

УДК 669.295:621.762

Горячее изостатическое прессование в порошковой металлургии

С. В. Агеев, В. Л. Гиршов

Рассмотрено развитие технологии горячего изостатического прессования (ГИП). Представлены примеры порошковых изделий из высоколегированных сталей и сплавов, изготовленных с применением ГИП и обладающих преимуществами по отношению к стандартным аналогам. Сделан вывод об эффективности и перспективах ГИП для производства массивных порошковых изделий. Представлена информация о развитии работ с применением ГИП.

Ключевые слова: металлургия, распыленные порошки, горячее прессование, газостат.

Горячее изостатическое прессование (ГИП) — сложный технологический процесс обработки изделий высоким газовым давлением при повышенных температурах. Наиболее широко ГИП применяется для производства плотных, беспористых изделий из металлических порошков, а также для уплотнения фасонных отливок, например из титановых сплавов.

ГИП осуществляется в газостатах. Газостат представляет собой сосуд высокого давления с системами подачи и нагрева газа. На рис. 1 показана схема рабочей камеры газостата. После загрузки обрабатываемого изделия в рабочую камеру газостата камера закрывается и из нее откачивается воздух. Затем включается нагрев и подается аргон. Высокое давление в камере газостата создается компрессором. После достижения расчетных значений температура и давление поддерживаются на постоянном уровне в течение всего времени выдержки. После выдержки изделие охлаждается со снижением давления.

Порошковые изделия прессуют в специальных капсулах, которые представляют собой тонкостенные оболочки, близкие по форме к прессованным изделиям. Такие изделия могут иметь как простые формы цилиндрического или плоского слитка для последующейковки или прокатки, так и сложные формы фасонных деталей, которым не требуется дополнительная деформация. Обычно капсулы

изготавливают из хорошо сваривающейся низкоуглеродистой листовой стали. Для ГИП чаще всего применяют распыленные порошки сферической формы из разнообразных металлических сплавов.

ГИП порошков происходит при давлении 100–200 МПа и температурах от 900 до 2250 °С. Высокое газовое давление действует равно-

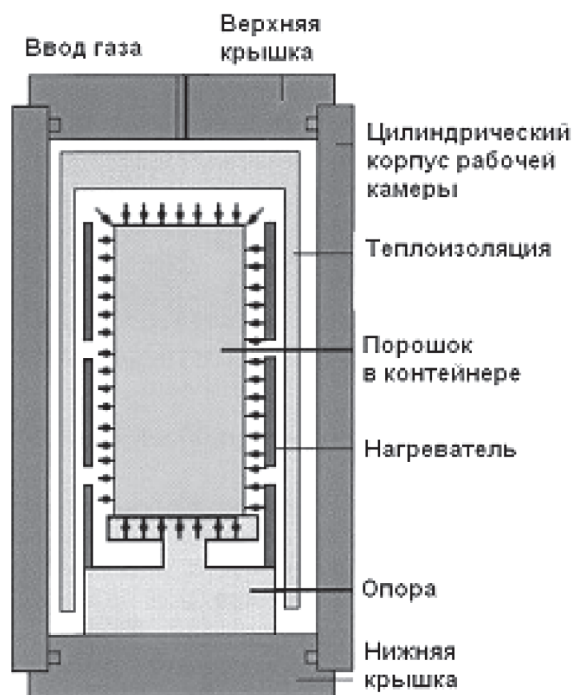


Рис. 1. Рабочая камера газостата

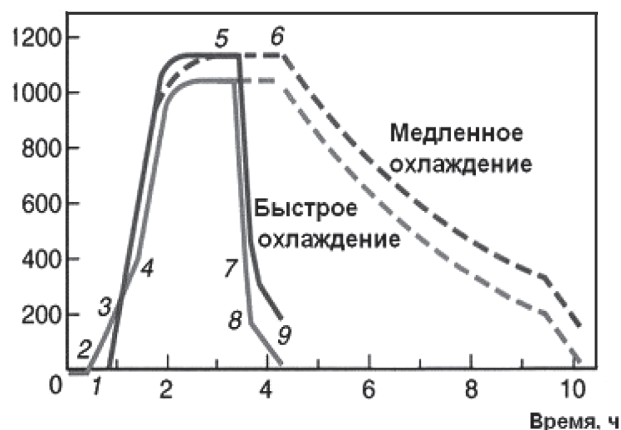


Рис. 2. Типичный цикл ГИП

— температура, °C; — — давление, бар

мерно во всех направлениях, что обеспечивает 100%-плотность и изотропные свойства пресованных материалов. Температура газостатирования, как правило, ниже температуры солидуса обрабатываемого материала примерно на 20 %. Это необходимо для предотвращения возможной ликвации легирующих элементов и образования жидкой фазы. Цикл ГИП для стальных порошков показан на рис. 2.

После газостатирования оболочка капсулы обычно удаляется механообработкой. Полученная компактная прессовка может подвергаться дополнительным операциям, например прокатке, термической обработке, финишной механообработке.

ГИП сравнительно новый технологический процесс. Первые разработки лабораторного оборудования и технологии были выполнены в США и Швеции в середине прошлого века. Вначале газостаты имели низкую производительность и были опасны в эксплуатации. Поскольку газостат представляет собой сосуд высокого давления, аккумулирующий большой запас энергии, он является взрывоопасным агрегатом. Для повышения надежности конструкции цилиндр и станину газостата, воспринимающие основные нагрузки, стали упрочнять обмоткой из напряженной высокопрочной стальной ленты. Вероятность взрыва рабочей камеры современного газостата минимальна, поскольку к настоящему времени разработаны прочные и надежные конструкции газостатов, однако остается реальной взрывоопасность капсул. Дело в том, что при наличии несплошностей в капсуле в нее

под высоким давлением проникает газ. При завершении цикла газостатирования, в процессе стравливания газа давление в цилиндре газостата снижается быстрее, чем в капсуле. Разница давлений в капсуле и газостате может стать настолько значительной, что капсула раздувается, а иногда может и взорваться. Недопустимы даже самые мелкие несплошности в сварных швах капсулы, поскольку проникновение аргона в капсулу (аргон не растворяется в металле) является причиной газовой пористости и брака прессовок. Для предотвращения несплошностей необходим надежный контроль герметичности капсул.

Низкая производительность первых газостатов была связана с малым объемом рабочей камеры и длительностью цикла газостатирования. Для повышения производительности оборудования созданы и работают новые конструкции промышленных газостатов с диаметром рабочей камеры до 2 м и высотой до 4,2 м [1]. На протяжении многих лет ведутся работы по сокращению цикла газостатирования за счет уменьшения продолжительности вспомогательных операций. В частности, разработаны система предварительного нагрева капсул перед посадкой их в газостат, а также принудительное охлаждение рабочего газа путем установки в газостат внутреннего теплообменника. Это сокращает время подготовительных и заключительных операций газостатирования. Одним из вариантов «быстрого» ГИП является загрузка в газостат горячей капсулы и впрыск жидкого азота в цилиндр высокого давления. Этим достигается резкий рост газового давления в цилиндре. Значительно сокращается цикл газостатирования и улучшается структура прессованной заготовки, поскольку консолидация порошка протекает в результате пластического течения, а не ползучести. Совершенствование оборудования и технологии позволило значительно снизить стоимость газостатирования. В 1998 г. стоимость обработки в газостате 1 кг порошка составляла 0,9 евро, а в 2014 г. — 0,3 евро [1]. Это существенно повысило конкурентные преимущества ГИП по сравнению с традиционными металлургическими технологиями.

За рубежом ГИП широко применяется в разнообразных отраслях техники. В 1953–1965 г.

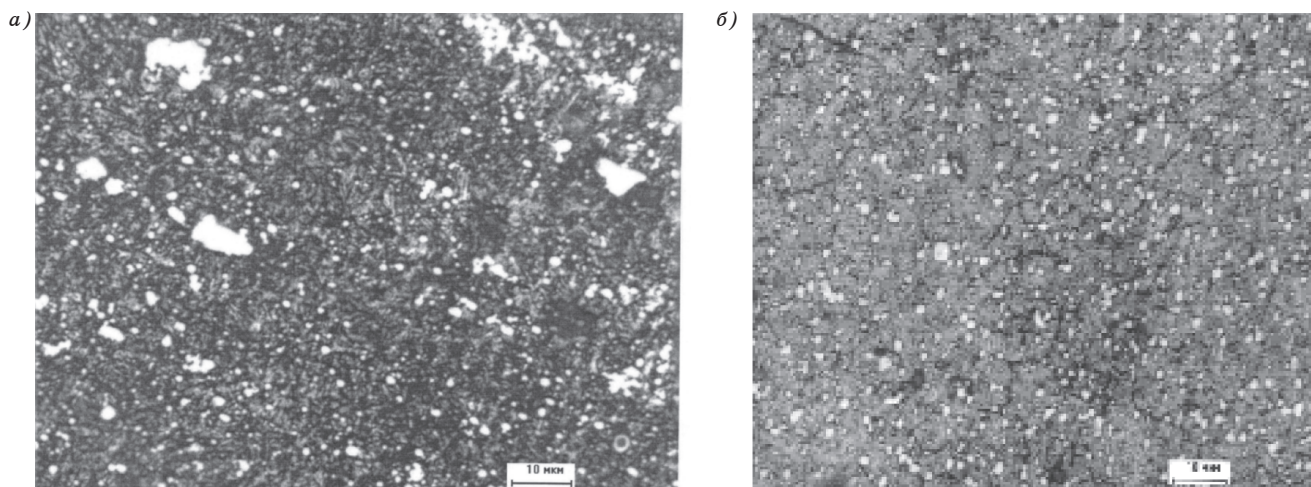


Рис. 3. Микроструктура стандартной (а) и порошковой (б) быстрорежущей стали Р6М5 (светлые выделения — карбидная фаза)

с применением ГИП создано производство синтетических алмазов, элементов ядерного топлива, изделий из порошков бериллия и спеченных карбидов. Затем ГИП стали применять при производстве порошковых быстрорежущих и штамповых сталей в форме заготовок для последующейковки и прокатки, а также при производстве фасонных изделий из жаропрочных никелевых и кобальтовых сплавов. В 1980-е г. развернулись работы по изготовлению ГИП заготовок, близких по форме к готовым изделиям, из порошков коррозионно-стойкой стали и титана.

В СССР в 1970-е г. были начаты работы по металлургии гранул с использованием ГИП применительно к изготовлению изделий из жаропрочных никелевых сплавов [2]. Примерно в это же время проводились исследования по разработке порошковых инструментальных сталей, которые завершились созданием на заводе «Днепроспецсталь» производства порошковых быстрорежущих сталей. Это производство базируется на шведском оборудовании и технологии ГИП [3].

Важно отметить, что микроструктура пресованных изделий из распыленных металлических порошков отличается особо высокой дисперсностью и однородностью, а прессованный материал — повышенной прочностью и вязкостью. В качестве примера на рис. 3 сопоставляются микроструктуры стандартной и порошковой быстрорежущей стали. Металлорежущий инструмент из порошковых сталей превосходит по стойкости в 2–6 раз

аналоги из стандартных сталей того же химического состава. За рубежом созданы новые марки порошковых быстрорежущих сталей с повышенным содержанием углерода, азота, ванадия и кобальта, которые невозможно изготовить из слитков. Такие стали успешно конкурируют с твердыми сплавами.

На рис. 4–8 по материалам Европейской ассоциации порошковой металлургии приведены примеры деталей и изделий, изготовленных из порошковых металлических сплавов с применением технологии ГИП [4].

Анализ и обобщение достигнутых за рубежом результатов позволяют считать, что ГИП является исключительно эффективным и перспективным технологическим процессом порошковой металлургии для производства массивных изделий из высоколегированных

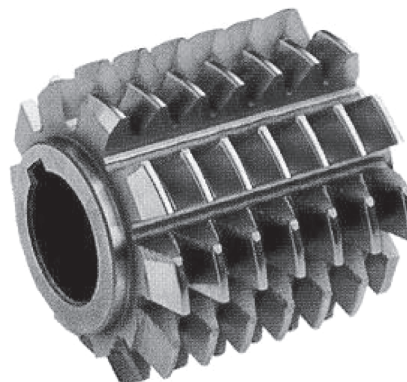


Рис. 4. Червячная фреза из порошковой быстрорежущей стали (фирма Erasteel). Преимущества: высокая скорость резания (250 м/мин); высокая производительность; увеличение ресурса работы (переточка до 20–40 раз); высокая надежность инструмента

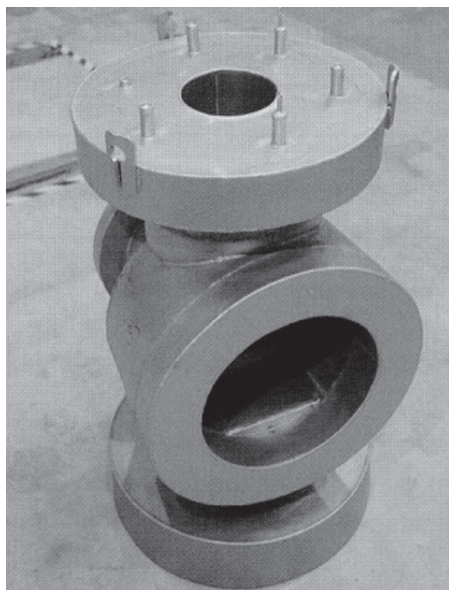


Рис. 5. Корпус клапана для морских плавучих платформ (фирма Metso). Материал — порошковая коррозионно-стойкая сталь, масса от 250 до 2000 кг. Преимущества: повышенная прочность в сравнении с литьем; простота ультразвукового контроля; отсутствие сварки; небольшой объем механообработки

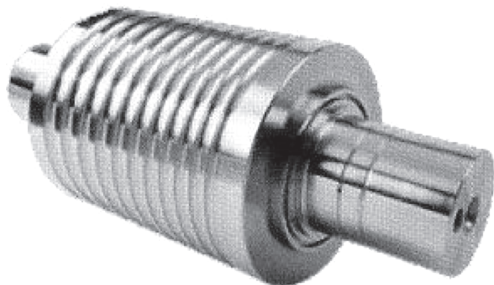


Рис. 6. Валок для прокатки коррозионно-стойкой стали (фирма Erasteel). Материал — порошковая быстрорежущая сталь. Преимущества: увеличение ресурса работы; улучшение качества поверхности проката

металлических сплавов. Если традиционные процессы порошковой металлургии — одноосное прессование, спекание, ковка позволяют производить порошковые изделия массой до 10 кг, то с применением технологии ГИП можно получать высококачественные изделия массой в 10 т и более.

Надо признать, что наша страна пока отстает в развитии передовых технологий порошковой металлургии, в том числе и ГИП. Однако первые шаги в получении биметаллических заготовок для крупного режущего инструмента, прокатных роликов и валков уже сделаны. Фирма ООО «Гранком» в содруже-

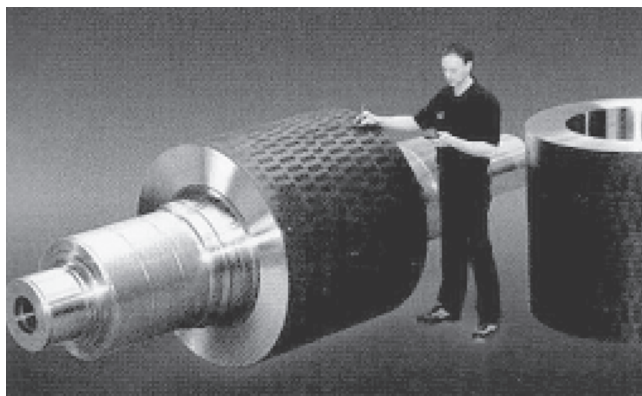


Рис. 7. Плакированный вал для производства цемента (фирма Koppern). Материал — порошковая инструментальная сталь или композит с металлической матрицей. Диаметр вала — от 1000 до 1800 мм. Преимущества — снижение эксплуатационных затрат; повышение надежности; уменьшение риска трещин и выкрошивания

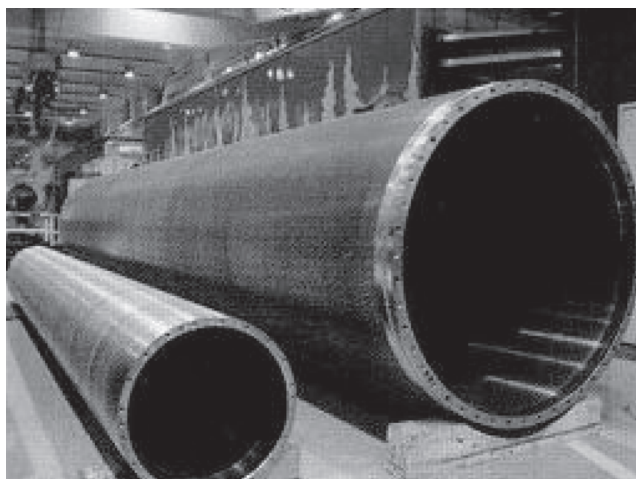


Рис. 8. Рубашка вала для производства бумаги (фирма Metso). Материал — коррозионно-стойкая сталь. Масса — до 50 т [из нескольких секций, диаметр — до 1,7 м, длина — до 11 м (после сварки секций)]. Преимущества — высокая усталостная прочность; высокое сопротивление коррозии; низкий уровень остаточных напряжений

стве с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого (СПбПУ) изготовила первую опытную партию биметаллических заготовок с сердечником из дешевой инструментальной стали 5ХНМ и с внешним слоем из порошков быстрорежущей стали Р6М5. На рис. 9 показан диск, отрезанный от биметаллической заготовки.

За последнее время значительно возросла зависимость отечественного машиностроения от импорта высококачественного металлорежущего инструмента. В связи с этим по ини-

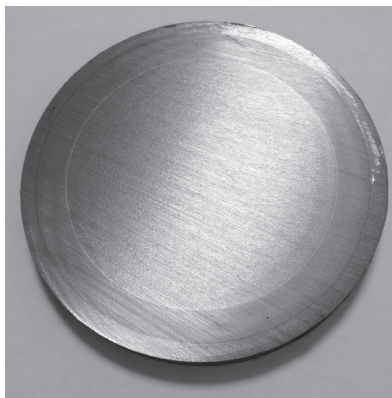


Рис. 9. Поперечное сечение биметаллической заготовки для инструмента диаметром 120 мм (фирма ООО «Гранком»). Преимущества биметаллического инструмента: повышение ресурса работы в 3–5 раз по сравнению с существующими аналогами из литой и деформированной стали Р6М5; экономия дорогой быстрорежущей стали в среднем в 2 раза

циативе фирмы «Гранком» и СПбПУ разработан проект создания импортозамещающего производства порошковых быстрорежущих сталей и других высоколегированных сплавов на базе промышленной технологии горячего изостатического прессования порошков. Дальнейшее развитие работ в этом направлении во многом зависит от поддержки проекта инструментальными заводами и машиностроительными предприятиями.

Проект ориентирован на имеющийся современный газостатический комплекс ABB-ASEA QIN-345, который имеет следующие технические характеристики:

Рабочая среда.	Аргон
Давление рабочей среды (всестороннее), МПа	До 150
Максимальная температура, °С	1200
Максимальные габаритные размеры садки, мм:	
диаметр	1180
высота	2150
масса садки, т.	7

Горячий изостатический пресс ABB-ASEA QIN-345 является одним из крупнейших газостатов на территории Европы и самым крупным на территории РФ.

ООО «Гранком» (Россия, Нижегородская обл., г. Кулебаки, промышленная площадка ОАО «Русполимет») готово выполнить ваши заказы на разработку и производство порошковых изделий с применением технологии ГИП.

Контактная информация: тел.: 8-831-765-06-83, e-mail: grancom@ognecom.ru

Литература

1. Euro PM 2014, Salzburg. HIP its origins, its status and its future / Olle Gröndler. PM Technology AB, Sweden.
2. Металлургия гранул — новый технологический процесс производства материалов / А. Ф. Белов, Н. Ф. Аношкин, В. И. Ходкин [и др.]. // В кн.: Обработка легких и жаропрочных сплавов. М.: Наука, 1976, с. 217–236.
3. Производство порошковой быстрорежущей стали на заводе «Днепроспецсталь» / А. Н. Осадчий, С. В. Ревякин, Г. В. Кийко [и др.] // Сталь. 1981. № 11. С 83–84.
4. Introduction to PM HIP Technology. European Powder Metallurgy Association. 2011, 2nd Edition, reprint 2013, www.epma.com