

Восточно-Казахстанский государственный технический  
университет им. Д.Серикбаева

УДК 621.785.532:538.911:620.178.1

На правах рукописи

**РАХАДИЛОВ БАУЫРЖАН КОРАБАЕВИЧ**

**Электролитно-плазменное азотирование поверхностных слоев  
быстрорежущих сталей**

6D072300- Техническая физика

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:  
доктор физико-математических  
наук, профессор Скаков М.К.;

доктор физико-математических  
наук Батырбеков Э.Г.;

dr.rer.nat., professor M. Scheffler

Республика Казахстан  
Усть-Каменогорск, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	4
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ АЗОТИРОВАНИЕМ</b> .....	12
1.1 Модифицирование поверхностных слоев быстрорежущих сталей методами химико-термической обработки .....	12
1.2 Особенности образования диффузионного слоя при азотировании быстрорежущих сталей .....	17
1.3 Анализ существующих способов азотирования быстрорежущих сталей .....	23
1.4 Электролитно-плазменное азотирование как перспективное направление процесса азотирования.....	26
1.5 Формирование структуры и свойств поверхности сталей при азотировании электролитно-плазменным методом.....	31
1.6 Постановка задач.....	37
<b>2 МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	38
2.1 Материалы исследования.....	38
2.2 Установка электролитно-плазменного азотирования.....	40
2.3 Методы исследования азотированного слоя .....	43
2.3.1 Металлографический анализ .....	43
2.3.2 Рентгеноструктурный фазовый анализ.....	43
2.3.3 Электронно-микроскопические методы исследования .....	44
2.3.4 Метод оптико-эмиссионной спектроскопии.....	45
2.3.5 Атомно-силовая микроскопия и методика измерения шероховатости... ..	45
2.4 Методика проведения физико-механических испытаний.....	46
2.4.1 Методика определения микротвердости и красностойкости .....	46
2.4.2 Методики трибологических испытаний.....	48
2.4.3 Методика испытания на абразивный износ.....	49
<b>3 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ</b> .....	50
3.1 Экспериментальные исследования энергетических характеристик катодного процесса электролитно-плазменной обработки.....	50
3.2 Разработка режима катодного электролитно-плазменного нагрева.....	57
3.3 Выбор состава электролита для азотирования быстрорежущих сталей.....	61
3.4 Выбор оптимальных режимов электролитно-плазменного азотирования быстрорежущей стали .....	64

3.5	Выводы по третьей главе.....	68
4	<b>ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ.....</b>	<b>70</b>
4.1	Структурно-фазовые состояния быстрорежущих сталей в исходном состоянии .....	70
4.2	Исследование влияния электролитно-плазменного азотирования на микроструктуру быстрорежущих сталей.....	77
4.3	Фазовые превращения в поверхностных слоях быстрорежущих сталей при электролитно-плазменном азотировании .....	83
4.4	Исследования тонкой структуры и вторых фаз быстрорежущей стали после электролитно-плазменного азотирования.....	87
4.5	Модель взаимодействия низкотемпературной плазмы с поверхностью быстрорежущей стали при электролитно-плазменном азотировании...	92
4.6	Выводы по четвертой главе.....	102
5	<b>ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ.....</b>	<b>103</b>
5.1	Влияние режимов электролитно-плазменного азотирования на трибологические характеристики, микротвердость и красностойкость быстрорежущих сталей .....	103
5.2	Высокотемпературные испытания азотированных образцов быстрорежущей стали на износостойкость .....	112
5.3	Стойкость быстрорежущих сталей к абразивному изнашиванию до и после электролитно-плазменного азотирования .....	116
5.4	Особенности фрактографической характеристики поверхности трения азотированных образцов быстрорежущей стали.....	119
5.5	Механизмы, обеспечивающие высокую износостойкость азотированного слоя быстрорежущих сталей.....	121
5.6	Технологический процесс упрочнения режущих инструментов из быстрорежущих сталей электролитно-плазменным азотированием.....	124
5.7	Выводы по пятой главе.....	127
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>129</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>132</b>