

3D-принтер: используется модель CREALITY LD-006 с типом зеркала LCD_mirror. Разрешение по осям X и Y составляет 3840 и 2400 пикселей соответственно. Размеры области печати — 192 мм по оси X, 120 мм по оси Y и 250 мм по оси Z. Смещение зоны сборки отключено. Выбрана эпоксидная смола EpoxAcast 690 прозрачного цвета, с плотностью 1,1 г/мл и стоимостью 98,09 руб. Параметры печати: высота слоя составляет 0,05 мм, нижних слоев — 5. Время экспозиции — 3,5 секунды, время засветки нижних слоев — 15 секунд. Переход слоя осуществляется линейно с графом 10. Режим ожидания во время печати — время отдыха, с временем после отвода — 1 секунда. Высота подъема — 7 мм, нижнее и общее расстояние отвода также 7 мм. Скорость подъема — 70 мм/мин, нижняя скорость отвода — 150 мм/мин.

После указания всех необходимых параметров, следует «Нарезка» трехмерной модели на слои. Во время данного процесса слайсер автоматически разбивает трехмерную модель и поддержки на слои. После «Нарезки» слайсер автоматически рассчитывает: примерное количество расходуемой смолы, все будущего изделия (с учетом поддержек), примерную стоимость печати (в соответствии с ранее указанной ценой в параметрах смолы) и время печати. Итоговые значения после «нарезки» трехмерной модели включают следующие показатели: объем расходуемой смолы составляет 85,696 литра, вес модели — 94,2656 грамма. Стоимость составляет 9,25 рубля, а общее время печати — 10 часов 10 минут 32 секунды.

Затем сохраняем файлы по необходимому пути в формате .ctb, который поддерживается фотополимерным принтером Creality LD-006.

Заключение. Использование 3D-печати на основе фотополимерных смол позволяет значительно сократить время разработки и повысить качество прототипов, что делает данный метод важным инструментом для быстрого прототипирования и малосерийного производства.

Список цитируемых источников

1. Полное руководство по быстрому прототипированию при разработке продукции // High Resolution SLA and SLS 3D Printers for Professionals [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://formlabs.com/ru/blog/ultimate-guide-to-rapid-prototyping/>. – Дата доступа 25.09.2024.
2. 3D принтер Creality LD-006 // 3D принтеры, сканеры, расходные материалы, услуги 3D печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lider-3d.ru/catalog/3d_printery/3d_printer_creality_ld_006. – Дата доступа 25.09.2024.
3. Обзор слайсера ChiTuBox для 3D печати // Интернет-магазин 3D принтеров, 3D сканеров, пластиковых нитей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3d-m.ru/obzor-slajsera-chitubox-dlya-3d-pechati/>. – Дата доступа 25.09.2024.

УДК 621.983.044

С. В. Матыборский

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

*Научные руководители
Е. В. Rogozina, Т. Я. Богданова*

КРИОГЕННАЯ УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Введение. На практике для дополнительного увеличения прочностных характеристик металлических изделий чаще прибегают к термической обработке (отжиг, закалка и отпуск) или к химико-термической обработке (цементация, азотирование) при высокой температуре. После обработки высокой температурой следует охлаждение детали, при котором в обрабатываемом изделии могут возникать остаточные деформации, которые приводят к дефектам внутри металлов и к последующим разрушениям. Также обработанное металлическое изделие может иметь недостаточные прочностные характеристики для долговечной работы в разных условиях. Эту проблему решается следующим методом обработки: криогенная. Эта технология была открыта в середине 20 века, но популярность пришла в современное время. Технология криогенной обработки металлических деталей, с целью повышения их ресурса, достаточно широко применяется за рубежом и в странах СНГ (в частности в России и реже в Беларуси).

Основная часть. Криогенная упрочняющая обработка металлических изделий представляет один из методов упрочнения металлов при помощи сверхнизкой температуры (от 0 до -272°C) в целях повышения износостойкости и снятия остаточных напряжений. Она включает в себя охлаждение материала до температуры жидкого азота, откуда материал приобретает свойства, а потом изделия достают из оборудования после окончания обработки. Полученные свойства материала сохраняются в течение всего срока службы.

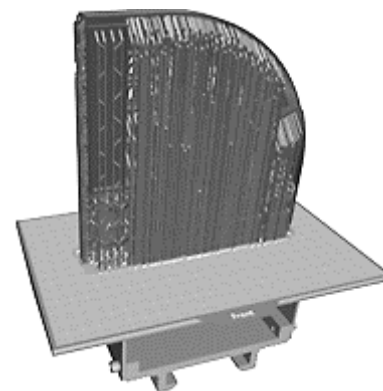


Рисунок 2 — Трехмерная модель с автоматическими «Поддержками»

Сама технология криогенной обработки была открыта в конце 30-х годов советскими учеными с советской стороны и с американской стороны в 1966 году американским учёным Эдом Бушем в Детройте. Позже в 1992 году в США была создана первая криогенное оборудование с компьютерным управлением [1]. В настоящее время данная технология применяется с целью повышения ресурса изделия на западе и в странах СНГ (особенно в России, у которой необходимы хладостойкие изделия для работы в Сибири). Криогенную упрочняющую обработку применяют в следующих сферах:

- аэрокосмическая промышленность: связь, оптические корпуса, спутники, системы посадки;
 - оборонная промышленность: стволы стрелковых оружий с целью повышения ресурса;
 - автомобильная промышленность: тормозные роторы, коробки передач, сцепления, шатуны, коленчатые валы, оси распределительных валов и др.;
 - электроника и аудиотехника: проводники и диэлектрические материалы;
 - режущие инструменты: фрезы, ножи, лезвия, сверла, токарная или фрезерование вставки;
 - машиностроение: гайки, болты, шайбы;
 - медицина;
 - музыка: вакуумные трубки, духовые инструменты, гитарные струны и др.;
 - спорт: ножи, рыболовные снасти, теннисные ракетки, клюшки для гольфа, снаряжение для альпинизма.
- К выявленным преимуществам криогенной обработки относятся:
- повышение износостойкости и прочности металлорежущего инструмента;
 - высокие показатели упрочнения металлорежущего инструмента;
 - высокая производительность;
 - экологичность.
- К недостаткам данной обработки относятся:
- опасность обмораживания при контакте с криогенными продуктами;
 - увеличение хрупкости металла при низкой температуре и возможности разрушения оборудования по причине взрыва;
 - возможная утечка криогенных продуктов вследствие разгерметизации оборудования;
 - высокая стоимость криогенных установок и комплексов [2].

Криогенная установка для упрочняющей обработки в основном состоит из криокамеры, емкости с жидким азотом, компьютера, датчиком температуры и контроллером для управления процесса.

Процесс криогенной упрочняющей обработки происходит следующим образом: в криокамеру, в емкость с хладоагентом помещают обрабатываемое металлическое изделие (рисунок 1). В качестве хладоагента чаще используют жидкий азот, представляющий собой прозрачную жидкость с плотностью 810 кг/м³, у которого температура кипения в нормальных условиях приблизительно равен -196°C . Благодаря низкой температуре кипения жидкости, 1 кг азота поглощает при испарении 200 КДж энергии в виде тепла, и отсюда низкая температура жидкости (-196°C). При погружении обрабатываемых деталей усиливается интенсивность испарения до выравнивания температуры обрабатываемой среды. Весь этот процесс длится от нескольких минут до половины часа, в зависимости от размеров деталей и требуемой температуры обработки. Помимо жидкого азота можно в качестве хладоагента использовать сухой лёд (углекислый газ). По сравнению с жидким азотом, сухой лёд при сублимации 1 кг поглощает 590 КДж, что больше, чем азот. Однако сухой лёд имеет недостаток: неравномерное поглощение тепла из-за твердого состояния и площади контакта с обрабатываемым материалом.



Рисунок 1 — Оборудование для криогенной обработки и процесс обработки

В частности, криогенную обработку используют после термических и химико-термических операций для повышения прочности и твердости материалов, и снятия остаточных напряжений. Благодаря низкой температуры, обрабатываемая сталь охлаждается с критической скоростью, чтобы получить структуру мартенсита, который является более твердой фазой стали, что и дает изделию повышенную износоустойчивость и прочность. Углерод и легирующие элементы в стали (кроме кобальта и алюминия) снижают температуру начала и конца мартенситного превращения [3].

1. Проводили исследования в Физико-техническом институте НАН Беларуси по криогенной обработке жидким азотом изделия из марки стали 08 кп. После обработки определялась микротвердость полученных результатов (рисунок 2) под разные время выдержки: микротвердость исходного материала — 0,4 ГПа, микротвердость обработанного изделия с выдержкой 1 час — 0,45 ГПа и микротвердость обработанного изделия с выдержкой 24 часа — 0,7 ГПа [4]. При этом выяснилось, чем больше выдержка, тем меньше параметры шероховатости.

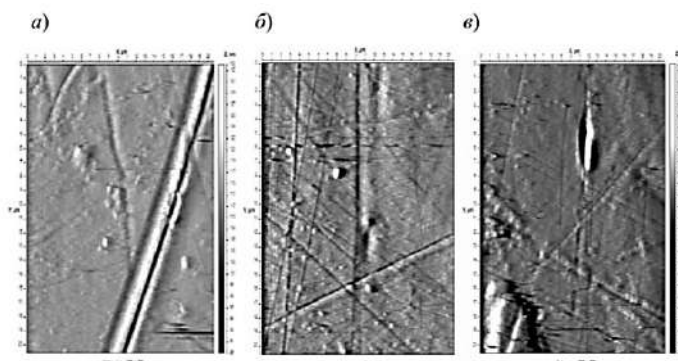


Рисунок 2 — Атомно-силовое изображение поверхностных слоев углеродистой стали 08 кп после криогенной обработки: *a* — исходная поверхность; *b* — обработка в жидком азоте в течение 3 ч; *в* — обработка в жидком азоте в течение 24 ч. Площадь сканирования 20 × 20 мкм [4]

2. Гродненский государственный университет им. Янки Купалы провел исследования по криогенной обработке. В качестве материала была выбрана инструментальная сталь Р6М5. Время выдержки — 15 мин, 30 мин и 60 мин. По итогу у обработанного изделия с выдержкой 60 мин выросла микротвердость по HV на 110 единиц по сравнению исходным материалом (таблица 1). Также увеличилась износостойкость материала в 2 раза [5].

Т а б л и ц а 1 — Результаты обработки [5]

Образец	Стойкость сверла до первой заточки, количество деталей
Сверло из стали Р6М5	40
Сверло из стали Р6М5 после криогенной обработки в течение 15 минут	60
Сверло из стали Р6М5 после криогенной обработки в течение 30 минут	70
Сверло из стали Р6М5 после криогенной обработки в течение 60 минут	72

Заключение. Криогенная обработка является перспективным методом упрочнения металлических изделий. Его особенностью является то, что упрочнения материала происходит не высокой температурой, а низкой температурой. На практике его используют как дополнительная обработка после термических операций, что дает положительные результаты. Для белорусской промышленности она применяется для деталей, работающих в тяжелых условиях (горнодобывающая промышленность). Среди главных недостатков является высокая стоимость оборудования и хладоагентов.

Список цитируемых источников

1. Cryogenic treatment [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Cryogenic_treatment — Дата доступа: 21.09.2024.
2. *Водин, Д. В.* Криогенная обработка как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента / Д. В. Водин. — Текст: непосредственный // Современные тенденции технических наук: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Казань, октябрь 2015 г.). — Казань: Бук, 2015. — С. 48—50.
3. Криогенная обработка. Оборудование и услуги [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cryotech.ru/process/> — Дата доступа: 21.09.2024.
4. *Чекан Н. М.* Влияние криогенной обработки на физико-механические характеристики углеродистой конструкционной стали / Чекан Н. М., Акула И. П., Овчинников Е. В. // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 23—24 апреля 2020 г. / редкол.: М. Е. Лустенков (гл. ред) [и др.]. — Могилев: Белорусско-Российский университет, 2020. — С. 153—154
5. *Гаврилова, В. В.* Влияние криогенной обработки на структуру и эксплуатационные характеристики металлообрабатывающего инструмента / В. В. Гаврилова, А. А. Казьмин // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : материалы международной научно-технической конференции, Брест, 2—3 ноября 2016 года / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет ; редкол.: А. В. Драган [и др.]. — Брест : БрГТУ, 2016. — С. 83—86.