

продуктивности на 30 %. Максимальный экономический эффект дало щелевание осенью зяби под картофель. Установлено, что срок последствий глубокого рыхления и щелевания достигает 2...3 года [9; 10].

Особое значение ликвидации переуплотнения подпахотных горизонтов придается в зонах орошаемого земледелия, так как многолетняя обработка почвы на постоянную глубину, применение тяжелой мобильной техники, естественная усадка почвы при многократных поливах создают уплотненную «плужную подошву», которая препятствует проникновению поливной воды к корням растений. В результате снижение урожая достигает 40 % при значительном увеличении материальных и водных ресурсов. При плотности подпочвы 1,5...1,6 г / см до 80 % корневой системы хлопчатника в орошаемой зоне находится в верхних слоях, что отрицательно влияет на рост и развитие растений [5].

**Заключение.** Для разуплотнения переуплотненных пахотных и подпахотных слоев почвы, а также для борьбы с водной эрозией на склоновых землях эффективно глубокое (до 0,7 м) рыхление и щелевание с помощью глубокорыхлителей-щелевателей. Для широкого применения этого агротехнического приема необходимо начать выпуск таких орудий.

#### Список цитируемых источников

1. Глубокое рыхление и щелевание эродлируемых, уплотненных и временно переувлажненных почв : рекомендации / сост. Р. Л. Турецкий [и др.]. — Минск : ЦНИИМЭСХ, 1988. — 125 с.
2. Извеков, В. П. Предотвратить экологическую катастрофу / В. П. Извеков // Земледелие. — 1991. — № 4.
3. Казаков, В. П. Глубокое рыхление тяжелых почв / В. П. Казаков // Осушение тяжелых почв. — М. : Колос, 1981.
4. Ходовая система — почва — урожай / И. П. Ксеневич [и др.]. — М. : Агропромиздат, 1985.
5. Мухамеджанов, М. В. Корневая система и урожайность хлопчатника / М. В. Мухамеджанов // Хлопководство. — 1963. — № 5.
6. Депрессия урожая сельскохозяйственных культур при уплотнении почвы и приемы ее снижения / А. И. Пупонин [и др.] // сб. науч. тр. ВИМа. — Т. 118. — М., 1988.
7. Русанов, В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В. А. Русанов. — М. : ВИМ, 1998.
8. Сальников, В. К. Пути повышения мощности корнеобитаемой зоны / В. К. Сальников // Сел. хоз-во за рубежом. Растениеводство. — 1977. — № 5.
9. Саранин, К. И. Методика полевых исследований почвы при глубоком рыхлении / К. И. Саранин, В. Н. Шептухов // Вестн. с.-х. науки. — 1985. — № 4.
10. Тома, Д. Методы и машины для глубокого рыхления почвы // Доклад № 95 / Д. Тома ; Европейская экономическая комиссия ООН. — Нью-Йорк, 1978. — Т. 82.
11. Научные основы экологически безопасных технологий обработки почвы : сб. науч. тр. ВАСХНИЛ / А. П. Щербаков [и др.]. — М. : Агропромиздат, 1991.

УДК 621.785.5

М. Ю. Колядко, С. А. Саханько, М. Н. Босяков

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ОСОБЕННОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ И ФОРМИРОВАНИЯ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ

**Введение.** Метод ионно-плазменного азотирования является одним из наиболее динамично развивающихся направлений химико-термической обработки в индустриально развитых странах. Широкое применение данный метод нашел в авто- и машиностроении.

Ионно-плазменное азотирование — это химико-термическая обработка деталей машин, инструмента, штамповой и литейной оснастки, обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя стали и чугуна азотом в азотосодержащем тлеющем разряде при температуре 350—700 °С и давлении 150—1 000 Па. Технологическими факторами, влияющими на эффективность ионного азотирования, являются температура процесса, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси [1].

Данная работа посвящена анализу факторов, влияющих на изменение качества поверхности обрабатываемого инструмента и на достижение оптимальных параметров упрочненного слоя. Таким образом, несмотря на достаточно широкое применение технологии ионного азотирования в промышленных условиях, существует ряд проблем, требующих более детального рассмотрения: возможность азотирования без изменения исходного качества поверхности; параметры упрочненного слоя исходя из условий работы инструмента.

Исследование проводилось на установке ионного азотирования с камерой дверного типа модели УА-25-400/400 производства ФТИ НАН Беларуси, расположенной в лаборатории высокоэнергетических методов упрочнения в учреждении образования «Барановичский государственный университет» (рисунок 1).



Рисунок 1 — Установка ионно-плазменного азотирования

Установка имеет вакуумную камеру дверного типа с экранной теплоизоляцией, т. е. с холодными стенками. Это означает, что температура первого от садки экрана находится в определенной зависимости от температуры садки и ее значение на 10—110 °С меньше температуры садки. Таким образом, можно считать, что камера имеет «пассивную» горячую стенку, температурой которой, как в установках с горячими стенками, управлять нет возможности, т. е. температура внутреннего экрана находится в определенной взаимосвязи с температурой садки, которая определяется мощностью разряда. Рабочие габариты камеры: диаметр катода — 400 мм, высота загрузки — 400 мм. Технологические возможности установки ионного азотирования позволяют задавать различные параметры процесса обработки температура, продолжительность насыщения, давление, состав и расход рабочей газовой смеси [2].

Глубину азотированного слоя определяют по микрошлифу образца-свидетеля или образца, вырезанного из детали. Контрольные образцы-свидетели должны быть изготовлены из марки стали обрабатываемых изделий и подвержены такой же предварительной термической обработке, как и основная деталь или инструмент.

Следует иметь в виду, что на шлифованной поверхности глубина слоя может быть больше, чем после фрезерования, точения или зубодолбления, что связано с образованием на поверхности в первом случае растягивающих остаточных напряжений, облегчающих диффузию азота, в отличие от сжимающих напряжений во втором случае, при котором диффузия азота затруднена. Эти факторы следует учитывать при контроле качества азотирования различных изделий, прошедших разную механическую обработку.

**Основная часть.** Известно, что при ионном азотировании имеет место распыление поверхности, интенсивность которого зависит от величины плотности тока и катодного падения потенциала [2]. Ионы в катодном слое приобретают энергию только на длине свободного пробега, т. е. когда не происходит их перезарядка на атомах или молекулах [3]. Поэтому, чем выше давление в камере и чем меньше приложенное к катоду напряжение, тем меньшую энергию могут приобрести ионы и, соответственно, тем менее эффективно будет происходить распыление, а следовательно, и изменение шероховатости поверхности.

Ионно-плазменному азотированию могут подвергаться детали из самых разных марок стали, а количество поглощенного сталию азота, тип и количество выделившихся нитридов определяют степень повышения твердости стали при азотировании. Перепад твердости «поверхность—сердцевина» тем резче, чем выше в стали содержание нитридообразующих легирующих элементов (Ti, Al, Cr, V, Mo, Si), причем некоторые элементы — Ti, Cr, W, V, Mo — увеличивают растворимость азота в  $\alpha$ -твердом растворе  $\alpha$ -Fe<sub>лег.</sub>, Ni и Si — снижают ее (Al — не изменяет растворимость).

Параметром, характеризующим интенсивность процесса ионного азотирования, является плотность потока диффундирующего в сталь азота, которая является функцией параметров разряда (плотности тока и напряжения) и заданного расхода и может изменяться в ходе процесса. Время  $\tau$ , в течение которого азот будет эффективно поглощаться поверхностью деталей без образования белого слоя.

Регулирование строения азотированного слоя при ионно-плазменном азотировании достигается изменением плотности потока азота в плазме, поддерживая который на уровне растворимости азота в той или иной фазе ( $\alpha$ ,  $\gamma'$ ) можно получать азотированный слой, состоящий только из  $\alpha$ -твердого раствора, либо слой, состоящий из  $\gamma'$ -нитридного слоя и диффузионного подслоя.

Для каждой марки стали существует определенный диапазон значений плотности потока азота, обеспечивающий предельную концентрацию азота в  $\alpha$ -твердом растворе — при этом на поверхности не образуется  $\gamma'$ -слой, характеризующийся низкой диффузионной подвижностью азота. Получение на поверхности стали предельной (по растворимости) концентрации азота  $\text{CaN}$  обеспечивает ускоренный рост зоны внутреннего азотирования.

Стойкость азотированного инструмента из быстрорежущей стали — сверл, фрез, протяжек, разверток, метчиков, плашек — повышается, если глубина азотированного слоя не превышает величину 30 мкм, а слой является чисто диффузионным, без нитридных соединений. Такие характеристики азотированного слоя обеспечиваются обработкой при температуре 450—520 °С в течение 10—60 минут в зави-

симости от типа инструмента; при этом твердость поверхности повышается до уровня 1 000—1 200 HV, а твердость сердцевины на уровне 800—900 HV полностью сохраняется.

Мелкодисперсные нитриды легирующих элементов, формирующиеся при азотировании, способствуют росту теплостойкости быстрорежущих сталей. Для стали P9M5 теплостойкость возрастает на 30—40 °С при глубине азотированного слоя 10—15 мкм и на 70 °С — при глубине азотированного слоя до 30 мкм. Увеличение стойкости азотированного инструмента до двух и более раз имеет место и при резании труднообрабатываемых сплавов.

Для ковочных штампов, изготовленных из сталей 4X5MФС и 4X5MФ1С, рекомендуется азотированный слой, состоящий из нитридного  $\gamma'$ -слоя глубиной до 4—6 мкм и диффузионного слоя глубиной до 0,3 мм. Азотированный слой с такими характеристиками обеспечивает увеличение срока эксплуатации штампов в 2—10 раз и более. Такой режим азотирования хорошо зарекомендовал себя при эксплуатации литейных пресс-форм и матриц для выдавливания.

Для штампов, изготовленных из сталей с высокой теплостойкостью (типа 4X2B5MA), поверхность которых в процессе эксплуатации нагревается до 700 °С, рекомендуются слои глубиной до 0,2—0,25 мм, формируемые при температуре азотирования 560—570 °С.

В случае молотовых штампов используются стали умеренной теплостойкости и повышенной вязкости типа 5XНМ, а еще лучше — более высоколегированные типа 5XН2МФ. Азотирование таких штампов проводится при температуре 400—500 °С. Если же в процессе работы выход инструмента из строя характеризуется дополнительно наличием микротрещин, выкашиванием и т. п., то необходим чисто диффузионный слой без слоя нитридных соединений.

**Заключение.** Разогрев должен быть в щадящем режиме с низкой скоростью и в безазотной среде; кроме того, добавка водорода также должна быть невелика, чтобы не допустить обезуглероживания. Длительность выдержки и температура насыщения должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить максимальное повышение износостойкости, а это значит, что для разных деталей — метчики, сверла, фрезы — режим должен быть свой. Так как мощность разряда зависит от геометрии камеры, температуры процесса и степени загрузки камеры, то на выдержке должна быть такая газовая смесь, которая исключит образование белого слоя в течение времени выдержки.

#### Список цитируемых источников

1. Саханько, С. А. Технологические особенности ионного азотирования изделий из инструментальных сталей для горячей и холодной обработки / С. А. Саханько, М. Н. Босяков, М. В. Нерода // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. — 2018. — № 4. — С. 13—15.
2. Саханько, С. А. Эффективность применения метода ионного азотирования для упрочнения изделий из стали 13X14N3B2ФР-Ш / С. А. Саханько, М. Н. Босяков, М. В. Нерода // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. — Кн. 2 : Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. — С. 235—243.
3. Исследование влияния концентрации легирующих элементов и температуры в процессе ионно-плазменного азотирования на прирост твердости сталей 4X5MФС, P6M5 и 13X / С. А. Саханько [и др.] // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. — 2017. — № 4. — С. 43—46.

УДК 631.158

Е. А. Конопля, А. В. Савинцев

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### «УМНОЕ ФЕРМЕРСКОЕ ХОЗЯЙСТВО» В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**Введение.** Технологии мира развиваются очень быстро, и не далек день, когда все будет роботизировано. На территории Беларуси много разнообразных разработок, связанных с новыми технологиями. В сельском хозяйстве можно увидеть беспилотный трактор, автокормушки, чипирование животных для отслеживания их передвижения и состояния здоровья и т. д. Цель «умного фермерского хозяйства» — объединить технологии сельского хозяйства на благо общества и сделать его более автоматизированным.

**Основная часть.** В мае 2018 г. было представлено четыре модели беспилотных тракторов. Для создания «умного фермерского хозяйства» подошла бы небольшая модель, которая смогла бы выполнять базовые действия на поле, такие как посевные и поливные работы, вспашка и т. п. Для этого можно использовать модель трактора «Беларус-82.1», который хорошо себя показал во время тестовых испытаний. Две или три модели трактора на одно хозяйство для начала будет достаточно. Для управления таким количеством тракторов нужен один оператор [1].

Применение квадрокоптеров либо беспилотных летательных аппаратов на территории Беларуси еще не сильно развито, но над этим ведутся разработки учеными из различных учреждений образования.