

Введение. В настоящее время широкое распространение в промышленном и ремонтном производствах получили упрочняющие технологии, позволяющие повышать эксплуатационные свойства поверхностей деталей машин и экономить материальные и трудовые ресурсы. Как правило, данные технологии ориентированы на придание повышенных физико-механических характеристик поверхностному слою при сохранении неизменными свойств основного металла детали.

Среди традиционных способов упрочнения наибольшее распространение получили газотермические и химико-термические методы нанесения упрочняющих покрытий [1-3], из которых наиболее эффективным считается ионно-плазменное азотирование [4]. Применение данного метода позволяет получать диффузионные слои заданной структуры, что значительно повышает твердость, сопротивление изнашиванию, контактную выносливость, сопротивление к схватыванию, теплостойкость и коррозионную стойкость различных деталей машин и механизмов, элементов штампового оборудования и режущего инструмента.

Объект исследования. В качестве исследуемого материала была принята конструкционная качественная углеродистая сталь 10кп (ГОСТ 1050-88). Применение данной стали для изготовления деталей, работающих при температуре до 450°C, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и износостойкости при невысокой прочности сердцевины, требует проведения операций химико-термической обработки, а именно ионно-плазменного азотирования. Для испытания были выбраны пропорциональные стандартные плоские образцы толщиной 5 мм в количестве 6 штук (рисунок 1), три из которых были подвергнуты ионно-плазменному азотированию (образец № 2, 4, 6). Образцы № 5 и № 6 были изготовлены с «головками» по ГОСТ 1497-84, причем у образца № 6 «головки» выполнялись после химико-термической обработки (ХТО).



Рисунок 1 – Плоские образцы для механических испытаний

Нерода Михаил Владимирович, к. т. н., доцент, декан машиностроительного факультета Брестского государственного технического университета.

Онысько Сергей Романович, магистр технических наук, исследователь в области технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной механики Брестского государственного технического университета.

Мартинюк Оксана Владимировна, старший преподаватель кафедры машиноведения машиностроительного факультета Брестского государственного технического университета

Драган Александр Вячеславович, к. т. н., ректор Брестского государственного технического университета.

Мицирук Ольга Михайлова, магистр технических наук, ведущий специалист по сопровождению учебного процесса кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Химический состав и механические свойства стали 10кп представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Химический состав и механические свойства стали 10кп

Химический состав				
Химический элемент	%			
Углерод (C)	0,07-0,14			
Кремний (Si), не более	0,07			
Медь (Cu), не более	0,25			
Мышьяк (As), не более	0,08			
Марганец (Mn)	0,35-0,65			
Никель (Ni), не более	0,25			
Фосфор (P), не более	0,035			
Хром (Cr), не более	0,15			
Сера (S), не более	0,04			
Механические свойства				
Термообработка, состояние поставки	σ_b , МПа	δ_5 , %	ψ , %	НВ
Сталь калиброванная и калиброванная со специальной отделкой нагартованная без термообработки	370	8	17	179

Оборудование и методики проведения исследований. При проектировании конструкций, машин и механизмов необходимо знать прочностные и деформационные свойства материалов. Их определяют экспериментально на специальных испытательных машинах. Из различных свойств (твердость, сопротивляемость ударным нагрузкам, противодействие высоким или низким температурам и т. п.) основным является сопротивление на растяжение и сжатие, дающее наибольшую и важнейшую информацию о механических свойствах металлов, которые в большинстве случаев являются основой для правильного выбора материала и характеризуют его способность противостоять деформации и разрушению [6].

Азотирование производилось в плазме индукционного разряда в вакуумной камере. В качестве рабочих газов использовались азот, аргон и водород. Каждый вид газа подавался в вакуумную камеру с определенным расходом: 12,1 л/час – скорость подачи азота, 15,0 л/час – аргона и 3,5 л/час – водорода. Давление рабочего газа варьировалось в диапазоне 5–200 Па и контролировалось при помощи вакуумметра. Рабочая температура в камере во время процесса составляла 450–570 °С. Параметры разряда фиксировались с показаний дисплея импульсного источника питания.

Испытания на разрыв проводились на универсальной электро-механической разрывной машине ИР 5145-500-11 (рисунок 2), снабженной самопишущим устройством, позволяющим в режиме реального времени автоматически вычерчивать диаграмму растяжения в определенном масштабе в координатах «сила – удлинение» ($F-\Delta l$).



Рисунок 2 – Разрывная машина ИР 5145-500-11

В процессе испытаний были получены машинные диаграммы (рисунок 3), показывающие зависимость удлинения образца от продольной растягивающей нагрузки.

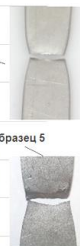
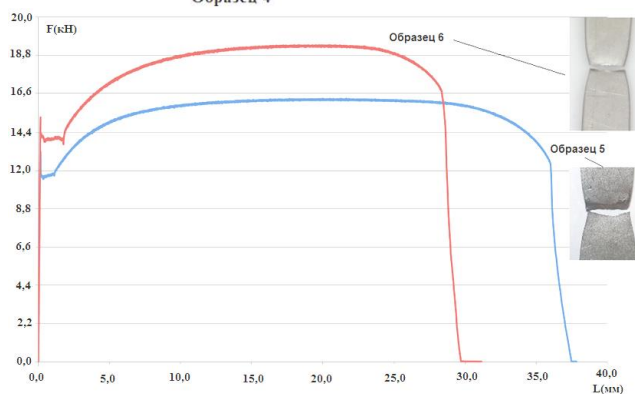
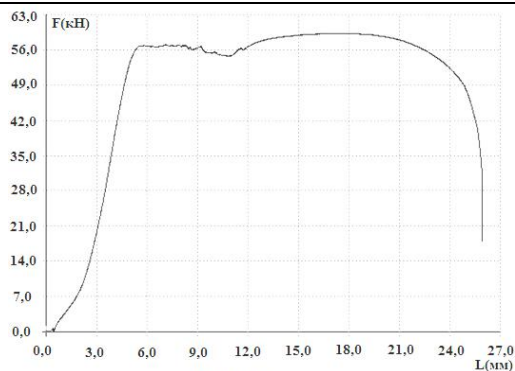
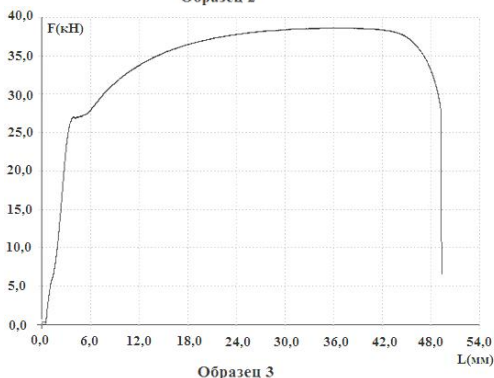
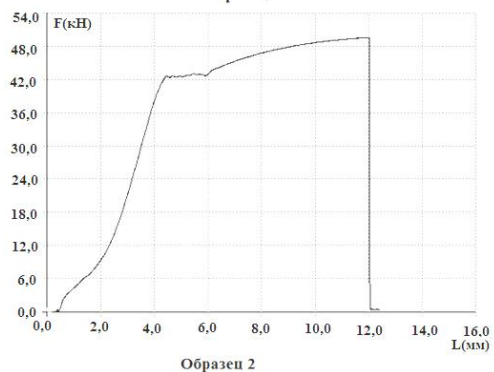
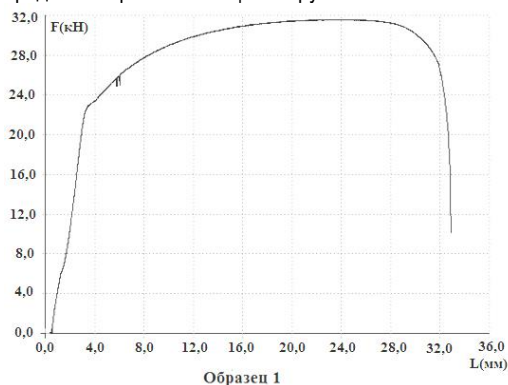


Рисунок 3 – Машинные диаграммы и характер разрушения плоских образцов

Анализируя полученные диаграммы и фотографии, показывающие характер разрушения образцов, установили, что процессы деформирования, протекающие в металле в результате нагружения, отличаются друг от друга. Так, для образцов № 1, 3, 5 (без ХТО) на диаграмме $F-\Delta l$ присутствуют участки, показывающие предел пропорциональности, предел текучести и предел прочности. Перед разрушением на образцах наблюдалось сужение материала (образованное «шейки»), характерного для пластичного материала (рисунок 4). Максимальные действующие нагрузки приведены в таблице 2 и находились в пределах 15,5–39 кН. Относительное удлинение при этом составило 21–33 %.

Таблица 2 – Значения максимальных нагрузок при испытании плоских образцов на растяжение

№ образца	F_{max} (кН)	Обработка
1	31,57	без обработки
2	49,58	ионно-плазменное азотирование
3	38,65	без обработки
4	59,29	ионно-плазменное азотирование
5	15,45	без обработки
6	18,82	ионно-плазменное азотирование



Рисунок 4 – Плоские образцы после испытаний на разрыв

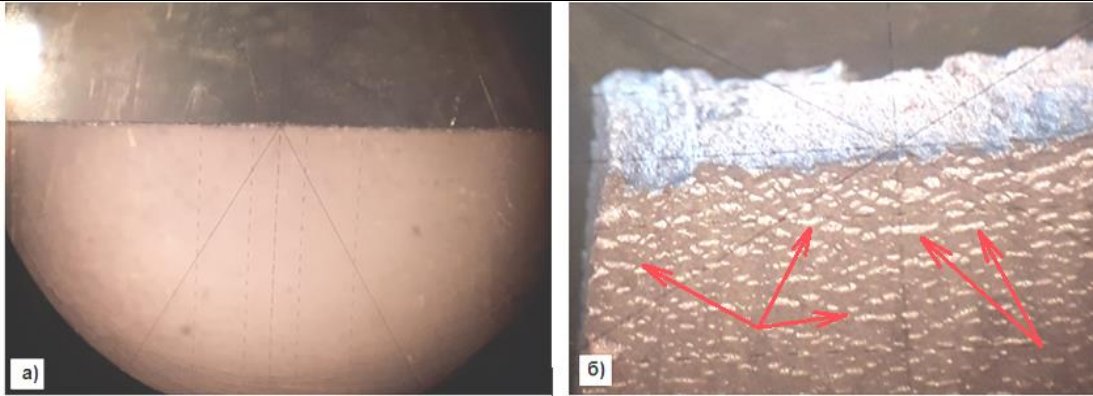


Рисунок 5 – Характер разрушения образцов после ионно-плазменного азотирования

При испытании образцов на растяжение после ионно-плазменного азотирования предел прочности материала увеличился в 1,2–1,6 раза, максимальная нагрузка при этом составила 18,8–59,3 кН соответственно. Разрушение образцов № 2 и № 4 произошло внезапно, с особенностями, характерными для хрупких материалов. Образец № 2 разрушился без характерного удлинения по сечению, перпендикулярному к оси испытываемого образца (рисунок 5а). Относительная деформация при этом составила 10–17% для соответствующих образцов, что практически в 2 раза меньше, чем для материала без ХТО.

Особый интерес представляет характер разрушения образца № 6 (рисунок 5б). При изготовлении образца после ХТО с торцевых поверхностей механически был удален азотированный слой. При этом азотированные слои были оставлены только на параллельных, взаимно противоположных друг другу поверхностях (т.е. упрочненными оказались только две локальные протяженные поверхности). При испытаниях на растяжение на поверхностях с азотируемым слоем было зафиксировано образование множества горизонтальных поверхностных трещин (указаны стрелками на рисунке 5б), расположенных перпендикулярно к оси образца. Такой характер разрушения покрытия можно объяснить действием значительных внутренних напряжений, которые возникают между покрытием и основой в процессе деформации. При растяжении образца также образовывались характерные участки, показывающие предел пропорциональности, предел текучести и предел прочности. Кроме того, испытания показали, что ионно-плазменное азотирование позволяет повысить прочность стали 10кп более чем на 30%. Следует отметить, что повышение прочности со свойствами пластичности происходит при формировании упрочненного слоя на параллельных, взаимно противоположных друг другу поверхностях образцов № 4 и № 6. Из анализа данных следует, что на прочностные свойства стали также влияют геометрические особенности расположения азотированных по-

верхностей. Поэтому необходимо проведение дальнейших исследований, связанных с выявлением закономерностей влияния толщины и геометрии сформированных ионно-плазменным азотированием упрочняющих слоев на прочность деталей.

Заключение. Проведены исследования механических и пластических свойств образцов, изготовленных из стали 10кп до и после ионно-плазменного азотирования. Предварительные испытания свидетельствуют, что ионно-плазменное азотирование позволяет повысить прочность металлов в среднем на 30%, увеличив при этом действующую нагрузку на конструкцию более чем в 1,5 раза. Полученные машинные диаграммы и вид характера разрушения образцов позволяет сделать вывод, что на прочность стали влияют геометрические особенности формирования азотированного слоя.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мрочек, Ж. А. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин / Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, И. П. Филонов. – Минск : Технопринт, 2002. – 268 с.
2. Клубникин, В. С. Плазменное напыление покрытий в активных средах / В. С. Клубникин, М. В. Карасев, Г. К. Петров. – Л. : И-во «Знание» РСФСР, ЛО, ЛДНТП, 1990. – 20 с.
3. Кожуро, Л. М. Электромагнитная наплавка легированных порошков на железной основе / Л. М. Кожуро, Ж. А. Мрочек // Технологическое обеспечение работоспособности деталей машин, механизмов и инструмента. – Киев : Знание, 1997. – С. 123–124.
4. Берлин, Е. В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей / Е. В. Берлин, Н. Н. Коваль, Л. А. Сейдман. – М. : Техносфера, 2012. – 464 с.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://1metal.com/infosteel-steel_10kp.html.
6. Подскребко, М. Д. Сопротивление материалов: учебник / М. Д. Подскребко. – Минск : Высшая школа, 2007. – 797 с.

03.12.2019

NIARODA M. V., ONYSKO S. R., MARTSINOUSKAYA A. V., DRAGAN A. V., MISHIRUK O. M. Research of mechanical and plastic properties of 10kp steel with coatings formed by ion-plasma nitrogen method

The mechanical and plastic properties of specimens made of 10kp steel were studied. Preliminary tests indicate that ion-plasma nitriding can increase the strength of the metal by more than 30%, while increasing the current load on the structure by more than 1,5 times. The resulting machine diagrams and the nature of the fracture of the samples allow us to state that an increase in strength occurs when a hardened layer is formed on the metal surface, while maintaining the internal properties of the base metal of the part.

620.179.18

• ” • ” • •

Введение. В процессе эксплуатации зубчатых приводов, независимо от их текущего состояния, возбуждаются различного рода

колебания, связанные чаще всего с динамическими явлениями непосредственно в самом зубчатом зацеплении, а также погрешности-

Парфиевич Андрей Николаевич, м. т. н., старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета.

Сокол Виктор Александрович, м. т. н., старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.