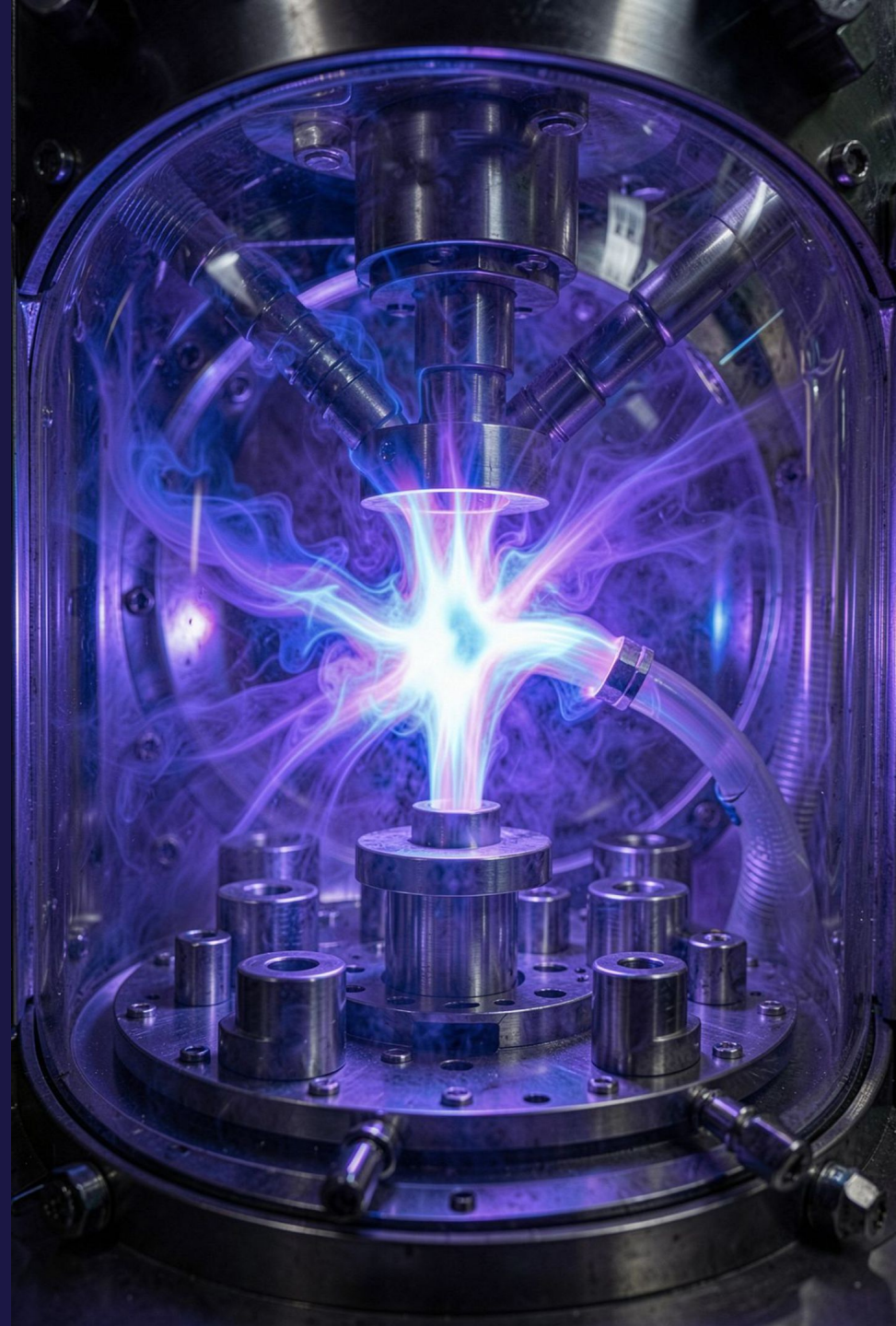
Ионно-плазменное азотирование

Современный метод диффузионного насыщения стали азотом в вакуумной плазме —альтернатива традиционным химико-термическим процессам с превосходством по точности, экологии и экономике.



Сущность процесса и физика разряда

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) основано на аномально тлеющем разряде в вакуумной камере. Деталь выступает катодом, стенки камеры — анодом. Азотно-водородная смесь при давлении **200–1000 Па** ионизируется, формируя активную плазму, насыщающую поверхность стали азотом при температуре **450–600 °C**.

Условия процесса

- Вакуумная среда: 200–1000 Па
- Аномально тлеющий разряд между катодом и анодом
- Активная среда: ионы и возбуждённые молекулы $N_2 + H_2 + Ar$
- Температурный диапазон: 450–600 °C

Структура упрочнённого слоя

Нитридная зона (внешняя)

Соединения $Fe_{2-3}N$ и Fe_4N — максимальная твёрдость до 1300 HV, высокая износостойкость

Диффузионная зона (подлежащая)

Градиентное распределение азота в твёрдом растворе — плавный переход свойств, сопротивление усталости

Технологическое превосходство метода

ИПА принципиально превосходит газовое азотирование по ряду ключевых параметров, делая процесс предпочтительным для серийного и высокоточного производства.

Минимальные деформации

Низкотемпературный режим и отсутствие агрессивных сред исключают коробление. Детали не требуют финишной шлифовки после обработки —прямая экономия операций.

Экономическая эффективность

Сокращение времени цикла в **2–5 раз** и расхода электроэнергии в **1,5–3 раза** по сравнению с газовым азотированием. Быстрая окупаемость оборудования.

Универсальность применения

Возможность **точечного азотирования** отдельных поверхностей с помощью экранов. Локальная обработка без маскирования неактивных зон.

Экологическая безопасность

Отсутствие токсичных газов и жидких отходов. Закрытый вакуумный цикл —нулевые выбросы в атмосферу. Соответствие современным экологическим стандартам.

Промышленная реализация и результаты

Применение в тяжёлом машиностроении

Технология успешно внедрена на ведущих предприятиях отрасли: **МАЗ, БелАЗ, КамАЗ, АвтоВАЗ**. ИПА применяется для высоконагруженных узлов, работающих в условиях интенсивного износа и циклических нагрузок.

→ Коленчатые валы

Повышение усталостной прочности шеек и шатунных головок

→ Шестерни и зубчатые колёса

Увеличение ресурса зацепления, снижение шума и вибраций

→ Штамповая оснастка

Рост стойкости пресс-форм и вырубных штампов в 2–5 раз

Ключевые показатели

1300

HV микротвёрдости

Предел для нитридной зоны

5x

Рост ресурса

Для высоконагруженных узлов

Итог: ИПА—экологически чистая и высокоточная замена традиционной цементации и цианирования, обеспечивающая комплексное упрочнение поверхности без термических деформаций.