической штамповки для производства дисков турбины малогабаритных газотурбинных двигателей и установок. Рассмотрены два варианта изготовления штамповок дисков – из прессованного прутка и слитка высокоградиентной направленной кристаллизации (ВГНК).

Ключевые слова: жаропрочные сплавы, изотермическая штамповка, диск турбины, малогабаритные ГТД и ГТУ.

D.A. Ponomarenko, N.V. Moiseev, A.V. Skugorev

PRODUCTION OF GTE SUPERALLOY DISKS WITH THE USE OF ISOTHERMAL PRESSES

The principles, concerning the deformation treatment of the up-to-date superalloys by the hot isothermal forging in air are given in the paper. The advantages of the isothermal forging application were determined for the production of turbine disks of small-size GTE and units. Two production variants of disk die forgings made of pressed bars and high-gradient directionally-solidified ingots were considered.

Keywords: superalloys, isothermal forging, turbine disk, small-size GTE and units.

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Эффективность газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ) различного назначения во многом определяет успехи самолетостроения, судостроения, транспортного машиностроения, ракетостроения и энергетики.

Одной из основных тенденций при создании ГТД и ГТУ нового поколения является повышение рабочих температур деталей горячего тракта, в частности дисков турбин. Специфические условия работы дисков турбин обуславливают выбор для их изготовления жаропрочных сплавов, которые традиционно являются труднодеформируемыми, труднообрабатываемыми и требующими сложной многостадийной термической обработки [1]. Процесс изготовления дисков газовых турбин на всех стадиях обработки требует длительного и трудоемкого технологического цикла, дорогостоящего оборудования, а также специалистов высокой квалификации.

Материалы, необходимые для выплавки дисковых сплавов, постоянно дорожают, соответственно возрастает стоимость слитков и деформированных полуфабрикатов для изготовления заготовок дисков турбин. В таких условиях традиционные методы изготовления деформированных заготовок на мощных прессах усилием до 20000 тс в штамповом инструменте, нагреваемом до температуры 400–600°C, уже не обеспечивают эффективности процесса, в первую очередь, из-за крайне низкого коэффициента использования металла (КИМ) и высокой трудоемкости последующей механической обработки штамповок. Другим фактором, затрудняющим использование традиционного метода горячей штамповки при производстве заготовок дисков турбин, является неоднородность макро- и микроструктуры по сечению заготовки диска, что вызвано повы-

шенной неравномерностью температурного поля заготовки в процессе формоизменения в штампе и возникающей в ней из-за этого локализации течения металла. Эти факторы являются основными причинами структурной неоднородности деформированных заготовок, нестабильности получаемых в них свойств или их несоответствия техническим условиям.

Более перспективным методом изготовления деформированных заготовок дисков ГТД являются технологические процессы с использованием изотермической объемной штамповки, разработанные на базе специализированных гидравлических прессов небольшой мощности усилием до 2000 тс [2].

Специализация прессового оборудования для изотермической штамповки подразумевает:

- размещение на столе пресса нагревательной установки, обеспечивающей контролируемый нагрев штампового инструмента до температуры деформации заготовки;
- пониженную, по сравнению с обычными прессами, скорость рабочего хода (от 0,1 до 4 мм/с);
- возможность выдержки деформируемой заготовки в штампе под действием заданного усилия;
- компьютерный контроль (мониторинг) процесса деформации.

Изотермический пресс с нагревательной установкой позволяет создать оптимальные температурно-скоростные параметры для деформации жаропрочных сплавов [3].

Установка для нагрева штампового инструмента позволяет поддерживать температуру инструмента в относительно узком интервале отклонения (± 20 – 70°C) относительно температуры нагрева заготовки под деформацию. Такое соотношение температуры инструмента и температуры нагрева под деформацию оказывается достаточным, чтобы обеспечить максимально возможную технологическую пластичность наиболее труднодеформируемых сплавов (ЭП975, ВЖ175) [4]. Регулировка скорости движения штампового инструмента производится по ходу деформации для поддержания оптимальной для данного сплава скорости деформации.

Для защиты заготовок от окисления в воздушной атмосфере применяются высокоэффективные шликерные защитные технологические покрытия (ЗТП) на основе стекломалей (ЭВТ-24, ЭВТ-100), которые также являются эффективной смазкой между деформируемой заготовкой и инструментом в процессе изотермической штамповки. Стабильная температура в зоне контакта между заготовкой и штампом обеспечивает максимальную эффективность ЗТП, позволяет свести к минимуму контактное трение в широком диапазоне степеней деформации и, как следствие, снижает требуемое усилие штамповки.

Значительный резерв формоизменения на заключительном этапе штамповки дисков при ограниченной мощности пресса заложен в режиме выдержки заготовки в штампе под действием максимально допустимого для данного пресса усилия. В таком режиме работы пресса заготовка деформируется в условиях высокотемпературной ползучести. Эффективность такого технологического приема обуславливается высокой чувствительностью жаропрочных сплавов к скорости деформации. Реализация высокотемпературной ползучести материала заготовки позволяет увеличить диаметр штамповки диска путем деформации при ограниченном усилии пресса на 10–20%. При необходимости для дальнейшей штамповки заготовок диска при полностью исчерпанном усилии пресса дополнительно используют технологический прием секторной штамповки.

Использование изотермических прессов для производства заготовок дисков из жаропрочных сплавов дает ряд следующих преимуществ:

- обеспечение более равномерного и контролируемого распределения деформации и температуры по сечению деформируемой заготовки, расширение технологических воз-

возможностей для формирования в деформированных штамповках дисков оптимальной структуры и комплекса свойств при термомеханической обработке;

- использование в качестве материала для дисков современных ГТД и ГТУ наиболее перспективных жаропрочных сплавов нового поколения;

- получение на маломощных прессах штамповок дисков с размерами, существенно превышающими возможные при традиционных методах штамповки;

- сокращение числа штамповых переходов, расходов на штамповую оснастку и промежуточные отжиги путем повышения допустимой степени деформации за переход;

- обеспечение возможности получения штамповок с минимальным припуском, что снижает затраты на исходный материал и механическую обработку;

- обеспечение 100% выхода годного деформированных заготовок дисков в партии благодаря оптимизации и стабильности параметров процесса деформации на каждой штамповке.

При разработке технологических процессов изготовления заготовок дисков на изотермических прессах широко используется метод компьютерного моделирования. Для моделирования процессов изотермической деформации применяется лицензированный пакет программного обеспечения Q-Form 2D/3D, позволяющий оценить в реальном времени распределение температуры, интенсивности напряжений, деформации и скоростей деформации в деформируемой заготовке, определить интенсивность накопленной деформации при нескольких переходах штамповки, спрогнозировать требуемое для деформации усилие пресса. Компьютерное моделирование позволяет снизить трудоемкость проектирования штампового инструмента, эффективно рассчитать штамповые переходы, экономично использовать операции промежуточных отжигов, а также прогнозировать проработку структуры штамповки в процессе деформации.

Эффективность процесса штамповки жаропрочных дисков ГТД на изотермических прессах еще в большей степени возрастает благодаря компьютеризации прессового и изотермического оборудования. Компьютерное управление и мониторинг позволяют наиболее полно использовать возможности изотермических прессов, варьировать скоростные и силовые параметры процесса деформации на любой стадии, а также обеспечить стабильность заданных режимов деформации для всей партии штамповок. Мониторинг процесса и фиксирование рабочих параметров процесса, в свою очередь, расширяют возможности компьютерного моделирования, так как позволяют оперативно сравнивать результаты моделирования с данными реального процесса и своевременно их корректировать.

В настоящее время наиболее велика потребность в малоразмерных дисках ГТД из жаропрочных сплавов диаметром 150–350 мм. ВИАМ располагает изотермическими прессами усилием 630 и 1600 тс, оснащенными нагревательными установками индукционного нагрева универсальных штамповых блоков. Компьютерное оснащение, обеспечивающее мониторинг параметров процесса деформации, выполнено по собственным проектам (рис. 1).

Опыт работы за последние 10 лет показал, что имеющиеся технические возможности позволяют ВИАМ выполнять серийные поставки деформированных заготовок дисков диаметром до 400 мм из сплавов типа ЭП742, ЭЖ79, ЭЖ151 и диаметром до 350 мм из сплавов типа ЭП975, ВЖ175 (рис. 2). Традиционными методами штамповки дисков таких размеров обычно производят на мощных прессах усилием 6000–10000 тс и при этом используют в 2–3 раза более массивные исходные заготовки.

Наиболее массовые (серийные) поставки деформированных заготовок дисков целесообразно осуществлять из прессованного прутка, производимого отечественной металлургической промышленностью. При штучных и мелкосерийных поставках эффективным оказывается применение в качестве исходной заготовки мерных литых заготовок, получаемых методом высокоградиентной направленной кристаллизации

(ВГНК) в условиях ВИАМ. Такая технология является альтернативой изготовлению штамповок дисков из пресс-прутка промышленного производства, в котором минимальный объем плавки составляет не менее 500 кг, что целесообразно для изготовления и поставки большой партии заготовок.

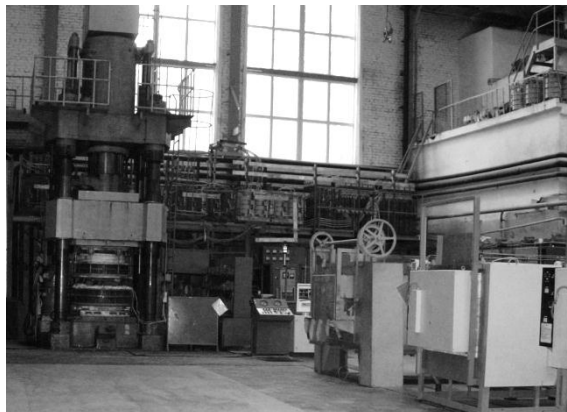
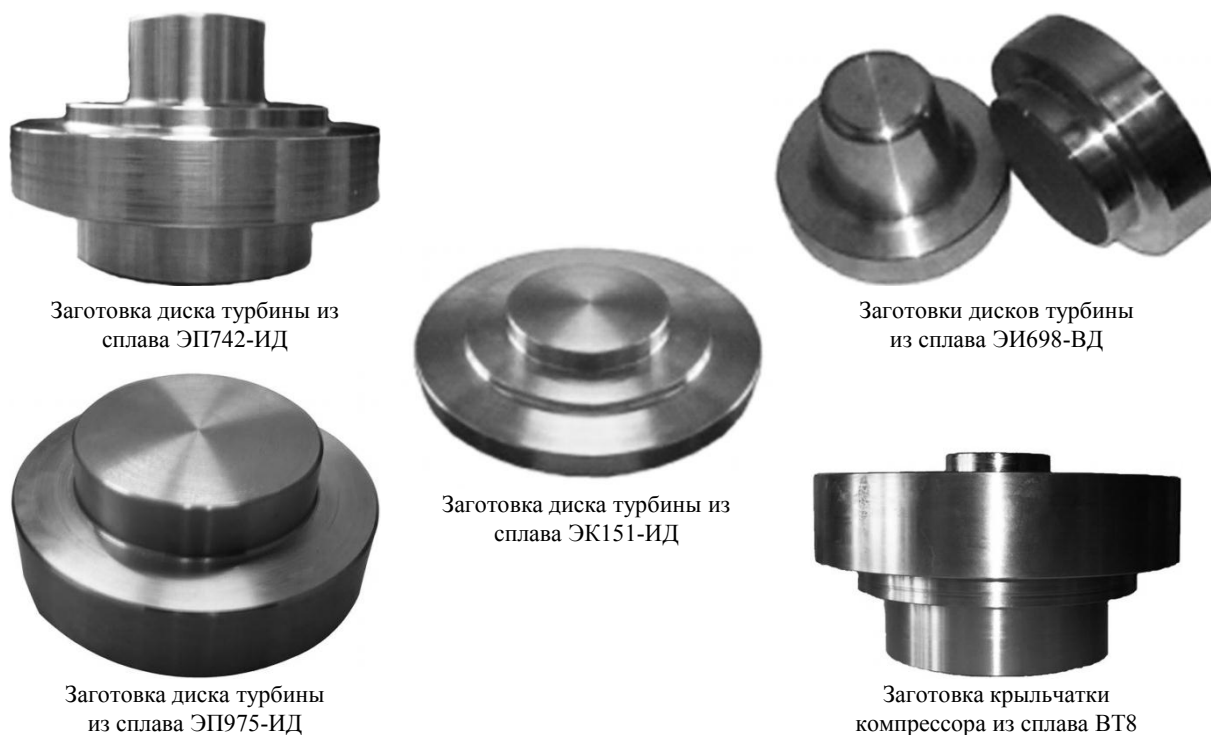


Рис. 1. Производственный участок изотермической штамповки на базе пресса усилием 1600 тс



Заготовка диска турбины из сплава ЭП742-ИД

Заготовки дисков турбины из сплава ЭИ698-ВД

Заготовка диска турбины из сплава ЭК151-ИД

Заготовка диска турбины из сплава ЭП975-ИД

Заготовка крыльчатки компрессора из сплава ВТ8

Рис. 2. Заготовки дисков из жаропрочных никелевых сплавов ЭИ698, ЭП742, ЭК151, ЭП975 и жаропрочного титанового сплава ВТ8

Основным преимуществом предлагаемой технологии является возможность эффективно производить литые заготовки ВГНК нужного размера в необходимом количестве. Процесс производства точных деформированных заготовок малоразмерных дисков из литых заготовок ВГНК включает три основные стадии:

- получение мерной литой заготовки ВГНК;
- получение из литой заготовки посредством изотермического ковочного передела в специальном штамповом инструменте поковки с подготовленной структурой и оптимальной геометрией;
- окончательная штамповка точной заготовки диска на изотермическом прессе.

Наиболее перспективным представляется использование слитков ВГНК для изготовления деформированных дисков из суперсплавов (типа ЭП975, ВЖ175). В этом случае несколько повышенная трудоемкость изготовления деформированной заготовки диска из слитка ВГНК компенсируется возможностью получения наиболее высокого уровня свойств. Также следует отметить перспективность использования слитков ВГНК при оптимизации существующих и разработке новых, более совершенных деформируемых жаропрочных сплавов. Опытный слиток ВГНК новой композиции оперативно подвергается опробованию на изотермический деформационный передел, проводятся структурные исследования, определяется комплекс свойств.

Перспективные жаропрочные дисковые сплавы, которые позволят создавать ГТД новых поколений, потребуют еще более узких интервалов температурно-скоростных параметров деформации, определенных схем напряженного состояния заготовки при формоизменении, нетрадиционного подхода к конструированию штампового инструмента и штамповому материалу. Изготовление деформированных заготовок дисков из новых жаропрочных сплавов традиционными методами без использования изотермических прессов с соответствующим комплексом оборудования в недалеком будущем может стать нецелесообразным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 19–35.
2. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С. Комплексная инновационная технология изотермической штамповки на воздухе в режиме сверхпластичности дисков из супержаропрочных сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 129–140.
3. Фиглин С.З., Бойцов В.В., Калпин Ю.Г., Каплин Ю.И. Изотермическое деформирование металлов. М.: Машиностроение. 1978. 239 с.
4. Герасимов Д.Е., Разуваев Е.И. Производство деформированных полуфабрикатов из современных и перспективных жаропрочных никелевых сплавов /В сб.: Авиационные материалы и технологии. Вып. «Технология производства авиационных металлических материалов». М.: ВИАМ. 2002. С. 125–132.

REFERENS LIST

1. Ospennikova O.G. Strategija razvitija zharoprochnyh splavov i stalej special'nogo naznachenija, zashhitnyh i teplozashhitnyh pokrytij [Strategy of development of heat resisting alloys and steels special purpose, protective and heat-shielding coverings] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 19–35.
2. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Lomberg B.S. Kompleksnaja innovacionnaja tehnologija izotermicheskoj shtampovki na vozduhe v rezhime sverhplastichnosti diskov iz superzharoprochnyh splavov [Complex innovative technology of isothermal stamping on air in a mode of superplasticity of disks from superheat resisting alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 129–140.
3. Figlin S.Z., Bojcov V.V., Kalpin Ju.G., Kaplin Ju.I. Izotermicheskoe deformirovanie metallov [Isothermal deformation of metals]. M.: Mashinostroenie. 1978. 239 s.
4. Gerasimov D.E., Razuvaev E.I. Proizvodstvo deformirovannyh polufabrikatov iz sovremennyh i perspektivnyh zharoprochnyh nikelovyh splavov [Production of the deformed semi-finished products from modern and perspective heat resisting nickel alloys] /V sb.: Aviacionnye materialy i tehnologii. Vyp. «Tehnologija proizvodstva aviacionnyh metallicheskih materialov». M.: VIAM. 2002. S. 125–132.