

Скаков М.К., Ерболатова Г.У.,
Манапбаева А.Б.

**Влияние плазменной
нитроцементации
на структурно-фазовое
состояние и трибологические
свойства сплава 40ХНЮ**

В данной статье исследовано структурно-фазовое состояние поверхностного модифицированного слоя, а также износостойкость сплава 40ХНЮ после плазменной нитроцементации. Установлено, что микроструктура упрочненной поверхности образцов сплава представляет с собой мелкозернистую аустенитную структуру с дисперсными включениями нерастворимых карбидов и нитридов. При нитроцементации образование частиц карбонитридных фаз по границам и внутри зерен аустенита оказывает непосредственное влияние на трибологические свойства. Показано, что на поверхности образцов сплава после нитроцементации в электролитной плазме формируется равномерный модифицированный слой толщиной около 20 мкм. Определено, что коэффициент трения после нитроцементации уменьшается почти в 4 раза по сравнению с исходным, что указывает на повышение твердости и износостойкости поверхности сплава 40ХНЮ. Установлено, что после нитроцементации в электролитной плазме повышается стойкость сплава 40ХНЮ к абразивному износу.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, нитроцементация, модифицированная поверхность, износостойкость.

Skakov M.K., Yerbolatova G.U.,
Manapbayeva A.B.

**Effect of plasma nitriding on
the structural-phase state
and tribological properties of
40CrNiAl alloy**

This article investigated the structural-phase state of the surface modified layer and the wear resistance of the alloy after plasma nitriding 40Cr-NiAl. It is found that the microstructure of the hardened surface alloy samples is austenitic with a fine-grained structure with inclusions dispersed insoluble carbides and nitrides. It was determined that the formation of particles in the carbonitriding carbonitride phases along the boundaries and within the grains of austenite has a direct impact on the tribological properties. It was shown that the surface of the samples of the alloy after the electrolytic nitriding to a evenly plasma is formed modified layer thickness of about 20 microns. It was determined that the friction coefficient decreases after carbonitriding almost 4 times compared to baseline, indicating that increasing the surface hardness and wear resistance of the 40CrNiAl alloy layer. It is found that after plasma nitriding in the electrolyte increases the resistance of the 40CrNiA alloy abrasion.

Key words: chemical and thermal processing, carbonitriding, surface-wear.

Скаков М.К., Ерболатова Г.У.,
Манапбаева А.Б.

**40ХНЮ қорытпаның
құрылымды-фазалық күйі
мен трибологиялық
қасиеттеріне плазмалы
нитроцементацияның әсері**

Берілген мақалада плазмалы нитроцементациядан кейін 40ХНЮ қорытпаның беттік модификацияланған қабатындағы құрылымды-фазалық күйі мен тозуға төзімділігі зерттелген. Қорытпа үлгілерінің қатайған бет микрoқұрылымы дисперсті кірмелерімен ерімейтін карбидтер мен нитридтерден тұратын құрылымы ұсақтүйіршікті аустениттік екені табылған. нитроцементация кезінде пайда болған карбонитридтік фазалар бөлшектері қорытпаның трибологиялық қасиеттеріне әсер етеді. Электролитті плазмадағы нитроцементациядан кейін қорытпа үлгілерінің бетінде қалыңдығы шамамен 20 мкм біркелкі модификацияланған қабаты қалыптасады деп көрсетілген. нитроцементациядан кейін үйкеліс коэффициенті бастапқы күймен салыстырғанда 4 есе азаяды, бұл қорытпаның беткі қабатының қаттылығы мен төзімділігінің артуын көрсетеді деп анықталған. Электролитті плазмадағы нитроцементациядан кейін 40ХНЮ қорытпасының абразивті төзімділігі артады.

Түйін сөздер: химия-термиялық өңдеу, нитроцементация, өзгертілген бет, тозуға төзімділік.

**ВЛИЯНИЕ
ПЛАЗМЕННОЙ
НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ
НА СТРУКТУРНО-
ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ
И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА СПЛАВА
40ХНЮ**

Введение

В настоящее время для увеличения срока службы машин, оборудования и приборов, снижения их металлоемкости большое внимание уделяется решению трибологических проблем на основе методов химико-термической обработки и разнообразных методов модифицирования поверхности изделий [1]. Наиболее перспективным, энергосберегающим методом среди них, является метод химико-термической обработки в электролитной плазме [2]. Было обнаружено, что скорость диффузии элементов в поверхностном слое при обработке в электролитной плазме значительно выше, чем при обычных процессах [3].

Несмотря на практическое применение этого метода, изменение трибологических свойств модифицированных слоев, сформированных при плазменной химико-термической обработке, еще недостаточно изучены.

В связи вышесказанным, целью настоящей работы является исследование изменений структурно-фазового состояния и износостойкости поверхностного слоя сплава 40ХНЮ при нитроцементации в электролитной плазме.

Материал и методы исследования

В настоящей работе в качестве материала исследования выбран сплав 40ХНЮ, содержащий 39–40% хрома, 3,5–3,8% алюминия, остальное – никель. Выбор сплава обоснован тем, что он относится к дисперсионно-твердеющим аустенитным сплавам, который используется в промышленности при изготовлении деталей передаточных механизмов, кернов, колец подшипников, медицинских инструментов, упругочувствительных элементов, лопаток турбины высокого давления, рабочих камер высокого давления [4].

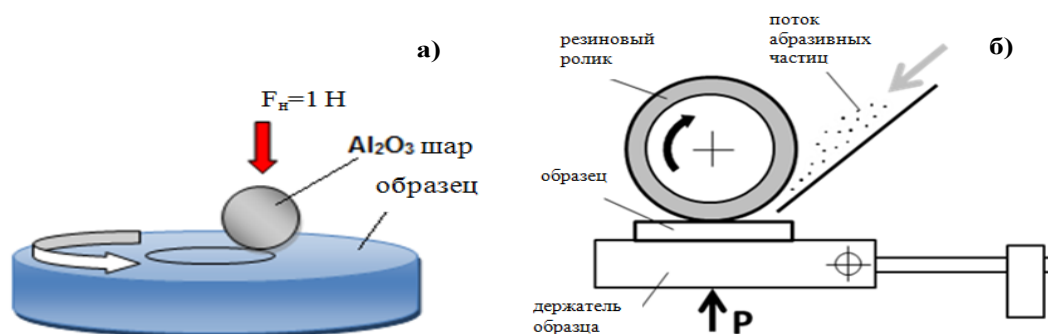
Обработку образцов сплава 40ХНЮ электролитно-плазменным методом в углеродо- и азотосодержащем электролите осуществляли на полупромышленной технологической установке, описанной в работах [5].

Таблица 1 – Технические параметры плазменной химико-термической обработки

Виды обработки	Состав электролита (%,-массовый)	$T_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	U, В	I, А	τ , мин
нитроцементация	10%-СЗН8О3, 20%-(NH ₂) ₂ СО, 10%-Na ₂ СО3	700	150	25	5; 7

Металлографический анализ проводили на оптическом микроскопе «ALTAМІ MET 1М» и на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV, оснащенным приставкой энергодисперсионного анализа. Исследование фазового состава и структурных параметров образцов сплава 40ХНЮ проводили на дифрактометре XRD-6000 на CuK α -излучении. Микротвердость поверхностных слоев образцов до и после обработки измеряли методом вдавливания алмазного индентора на приборе ПМТ-3М по методу Виккерса при нагрузке 100 г и выдержке под нагрузкой 10 с в соответствии с ГОСТ 9450–76.

Трибологические испытания на трение скольжения проводили на высокотемпературном трибометре ТНТ-S-BE-0000 по схеме «шар – диск» (рисунок 1 а). В качестве контртела использовали шарик диаметром 6,0 мм, из сертифицированного материала – Al₂O₃. Испытания проводили на воздухе (температура окружающей среды 30 $^\circ$ С, атмосферное давление 25,4 атм., влажность 44,0%) при нагрузке 1 Н и линейной скорости 2 см/сек, радиусом кривизны износа 5 мм, путь трения составлял 31,4 м. Трибологические характеристики модифицированного слоя характеризовались интенсивностью изнашивания.

**Рисунок 1** – Схема проведения испытаний образцов быстрорежущих сталей на износостойкость

Испытания образцов на абразивный износ проводили на экспериментальной установке для испытаний на абразивное изнашивание при трении о не жестко закрепленные частицы абразива по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 2 показаны микроструктуры поверхностного слоя сплава до и после нитроцементации. Микроструктура в исходном состоянии (после закалки при $T=1200^\circ\text{C}$ (10мин)) имеет неоднородную разнотельную структуру аустенита (рис.2, а). На некоторых участках крупные зерна аустенита окружают область более мелких зерен. Вследствие образования такой крупнозернистой структуры снижаются прочностные

свойства, износостойкость, повышается склонность к хрупкому разрушению. При исследовании структуры приповерхностных слоев образцов сплава 40ХНЮ, подвергнутых обработке в электролитной плазме, обнаружены структурные изменения. Наблюдается рост дисперсных карбидов, появление нитридных частиц (рис. 2, б, в). Таким образом, микроструктура упрочненной поверхности образцов сплава представляет собой мелкозернистую аустенитную структуру с дисперсными включениями нерастворимых карбидов и нитридов.

Микроструктура диффузионного слоя сплава 40ХНЮ показана на рисунке 3. Видно, что на поверхности образцов сплава после нитроцементации формируется нитридная зона глубиной 15-20мкм. Слой распределен по всей нагреваемой поверхности сплава равномерно.

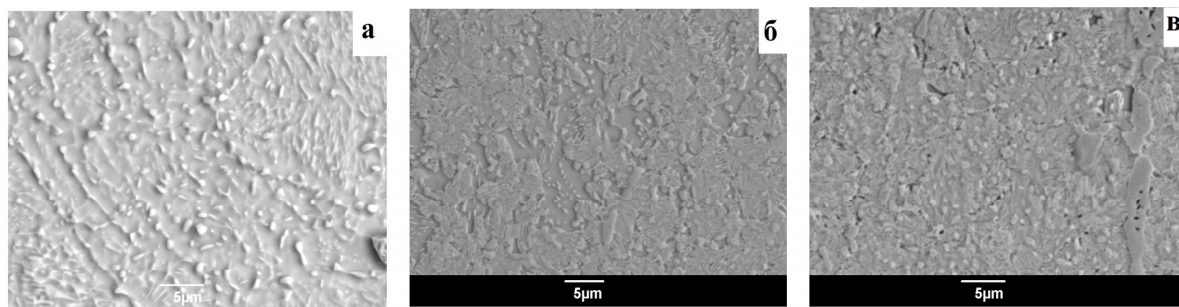


Рисунок 2 – Микроструктура поверхности сплава 40XНЮ:
 а – исходное состояние (после закалки 1200°C (10 мин));
 б – после нитроцементации при температуре 700°C (5 мин) и в – при температуре 700°C (7 мин)

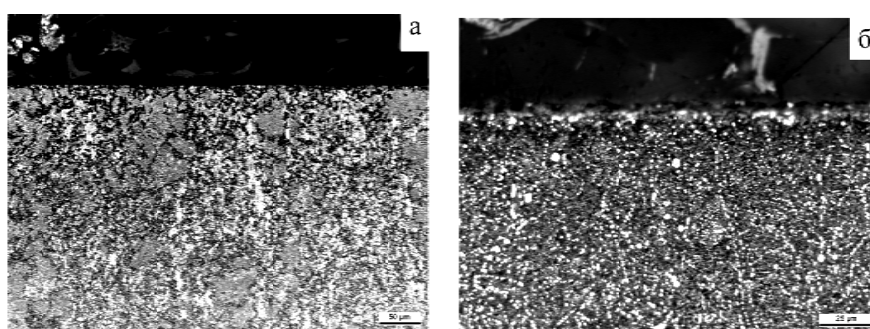


Рисунок 3 – Микроструктура диффузионного слоя сплава 40XНЮ
 после нитроцементации при температуре 700°C

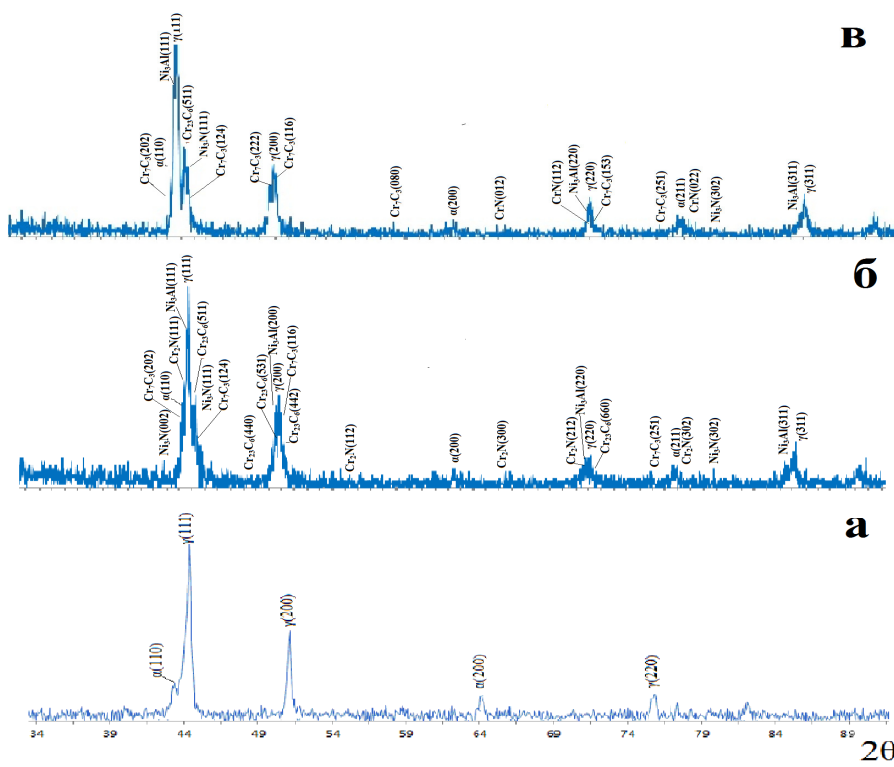


Рисунок 4 – Рентгеновская дифрактограмма сплава 40XНЮ: а – после закалки 1200°C (10 мин);
 б – после обработки при температуре 700°C (5 мин) и в – при температуре 700°C (7 мин)

По данным рентген-фазового анализа выяснено, что на поверхности сплава 40ХНЮ после нитроцементации имеются γ' -фаза (Ni_3Al) и фазы Ni_3N , CrN , Cr_2N , Cr_7C_3 и $Cr_{23}C_6$. За счет образования этих упрочняющих фаз после обработки в электролитной плазме сплава изменяется структурно-фазовое состояние модифицированной поверхности (рис.4, б, в).

В исходном состоянии коэффициент трения равен 0,8, а после нитроцементации – уменьшается до 0,23 (рис. 5). Уменьшение коэффициента трения объясняется повышением твер-

дости и износостойкости поверхности сплава 40ХНЮ за счет образования карбонитридных фаз.

В таблице 2 приведены результаты испытаний на абразивное изнашивание исследуемых образцов сплава до и после обработки.

Из анализа полученных значений износостойкости исследуемых образцов сплава до и после обработки, можно сделать вывод о том, что после нитроцементации увеличение износостойкости обусловлено образованием мелкодисперсных частиц карбонитридных фаз.

Таблица 2 – Результаты испытаний на абразивное изнашивание

Состояние	Относительная износостойкость
Исходное (после закалки 1200°C 10 мин)	1,0
После нитроцементации 700°C 5 мин	1,18
После нитроцементации 700°C 7 мин	1,20

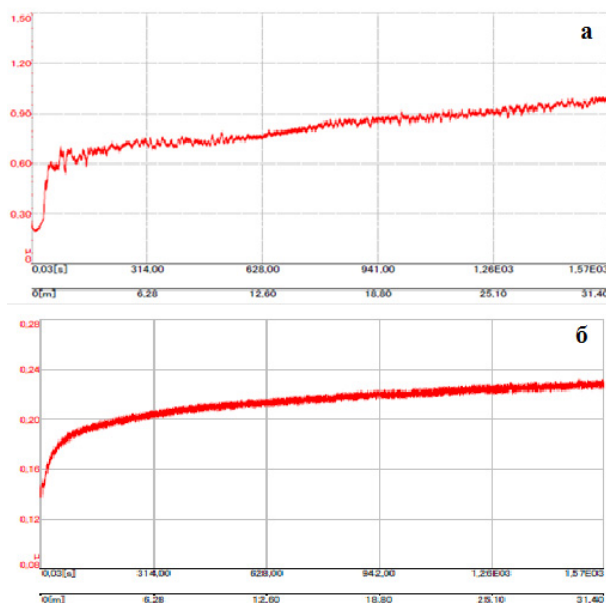


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента трения от времени трения:
а – исходное состояние (после закалки 1200°C (10 мин)); б – после нитроцементации

Выводы

Анализируя полученные в работе результаты, можно сделать следующие выводы:

- установлено, что после нитроцементации образование частиц карбонитридных фаз по границам и внутри зерен аустенита оказывает непосредственное влияние на трибологические свойства;

- установлено, что на поверхности образцов сплава 40ХНЮ после нитроцементации в электролитной плазме формируется равномерный модифицированный слой толщиной около 20 мкм;
- определено, что коэффициент трения после нитроцементации уменьшается почти в 4 раза по сравнению с исходным, что указывает на повышение твердости и износостойкости поверхностного слоя сплава 40ХНЮ;

- установлено, что после нитроцементации в электролитной плазме повышается стойкость сплава 40ХНЮ к абразивному износу. Относительная износостойкость образцов сплава после нитроцементации увеличивается почти на 20 % по сравнению с исходным;

Литература

- 1 Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С.А. Герасимов, Л.И. Куksenova, В.Г. Лаптева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 518, [2] с.: ил.
- 2 Смирнов И.В., Белкин П.Н. и др. Мир материалов и технологий. В 2-х томах, Том 1. – М. изд. Техносфера, 2011. – 464 с.
- 3 Gupta P., Tenhundfeld G., Daigle E.O., Ryabkov D. Electrolytic plasma technology: Science and engineering – an overview // Surf. & Coat. Technol. 2007. – V. 25. – P. 8746.
- 4 Молотилов Б.В. Претензионные сплавы. – М.: Metallurgiya, 1983. – 439 с.
- 5 Патент на полезную модель РК, МРК8 С25F 7/00.
- 6 Установка электролитно-плазменной обработки./ Скаков М.К., Веригин А.А., Фурсов А.В., Парунин С.В., Сапатбаев Е.Е., Курбанбеков Ш.Р.; заявитель ВКГТУ им.Д.Серикбаева. – № 878; заявл. 31.01.2012; опубл. 15.11.12, бюлл. №11.

References

- 1 Structure i iznosostoykost azotirovannykh constructionnykh staley i splavov / S.A. Gerasimov, L.I. Kuksenova, V.G. Lapteva. – M.: Izd-vo MG TU im. N. E. Bauman, 2012. – 518, [2] s. : il.
- 2 Smirnov I.V., Belkin P.N. i dr. Mir materialov i tehnologij. V 2-h tomah, Tom 1, M. izd. Tehnosfera, 2011, – 464 s.
- 3 Gupta P., Tenhundfeld G., Daigle E.O., Ryabkov D. Electrolytic plasma technology: Science and engineering – an overview // Surf. & Coat. Technol. 2007. V. 25. P. 8746.
- 4 Molotilov B.V. Pretizionnye splavy. – M.: Metallurgiy, 1983. – 439 s.
- 5 Patent na poleznuyu model Respubliki Kazakhstan, MPK8 C25F 7/00.
- 6 Ustanovka elektrolitno-plazmennoi obrabotki./ Skakov M.K., Verigin A.A., Fursov A.V., Parunin S.V., Sapataev E.E., Kurbanbekov Sh.R.; zayvitel VKGTU im.D.Serikbaeva. – № 878; zayvl. 31.01.2012; opubl. 15.11.12, Byul. №11.