

5. ИОННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ

Химико-термическая обработка (ХТО) относится к довольно распространенным видам термической обработки сталей и сплавов. Конечная цель химико-термической обработки состоит в обеспечении требуемых свойств поверхностного слоя: повышении твердости, износостойкости, жаростойкости, сопротивления коррозии и ряда сопутствующих характеристик, например увеличения предела выносливости. Как правило, реализация химико-термической обработки требует применения специальных приспособлений, а иногда и специализированного оборудования. К тому же это довольно длительный процесс, связанный с диффузией легирующих элементов на достаточную глубину. Поэтому совершенствованию технологии химико-термической обработки сталей и сплавов и необходимого для ее реализации оборудования всегда уделялось значительное внимание. К перспективным способам химико-термической обработки следует отнести ионное азотирование.

Ионное азотирование проводят в тлеющем разряде разреженной азотсодержащей атмосферы (аммиак или хорошо очищенный азот) при подключении обрабатываемой детали к отрицательному электроду (катоду); при этом анодом является контейнер установки. Между деталью (катодом) и анодом возбуждается тлеющий разряд и положительные ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают ее до температуры ХТО. Для реализации этого процесса на ММПП «Салют» совместно с МГТУ им. Баумана была создана опытно-промышленная установка.

На рис. 45 приведена функциональная схема опытно-промышленной установки азотирования сталей и сплавов. Установка ионного азотирования состоит из следующих деталей, узлов и систем: газоразрядной камеры 1, вакуумного механического насоса 7, адсорберов с цеолитом 10 и медной стружкой 11, баллонов с газом 9, систем газопроводов, электропитания, контроля и регулирования параметров ионного азотирования. Установки для ионного азотирования автоматизированы. Система автоматизации позволяет по заданной программе проводить нагрев деталей, регулировать давление газа и температуру, автоматически отключать установку.

Механизм ионного азотирования иллюстрирует рис. 46 на примере стали. Ионное азотирование осуществляется в плазме тлеющего разряда в разреженной азотсодержащей атмосфере. При пониженном давлении азотсодержащей атмосферы приложение электрического потенциала между деталями и корпусом камеры вызывает ионизацию газа. В тлеющем разряде электроды перемещаются к аноду, а положительно заряженные

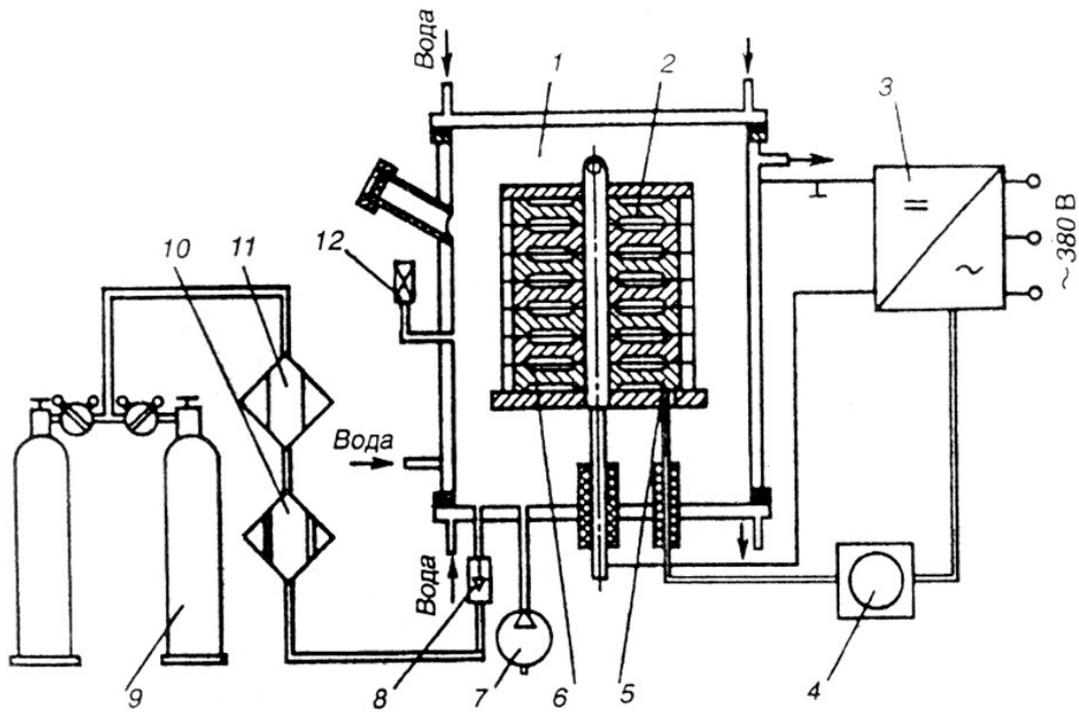


Рис. 45. Функциональная схема опытно-промышленной установки ионного азотирования: 1 – рабочая камера, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – источник питания, 4 – электронный потенциометр, 5 – термопара, 6 – образец для измерения температуры, 7 – вакуумный насос, 8 – ротаметр, 9 – баллоны с азотом и водородом, 10 – цеолит, 11 – медная стружка, 12 – вакуумный датчик.

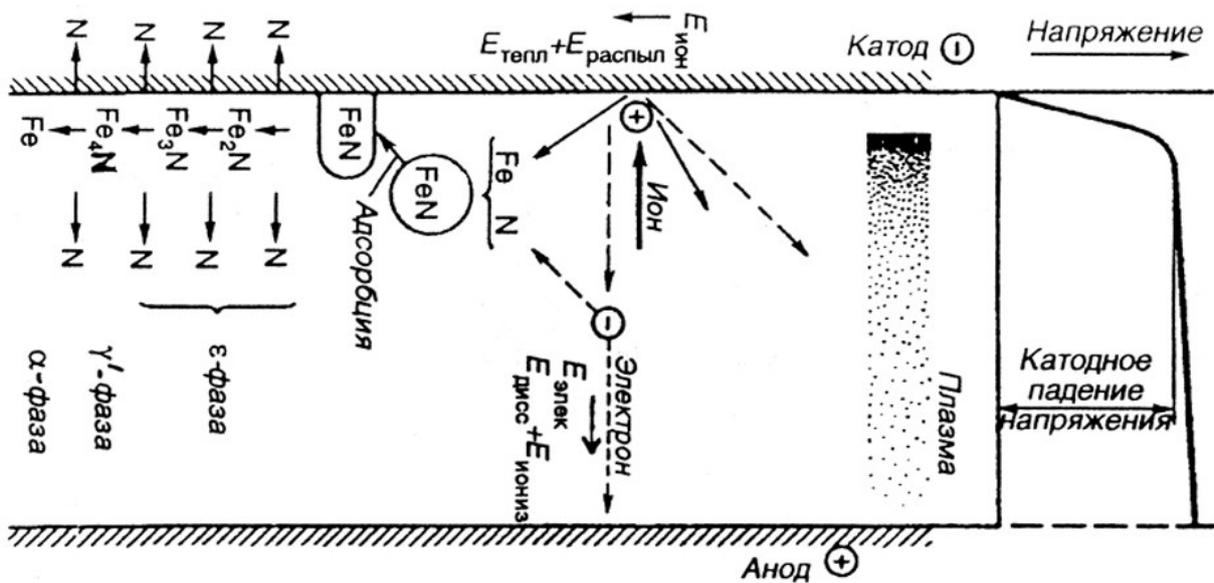


Рис. 46. Процессы, протекающие на поверхности анода и катода при ионном азотировании стали.

ионы азота бомбардируют поверхность катода (детали) и нагревают ее до температур, соответствующих заданным технологией ионного азотирования (для сталей обычно 470-580°C). Энергия ионов азота в плазме тлеющего разряда достаточно велика: при разности потенциалов в 800В она примерно в 3000 раз превосходит энергию атома азота при печном азотировании в диссоциированном аммиаке. Поэтому ионы азота не только нагревают поверхность детали, но и очищают поверхность в результате катодного распыления металла. В связи с этим процесс ионного азотирования рекомендуют проводить в две стадии: а) катодное распыление; б) собственно насыщение. Катодное распыление проводят при давлении 0,1-0,2 мм рт ст (13,3-16,6 Па), а азотирование при 1-10 мм рт ст (0,133-1,33 к Па).

Если скорость подвода ионов азота к поверхности детали сопоставима (или меньше) с диффузионной их подвижностью в металле, то на поверхности не образуется нитридный слой. В реальных условиях атомы железа соединяются с ионами азота в плазме тлеющего разряда и образуют нитрид железа FeN, который осаждается тонким слоем на поверхности деталей. Продолжающаяся бомбардировка слоя нитрида железа FeN ионами азота сопровождается формированием низших нитридов $FeN \rightarrow Fe_3N \rightarrow Fe_4N$ и твердого раствора азота в α -железе. Азот, образовавшийся при распаде низшего нитрида железа диффундирует вглубь детали и железо вновь распыляется в плазму.

Бомбардировка поверхности детали ионами азота высокой энергии приводит к образованию в поверхностном слое большего количества дефектов кристаллического строения, что вызывает сильное ускорение диффузионных процессов. Глубина газонасыщенного слоя при ионном азотировании существенно больше, чем при традиционном напылении детали азотом. (рис. 47). В итоге длительность ионного азотирования сталей может быть в 2-3 меньше, чем при печном нагреве, для достижения того же результата.

По сравнению с традиционными способами ХТО ионное азотирование обладает следующими преимуществами:

1. Повышение производительности труда и ритмичности производства. Сокращение продолжительности обработки возможно благодаря большой скорости диффузионного насыщения, а также значительного уменьшения времени нагрева и охлаждения садки. При ионном азотировании титановых сплавов продолжительность обработки при высоких температурах (>800°C) сокращается в 10-15 раз, а при низких, соответствующих температуре старения $\alpha+\beta$ -сплавов, в 8-10 раз.

2. Возможность регулирования в широких пределах режимов азотирования с целью оптимизации структуры и свойств диффузионного слоя и зоны соединения с учетом условий эксплуатации конкретных изделий.

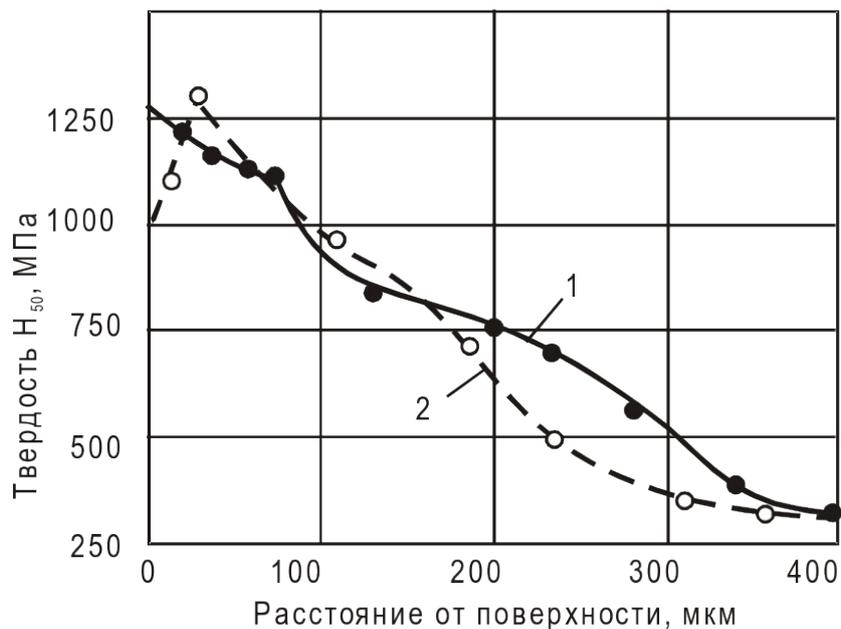


Рис. 47. Изменение микротвердости по глубине диффузионного слоя после ионного (1) и печного (2) азотирования стали 38Х2МЮА при температуре 500°С, продолжительность: 12 ч – ионное, 45 ч – печное азотирование.

3. Снижение хрупкости азотированного слоя. При ионном азотировании отсутствуют нитридные выделения по границам зерен, так как в этом процессе транскристаллитная диффузия протекает почти с такой же скоростью, как и межкристаллитная.

4. Уменьшение деформации детали в процессе обработки; ее можно свести к нулю. При ионном азотировании сохраняются геометрические размеры детали. В итоге появилась возможность химико-термической обработки деталей, прошедших все стадии механической обработки, включая шлифование до азотирования.

5. Сохранение высокой чистоты обработки поверхности. Шероховатость поверхности при ионном азотировании может даже уменьшиться в результате ионной бомбардировки и катодного распыления. В связи с этим можно исключить финишные операции.

6. Исключение дополнительной депассивации поверхности; при ионном азотировании очистка поверхности от оксидной пленки достигается предварительным катодным распылением.

7. Простота защиты от азотирования неупрочняемых поверхностей. Защита поверхностей от насыщения обеспечивается с помощью металлических экранов. При этом исключается необходимость нанесения и удаления трудоемких защитных покрытий.

8. Уменьшение удельного расхода электроэнергии. Только благодаря исключению затрат на нагрев футеровки, муфеля и т.п. расход электроэнергии сокращается в 1,5 – 2 раза.

9. Сокращение расхода газа в 30-50 раз, что обусловлено прежде всего низким давлением азотсодержащих сред.

10. Экологическая безопасность обработки, что связано с применением маловодородной или безводородной газовой среды.

11. Расширение организационно-технических возможностей процесса. Ионное азотирование можно легко и эффективно контролировать с помощью современных средств автоматизации, в том числе и с применением ЭВМ.

12. Универсальность процесса. Ионным азотированием можно упрочнять разнообразные материалы: стали, титановые сплавы, тугоплавкие металлы и их сплавы.

На ММПП «Салют» ионное азотирование успешно используется для поверхностного упрочнения деталей более 200х наименований (различные зубчатые колеса, червяк, ось, поршень, втулка, всевозможные детали крепления) газотурбинных двигателей. При этом ионному азотированию подвергают окончательно изготовленные детали. Это обусловлено тем, что после ионного азотирования максимальной твердостью обладает поверхностный слой, а после печного азотирования подповерхностный (см. рис. 47). Окончательная обработка деталей перед ионным азотированием проводится с учетом припусков на изменение размеров деталей в результате насыщения их азотом.

На ММПП «Салют» впервые в отечественном авиационном двигателестроении были начаты работы по разработке технологии ионного азотирования режущего инструмента. В этих исследованиях были показаны преимущества ионного азотирования пластин из быстрорежущих сталей P6M5, P9M4K8, P9K5 и P18 перед другими методами упрочнения. После ионного азотирования режущий инструмент обладает повышенной поверхностной твердостью, теплостабильностью, износостойкостью, в связи с чем его можно применять при обработке деталей при более жестких режимах резания с большей производительностью. Так, в частности, стойкость протяжек и фрез из быстрорежущих сталей возрастает в 2-4 раза по сравнению со стойкостью неазотированного инструмента. Ионное азотирование является эффективным способом повышения стойкости горячештамповочного инструмента.

При азотировании титановых сплавов на поверхности образуется поверхностный нитридный слой высокой твердости (1700-2000 HV), под ним обогащенный азотом альфирированный слой. Нитридный слой имеет красивый золотистый цвет, но он хрупок, в связи с чем его толщина должна быть сведена к минимуму. Поэтому ионное азотирование проводят при возможно меньшем парциальном давлении азота в газовой среде.

Для титановых сплавов применяют два вида ионного азотирования: высокотемпературное и низкотемпературное. Высокотемпературное ионное азотирование проводится при температурах 800°C и выше. Основная цель этого вида азотирования –

повышение сопротивления абразивному износу при сохранении коррозионной стойкости и геометрических параметров деталей. Высокотемпературное азотирование применяют в основном к α - и псевдо- α -сплавам, не упрочняемым закалкой и старением. Эту обработку используют также для $\alpha+\beta$ -сплавов, если к их механическим свойствам не предъявляются особо высокие требования. Наиболее рациональная температура ионного азотирования α -, псевдо- α - и $\alpha+\beta$ -сплавов - 900°C.

Низкотемпературное ионное азотирование проводят при температурах 500-800°C при небольших выдержках. Основное назначение этого вида азотирования – повышение сопротивления абразивному и эрозионному изнашиванию при сохранении высокого уровня механических свойств сплавов. В этом случае перед азотированием детали подвергают закалке и старению. Наиболее приемлемая температура низкотемпературного ионного азотирования - 600°C.

Эффективность применения ионного азотирования для повышения износостойкости титановых сплавов подтверждается следующим примером. На ММПП «Салют» зубчатое колесо и шестерня из титанового сплава ВТ9 были подвергнуты ионному азотированию по рациональным режимам, обеспечивающим диффузионный поверхностный слой толщиной 0,3 мм. Объектом сравнения послужила аналогичная пара после обычной термической обработки без ионного азотирования. Испытания на износ проводили при удельной нагрузке 500 МПа, скорость 0,25 м/с, смазка – «Эра». Потеря массы в зубчатой паре составила (в г):

	после ионного азотирования	без азотирования
шестерня	0,1382	0,4023
зубчатое колесо	0,0085	0,1556

Ионное азотирование привело к повышению износостойкости сплава ВТ9 в 3-18 раз.

Приведенные результаты свидетельствуют о перспективности применения ионного азотирования в двигателестроении.

В заключение следует отметить, что новые описанные в настоящем пособии методы воздействия на строение, структуру и состав поверхности твердых тел находятся еще в стадии развития и становления. Они создавались не как технологические методы термической обработки, а как новые физические способы модифицирования поверхностей твердых тел. Нет сомнений в том, что разработка специализированного оборудования для термической обработки металлов и сплавов высококонцентрированными источниками энергии обеспечит экономически эффективное использование этих способов в технологических процессах термической обработки.