

КАТОДНО-ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ СО СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.А. ФЕДОРОВ, Е.В. РЫКОВА, Е.С. КИСЕЛЁВА

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: aleksf52@mail.ru*

Для повышения долговечности и надёжности оборудования в современном машиностроении широко используется химико-термическая обработка (ХТО), обеспечивающая высокое сопротивление износу, коррозии и повышающая сопротивление усталостному разрушению. К недостаткам применяющегося процесса ХТО в разряде можно отнести проблему ХТО изделий со сложной конфигурацией поверхности. Целью исследования является разработка технологического процесса позволяющего получать равномерное диффузионное покрытие при ХТО в разряде изделий со сложной конфигурацией поверхности. Для достижения поставленной цели решались задачи по оптимизации ХТО в самостоятельном и несамостоятельном тлеющем разряде, как на постоянном токе, так и в импульсном режиме. Показано, что традиционное ионное азотирование (азотирование в самостоятельном тлеющем разряде) обеспечивает равномерный диффузионный слой на изделиях с макрорельефом превышающем 2мм. Азотирование в несамостоятельном тлеющем разряде в условиях низкого давления (катодно-плазменное азотирование) позволяет получать равномерный диффузионный слой и на изделиях с макрорельефом меньшим 2мм. Рекомендуется комбинированный режим катодно-плазменного азотирования на постоянном токе и в импульсном режиме.

Ключевые слова: химико-термическая обработка в газовом разряде, сложная конфигурация поверхности, равномерное покрытие.

Для современного машиностроения характерно непрерывно растущая энергонапряжённость и тяжёлые условия эксплуатации машин. Для повышения долговечности и надёжности машин используется химико-термическая обработка (ХТО), обеспечивающая высокое сопротивление износу, коррозии и повышающая сопротивление усталостному разрушению деталей машин. Одной из перспективных упрочняющих технологий является катодно-плазменное азотирование в условиях низкого давления (ионное азотирование в несамостоятельном тлеющем разряде) [1]. С помощью ионного азотирования можно в широких пределах менять микротвёрдость, остаточные сжимающие напряжения, фазовый состав поверхностного слоя и повышать предел выносливости углеродистой стали на 40-60% [2]. К недостаткам применяющегося процесса ионного азотирования на постоянном токе можно

<http://ntk.kubstu.ru/file/278>

отнести проблему азотирования изделий со сложной конфигурацией поверхности.

Неравномерность азотированного слоя на деталях со сложной конфигурацией поверхности, в случае ионного азотирования, обусловлена неравномерностью напряженности электрического поля и градиентом температуры. Особенности насыщения в самостоятельном тлеющем разряде свидетельствует о том, что неотъемлемой частью существования разряда, а следовательно и процесса ионного азотирования, является область катодного падения потенциала. Следовательно геометрические размеры этой области разряда и будут определять геометрические размеры равномерно азотируемого рельефа обрабатываемой поверхности. Увеличением давления уменьшается протяженность области катодного падения потенциала, при этом разряд более полно облегает деталь, повторяя ее контуры, что приводит не только к ускорению процесса, но и к образованию слоя равномерной глубины.

На рис.1а изображен результат катодно-плазменного азотирования прямоугольных канавок на боковой поверхности шайбы из стали 45, а на рис.1б аналогичных канавок после ионного азотирования в самостоятельном тлеющем разряде. Из сопоставления рисунков 1а и 1б следует, что ионное азотирование целесообразно применять, если геометрические размеры рельефа поверхности превышают 2 мм, в противном случае азотированный слой на макрорельефе поверхности отсутствует. Способ катодно-плазменного азотирования позволяет получить неравномерный слой на макрорельефе с геометрическими размерами порядка 4 мм, однако он позволяет равномерно азотировать дно прямоугольных канавок шириною 1 мм и менее. Следует отметить, что в отличие от ионного, способ катодно-плазменного азотирования формирует равномерно

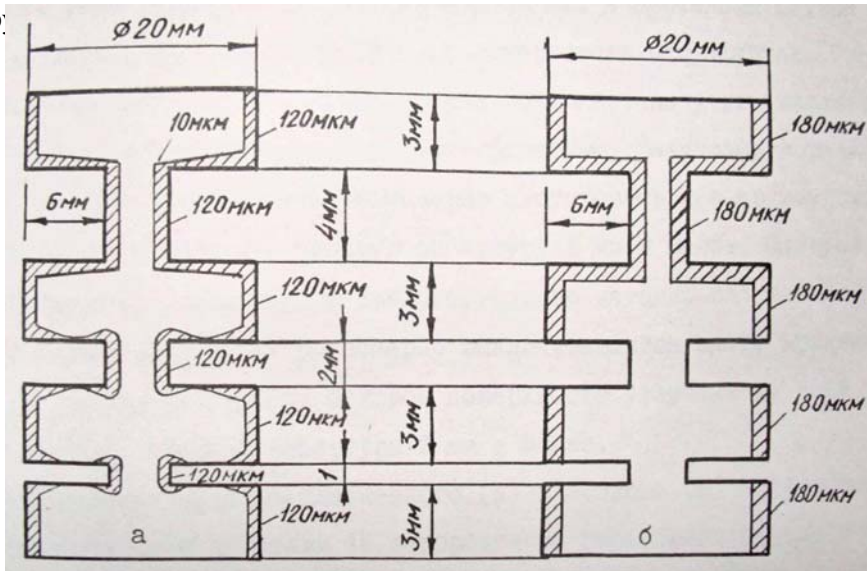


Рис.1а

Рис.1б

выклинивающийся слой, проникающий на небольшую глубину боковой поверхности прямоугольных канавок ширина которых 2 мм и менее.

Результат катодно-плазменного (а) и ионного (б) азотирования круглых глухих отверстий на стали 45 изображен на рис.2.

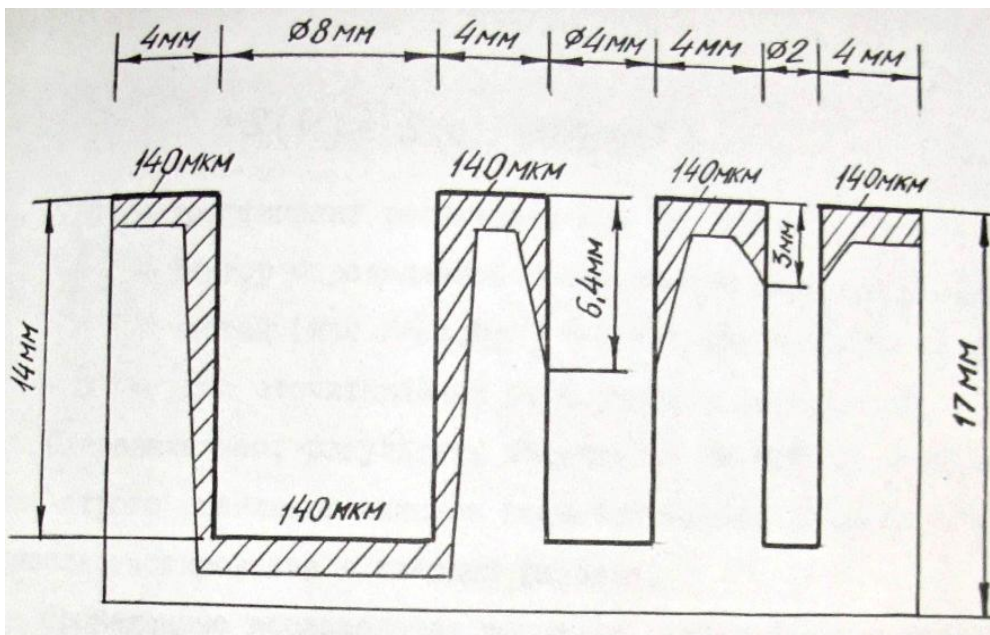


Рис.2а

Способ ионного азотирования, так же как и в предыдущем случае, позволяет получить равномерный слой на отверстиях диаметр которых превышает 2 мм. В случае катодно-плазменного азотирования наблюдается отличная от предыдущего случая картина. Дно углублений азотируется при диаметре отверстия более и равном 8 мм, при этом неравномерный азотированный слой на боковой поверхности появляется также при больших

геометрических размерах входных отверстий. Это различие становится понятным, если учесть, что на дно канавки на боковой поверхности цилиндра (рис.1а) ионный поток может падать под любым углом, вследствие отсутствия геометрических ограничений в одном измерении.

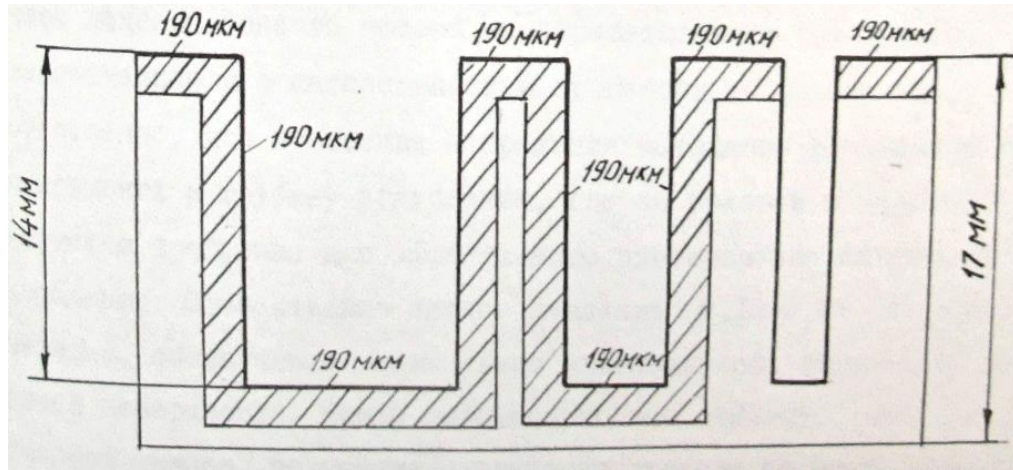


Рис.2б

Следовательно, результаты полученные на круглых глухих отверстиях дают более строгую оценку влияния геометрического рельефа на равномерность азотирования в тлеющем разряде. Проведенные исследования показали, что наилучшая равномерность покрытия, при прочих равных условиях, достигается при напряжении катодно-плазменного азотирования 2000 В и давления азота 0,13-0,27 Па. Интенсивность диффузионных процессов связана с углом падения ионного потока на обрабатываемую поверхность, а следовательно и с интенсивностью процессов ее распыления. Коэффициент распыления поликристаллических тел существенно зависит от угла падения ионного потока и в первом приближении в рамках теории П.Зигмунда описывается выражением

$$S(\nu) = S(0)/(\cos\theta)^f,$$

где $S(0)$ – коэффициент распыления при $\theta = 0$;

f – фактор определяемый соотношением масс сталкивающихся частиц (для $\mu_1 \geq \mu_2$ $f \approx 1,7$; для $\mu_1 \leq \mu_2$ $f \approx 1$);

θ – угол отсчитываемый от нормали к поверхности.

Отсюда следует, что повышение напряжения катодного распыления должно повысить и глубину проникновения диффузионного слоя в отверстие, где на боковой поверхности, таким образом, достигается требуемая, для эффективного азотирования, интенсивность катодного распыления. Относительно низкое давление (0,13-0,27 Па) азота в камере, очевидно, обеспечивает наименьшее окисление обрабатываемой внутренней поверхности. Кроме того, необходимо отметить, что повышение напряжения горения тлеющего разряда увеличивает содержание атомарных ионов азота, что в свою очередь обуславливает повышение азотного потенциала насыщающей атмосферы и интенсифицирует диффузионные процессы.

Особенностью триодного способа катодно-плазменного азотирования является воздействие на обрабатываемую поверхность одновременно двух разрядов, а именно между изделием и нитью накала, между изделием и корпусом камеры (рис.3). Существующая схема катодно-плазменного азотирования реализует в обоих разрядах бомбардирующих поверхность изделия процесс катодного распыления. Однако, если повысить напряжение выпрямителя (5) и понизить напряжение выпрямителя (6) так, чтобы их разность составила 150-20 В, то получаем преимущества схемы распыления смещением, где разряд изделие-камера будет контролировать процесс катодного распыления, а разряд изделие - нить накала - процесс обратного катодного распыления, обеспечивая высокую концентрацию нитридов, а так же ионов азота на боковых поверхностях углублений.

Проводилось катодно-плазменное азотирование круглых глухих отверстий на стали 45 при давлении азота 0,4-0,5 Па, температуре 540 °С и напряжении между изделием и нитью накала 80 В в течение 2 часов (рис. 4). Как следует из рисунка, применение низкого напряжения между обрабатываемым изделием и нитью накала позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения и существенно повысить равномерность азотированного слоя на боковой поверхности круглых глухих

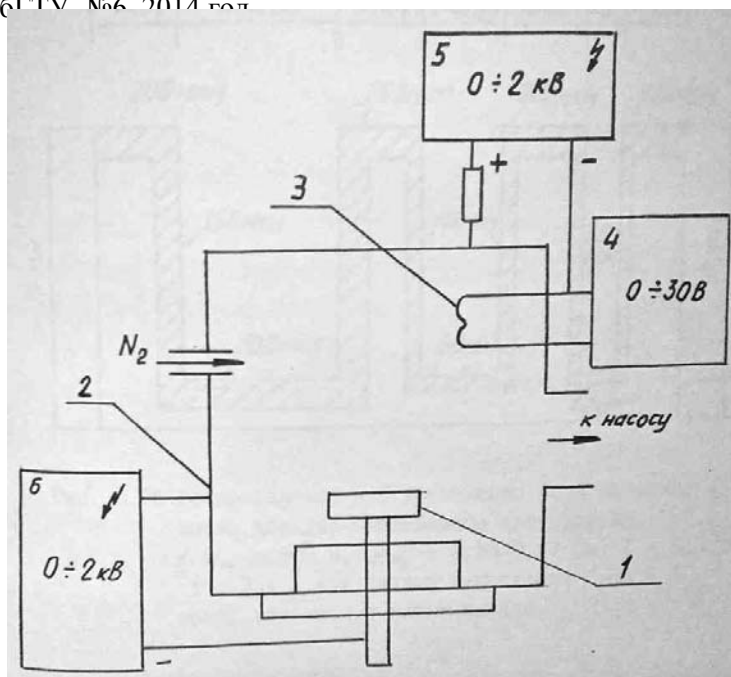


Рис. 3

1- подложка для размещения обрабатываемого изделия, 2- корпус вакуумной камеры, 3 – нить накала, 4 – источник переменного тока, питающий нить накала, 5,6 – высоковольтные источники постоянного тока.

отверстий по сравнению с известным способом катодно-плазменного азотирования (рис.2а) [3]. Другой путь повышение равномерности покрытия заключается в компенсации эффекта “полого катода”, т.е. уменьшения температурного градиента на обрабатываемой поверхности. В связи с этим были проведены эксперименты по импульсному катодно-плазменному азотированию. Была изготовлена ключевая схема модулятора постоянного тока обеспечивающая 50% модуляцию тока разряда в диапазоне регулируемых частот от 3 до 11 Гц и скважностью импульсов от 1 до 4,7. Результат азотирования круглых глухих отверстий на стали 45 полученные при скважности импульсного режима 1,8 отображены на рис.5а. При уменьшении скважности импульсного режима до 1,3 азотированный слой равномерно выклинивается на боковой поверхности углублений с диаметром выходного отверстия не только 4, но и 8 мм (рис.5б). Однако, как следует из рисунка, толщина азотированного слоя на внешней поверхности отверстий при этом становится даже меньше, чем на внутренней. Отсюда можно сделать вывод, что

температура на внутренней поверхности отверстия выше, чем на внешней, но не превышает 5900 С,

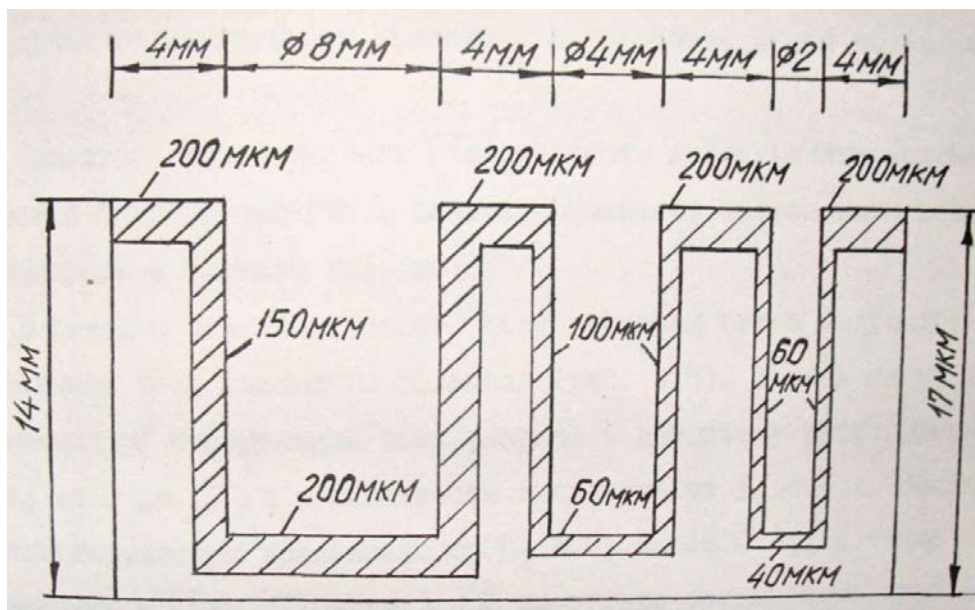


Рис. 4

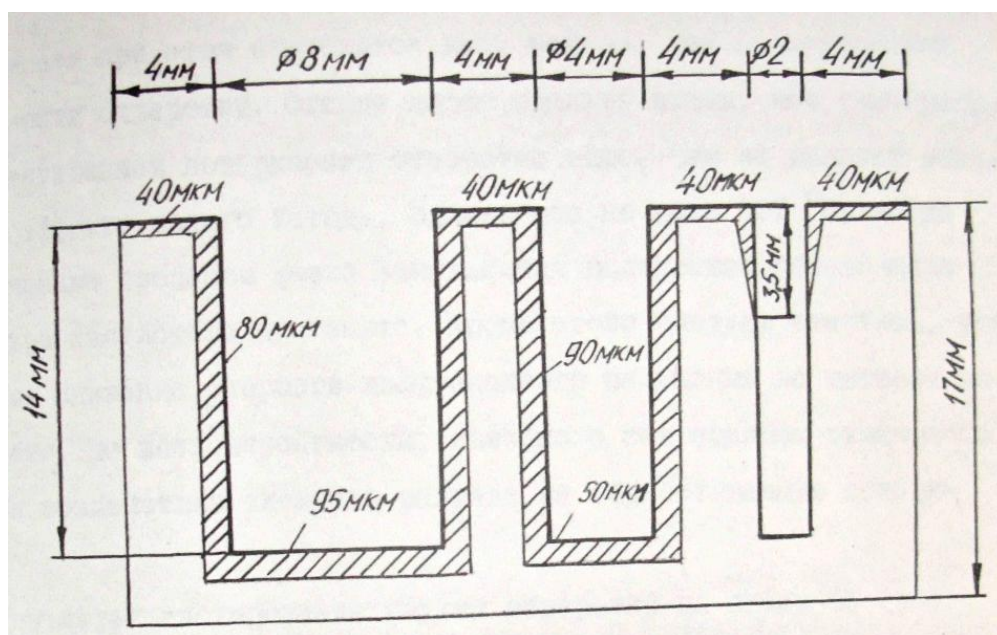


Рис. 5а

когда диффузионные процессы резко замедляются вследствие образования структуры азотистого аустенита. Кроме того, снижение скорости диффузионного насыщения на внешней поверхности связано с сокращением суммарного времени воздействия тлеющего разряда на обрабатываемую поверхность.

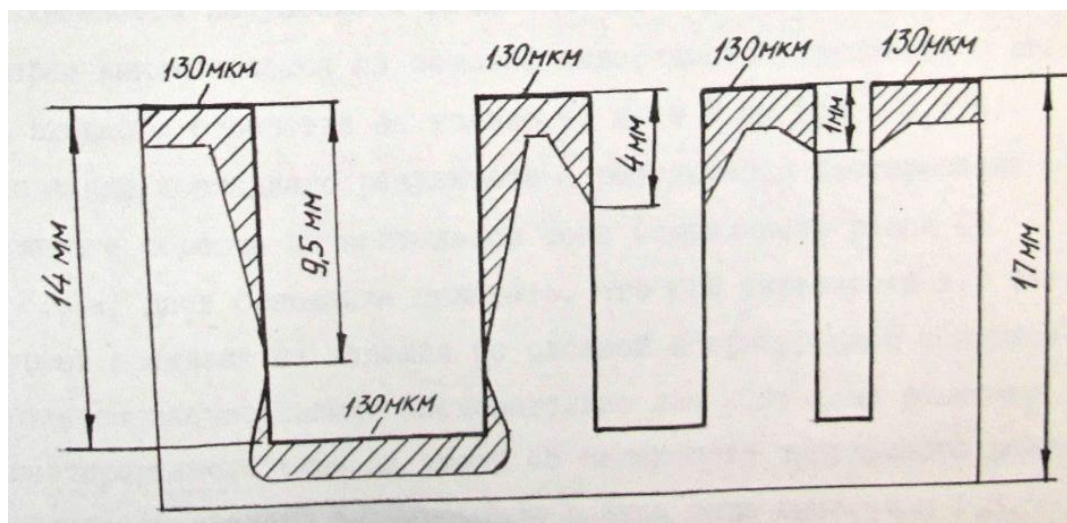


Рис. 5б

Сопоставление последнего результата с результатом азотирования аналогичного образца на постоянном токе (скважность равна 1) (рис.2а) даёт основание полагать, что при скважности 1,3 температурный градиент на изделии со сложной конфигурацией поверхности остаётся значительным. Следовательно, для получения равномерного азотированного слоя на стали 45, скважность импульсного режима катодно-плазменного азотирования должна быть выше чем 1,3. Очевидно, что скважность импульсного режима катодно-плазменного азотирования, позволяющая достичь требуемую равномерность диффузионного покрытия, будет определяться удельной теплопроводностью обрабатываемого материала и геометрическими размерами макрорельефа поверхности.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Вопрос получения равномерного диффузионного слоя в процессе азотирования деталей со сложной конфигурацией поверхности в определённой степени может быть решён, если применять схему распыления смещением при катодно-плазменном азотировании.

Импульсный режим катодно-плазменного азотирования позволяет уменьшить градиент температуры на изделиях со сложной конфигурацией поверхности, повышает равномерность азотированного слоя, но снижает скорость диффузионного насыщения.

Триодный способ импульсного катодно-плазменного азотирования позволяет в той или иной степени равномерно азотировать изделия с геометрическими размерами рельефа 2 мм и менее, что принципиально не возможно при ионном азотировании.

Можно рекомендовать применение комбинированного режима катодно-плазменного азотирования: на постоянном токе и в импульсном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. № 1536846 от 4.01.88 г. Триодный способ катодно-плазменного азотирования / Авт. Федоров А.А., Чаевский М.И.
2. Коррозионно-механические свойства сталей с бинарными покрытиями/Бледнова Ж.М., Карпов В.И., Федоров А.А., Чаевский М.И.//Защитные покрытия на металлах.-1988.-Вып.22.-С.52-54.
3. А.С. № 1574679 от 12.01.88 г. Способ азотирования нержавеющей сталей в условиях низкого давления / Авт. Федоров А.А.

REFERENCES

1. A.S. № 1536846 ot 4.01.88 g. / Avt. Fedorov A.A., Chaevskij M.I.
2. Blednova Zh.M., Karpov V.I., Fedorov A.A., Chaevskij M.I.//Zashhitnye pokrytija na metallah (Sheetings on metals).-1988.-Vyp.22.-S.52-54.
3. A.S. № 1574679 ot 12.01.88 g. / Avt. Fedorov A.A.

CATHODIC AND PLASMA NITRIDING OF PRODUCTS WITH THE DIFFICULT CONFIGURATION OF THE SURFACE

A.A. FEDOROV, E.V. RYKOVA, E.S. KISELJOVA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;
e-mail: aleksf52@mail.ru*

For increase of durability and reliability of the equipment in modern mechanical engineering the chemical heat treatment (CHT) providing high resistance to wear, corrosion and raising resistance to fatigue failure is widely used. CHT in the category it is possible to carry a problem to shortcomings of being applied process CHT products with a difficult configuration

of a surface. Research objective is development of technological process allowing to receive a uniform diffusive covering at CHT in the category of products with a difficult configuration of a surface. For achievement of a goal problems of optimization CHT in the independent and dependent smoldering category, both on a direct current, and in a pulse mode were solved. It is shown that traditional ionic nitriding (nitriding in the independent smoldering category) provides a uniform diffusive layer on products with a macrorelief exceeding 2mm. Nitriding in the dependent smoldering category in the conditions of the low pressure (cathodic and plasma nitriding) allows to receive a uniform diffusive layer and on products with a macrorelief smaller 2mm. The combined mode of cathodic and plasma nitriding on a direct current and in a pulse mode is recommended.

Key words: chemical heat treatment in the gas category, a difficult configuration of a surface, a uniform covering.