

УДК 621.914.2:669

А. Э. Липский

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПОСОБА ИХ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОТОКОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

Проанализирован вопрос нахождения оптимальных режимов упрочняющей обработки для повышения эксплуатационных характеристик инструментов из быстрорежущих сталей, на основе способа их модифицирования потоком низкоэнергетической плазмы. Показано, что эффективность упрочняющей обработки рабочих поверхностей зависит от параметров процесса ионного воздействия. Это связано с изменением характеристик поверхностного слоя упрочненных инструментов. Показаны зависимости величины микротвердости от изменения режимов процесса упрочнения.

В Республике Беларусь находится большое число предприятий и заводов, производящих машины, оборудование, детали, станки, технологические комплексы.

Технико-экономические результаты работы этих машиностроительных предприятий в значительной мере зависят от эффективности работы технологического оборудования, надежности всех элементов технологической системы, одним из которых является режущий инструмент. Для эффективного функционирования режущих инструментов необходимо обеспечить непрерывное улучшение и повышение эксплуатационных характеристик инструментов. Пути повышения эксплуатационных характеристик инструмента заключаются в создании новых материалов или упрочнении инструментов из традиционных материалов.

Повышение эксплуатационных характеристик инструмента из традиционных материалов может быть достигнуто технологическими методами поверхностного упрочнения, т. к. большинство инструментов работает в условиях, при которых эксплуатационная нагрузка воспринимается, главным образом, их поверхностным слоем. Поэтому износостойкость, зарождение и развитие усталостной трещины, возникновение очагов коррозии зависит от сопротивления поверхностного слоя разруше-

нию. Для деталей, разрушение которых начинается с поверхности, разработано большое количество методов поверхностного упрочнения, основанных на нанесении покрытий или изменении состояния (модификации) поверхности.

При нанесении покрытий упрочнение деталей достигается путем осаждения на нее поверхности материалов, которые по своим свойствам отличаются от основного металла, но наиболее полно отвечают условиям эксплуатации (износ, коррозия, химическое воздействие и т. п.).

При изменении состояния (модификации) поверхностного слоя происходит физико-химическое изнашивание в металле, повышающее его сопротивление разрушению. Модифицирование поверхностного слоя может осуществляться деформационным упрочнением, поверхностной термообработкой, диффузионным нанесением легирующих элементов.

Все известные методы упрочнения подразделяются на следующие.

1. Упрочнение с созданием пленки на поверхности:

– осаждение химической реакции (окислирование, сульфидирование, фосфатирование, нанесение упрочняющего смазочного материала, осаждение из газовой фазы);

– осаждение из паров (термическое испарение тугоплавких соединений, катодно-ионная бомбардировка, прямое электронно-лучевое испарение, реактивное электронно-лучевое испарение, электронно-химическое испарение);

– электролитическое осаждение (хромирование, никелирование, электрофорез, никельфосфатирование, борирование, борохромирование, хромофосфатирование);

– напыление износостойких соединений (плазменное напыление порошковых материалов, детонационное напыление, электродуговое напыление, лазерное напыление, вихревое напыление, индукционное припекание порошковых материалов).

2. Упрочнение с изменением химического состава поверхностного слоя металла:

– диффузионное насыщение (борирование, цианирование, азотирование, нитроцементация и т. п.);

– химическое и физико-химическое воздействие (химическая обработка, ионная имплантация, электроискровая обработка и т. д.).

3. Упрочнение с изменением структуры поверхностного слоя:

– физико-термическая обработка (лазерная закалка, плазменная закалка);

– электрофизическая обработка (электроконтактная, электроэрозионная, магнитная обработка);

– механическая (упрочнение вибрацией, фрикционно-упрочняющая обработка, дробеструйная, обработка взрывом, термомеханическая, электромеханическая);

– наплавка легированным элементом (газовым пламенем, электрической дугой, плазмой, лазерным лучом, пучком ионов и т. д.).

4. Упрочнение с изменением энергетического запаса поверхностного слоя:

– обработка в магнитном поле (термомагнитная обработка, импульсным магнитным полем, магнитным полем);

– обработка в электрическом поле;

5. Упрочнение с изменением микрогеометрии поверхности и наклепом:

– обработка резанием (точение, шлифование, сверхскоростное резание);

– пластическое деформирование (накатывание, обкатывание, раскатывание, выглаживание, вибронакатывание, вибровыглаживание, калибрование, центробежно-ударное упрочнение, виброударное и т. д.);

– комбинированные методы (анодно-механическая обработка, поверхностное легирование с выглаживанием, резание с воздействием ультразвуковых колебаний, магнитно-абразивная обработка и т. д.);

6. Упрочнение с изменением структуры всего объема металла:

– термообработка при положительных температурах (закалка, отпуск, улучшение, закалка ТВЧ, нормализация, термомагнитная обработка);

– криогенная обработка (закалка с обработкой холодом, термоциклирование).

Среди методов нанесения защитных покрытий, основанных на воздействии на поверхность инструмента потоков частиц, большое внимание привлекают вакуумные ионно-плазменные методы.

Наибольшее распространение получили следующие методы нанесения износостойких покрытий [1]:

– активированное реактивное испарение;

– ионное распыление;

– ионное осаждение;

– плазменное осаждение.

Основным достоинством данных методов является возможность создания весьма высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесение плотных покрытий из тугоплавких химических соединений. Кроме того, эти

методы позволяют:

- обеспечивать высокую адгезию покрытия к подложке;
- осуществлять равномерность покрытия по толщине на большой площади;
- варьировать состав покрытия в широком диапазоне, в пределах одного технологического цикла;
- получать высокую чистоту поверхности покрытия;
- обеспечивать экологическую чистоту производственного цикла.

Процесс вакуумного модифицирования низкоэнергетическим ионным воздействием инструментов из быстрорежущих сталей [2], разработанный на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты», лишен ряда недостатков, присущих другим электрофизическим методам повышения эксплуатационных характеристик инструментов. В сравнении с широко используемыми способами упрочняющей обработки, метод низкоэнергетического ионного воздействия имеет следующие основные преимущества:

- не загрязняет окружающую среду;
- не вызывает изменения формы и размеров инструмента после упрочнения;
- повышает эксплуатационные качества режущего инструмента;
- исключает необходимость сложного технологического спецоборудования, упрощает реализацию;
- упрочняет режущий инструмент с острыми режущими кромками;
- вследствие низких температур процесса низкоэнергетического ионного воздействия позволяет проводить упрочнение инструментов из быстрорежущих сталей, подвергнутых термической обработке.

В результате упрочнения материалы приобретают новый комплекс свойств. В частности, повышается микротвердость, предел текучести при незначительном изменении относительного удлинения (пластичности), изменяется теплоемкость материала, повышается стойкость и износостойкость.

В работе осуществлялось исследова-

ние свойств образцов модифицированного инструмента из быстрорежущей стали в зависимости от режимов упрочнения.

Нахождение оптимальных значений параметров режимов низкоэнергетического воздействия является актуальной задачей при упрочнении инструментов из быстрорежущих сталей в вакууме. Зная значение напряжения U , плотность тока I , время проведения процесса t для инструментов из быстрорежущих сталей, можно сразу применять их оптимальные величины для проведения процесса упрочнения и тем самым избежать экспериментального подбора параметров режима упрочнения, обеспечивая быстроту процесса ионного воздействия, экономию электрической энергии и времени на производственные испытания с целью уменьшения затрат на процесс упрочнения. В процессе проведения экспериментов изменялись значения приложенного напряжения процесса упрочнения U от 0,5 до 4 кВ, плотности тока I от 10 до 80 мА/мм², времени низкоэнергетического воздействия t от 10 до 180 мин. В начале исследований находилось оптимальное значение напряжения U , затем находилась плотность тока I , а после – время процесса упрочнения t .

Результатом данных исследований является нахождение изменения свойств образцов из быстрорежущей стали Р6М5 после низкоэнергетического воздействия в вакууме. Проводились следующие исследования поверхностного слоя образцов инструмента из быстрорежущей стали:

- изменение микротвердости от напряжения;
- изменение микротвердости от плотности тока;
- изменение микротвердости от времени, прошедшего после процесса низкоэнергетического воздействия.

Полученные экспериментальные данные были обработаны с помощью метода наименьших квадратов. Находилась зависимость величины микротвер-

дости HV от величины приложенного напряжения процесса упрочнения U, от величины плотности тока I и времени процесса упрочнения t.

Измерения микротвердости проводились на микротвердомере ПМТ-3 при вдавливании алмазной пирамиды по известной методике [3].

Образцы инструмента для измерений были изготовлены из стали Р6М5. Для каждой нагрузки делалось 11 уколов, при этом результирующий размер диагонали отпечатка определялся как полусумма двух получающихся диагоналей, каждый отпечаток измерялся 4 раза (по два измерения на каждую диагональ).

Углубление на поверхности образцов из стали Р6М5 получали на приборе ПМТ-3 путем вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине 136° .

После этого образцы упрочнялись по заданным режимам и операции накаливания и измерения отпечатков повторялись в том же месте образца.

По данным статической обработки результатов измерения образцов инструментов из быстрорежущей стали Р6М5, упрочненных по заданным режимам вакуумного воздействия: напряжения U от 0,5 до 4 кВ, плотности тока $I = 50 \text{ мА/мм}^2$, времени $t = 60 \text{ мин}$, были построены кривые изменения микротвердости, которые показывают увеличение микротвердости в 1,5 раза (рис. 1). Результаты измерения образцов, упрочненных по заданным режимам в плазме тлеющего разряда ионами остаточных газов, представлены на рис. 1.

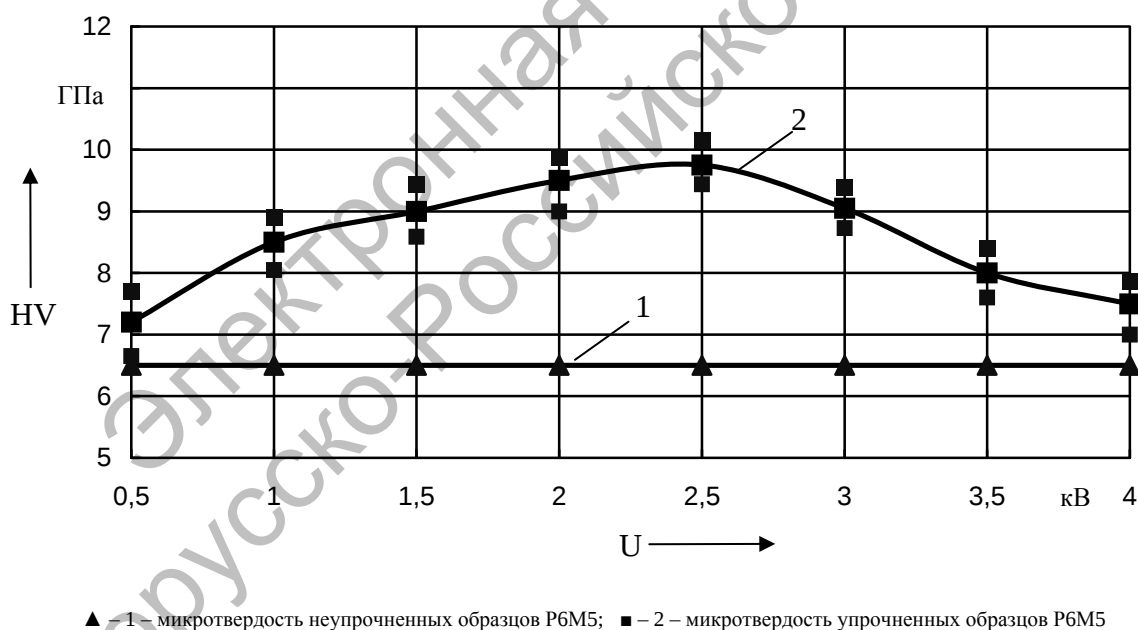


Рис. 1. Зависимость микротвердости образцов инструмента из стали Р6М5 от изменения напряжения

Исследовалось изменение микротвердости образцов инструмента из стали Р6М5 в зависимости от напряжения процесса вакуумного упрочнения инструмен-

тов. На оси X (см. рис. 1) отложено значение напряжения, на оси Y — величина микротвердости. Кривая 1 соответствует изменению микротвердости неупроч-

ненных образцов инструментов из стали Р6М5, кривая 2 – результатам измерений микротвердости упрочненных образцов инструментов.

Как видно из рис. 1, микротвердость упрочненных образцов выше для величины напряжения $U = 2,5$ кВ.

Далее проводилась статическая обработка экспериментальных данных по каждой точке; рассчитанные средние арифметические значения были обработаны с помощью метода наименьших квадратов [4]. Получена параболическая зависимость величины микротвердости HV от величины приложенного напряжения U.

$$HV_{(U)} = 6,08 + 3,123U - 0,717U^2.$$

Проводилось исследование зависимости микротвердости образцов инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 от плотности тока низкоэнергетического ионного воздействия I от 10 до 80 мА/мм². На рис. 2 представлена зависимость микротвердости образцов из стали Р6М5 от плотности тока. На оси X (см. рис. 2) отложено значение плотности тока, на оси Y – величина микротвердости. Кривая 1 соответствует изменениям микротвердости неупрочненных образцов из стали Р6М5, кривая 2 – результатам измерений микротвердости упрочненных образцов. Результаты измерения образцов, упрочненных по заданным режимам в плазме тлеющего разряда ионами остаточных газов представлены на рис. 2.

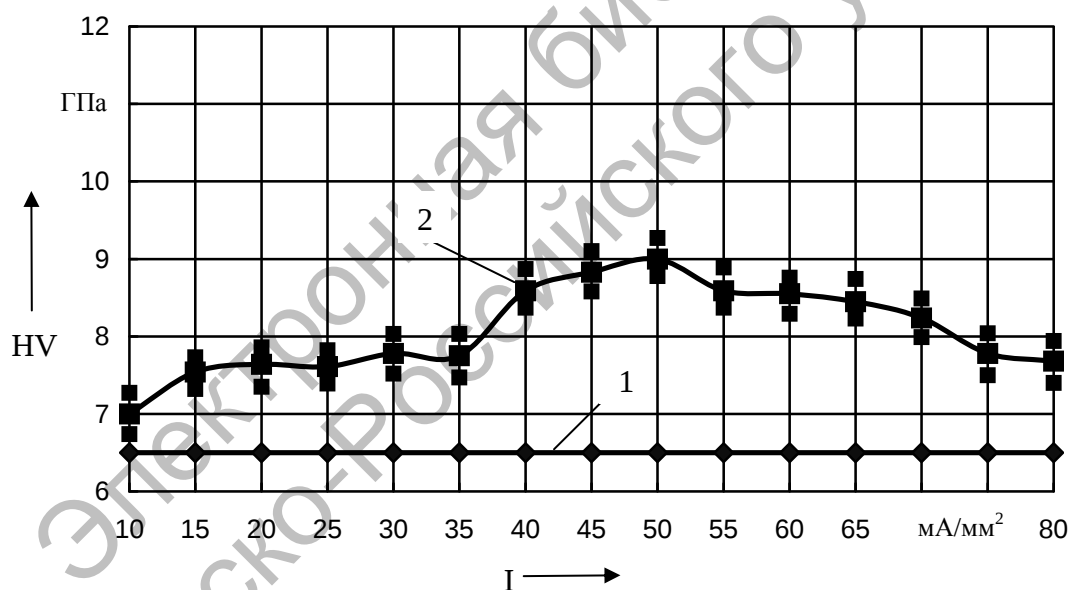


Рис. 2. Зависимость микротвердости образцов инструмента из стали Р6М5 от изменения плотности силы тока

Образцы инструмента из стали Р6М5 помещались на катод в вакуумную камеру сферической формы и упрочнялись в плазме тлеющего разряда ионами остаточных газов. Напряжение зависит от рабочего процесса упрочнения и составляет $U = 2,5$ кВ. Время процесса упрочнения

$t = 45$ мин. Температура образцов при упрочнении не превышала 100 °С. Кривая 1 соответствует измерениям неупрочненных образцов, кривая 2 – результатам измерений микротвердости упрочненных образцов инструмента. Анализируя результаты исследований, сле-

дует отметить, что микротвердость упрочненных образцов выше неупрочненных в 1,5 раза. Микротвердость упрочненных образцов инструмента достигает своего наибольшего значения для плотности тока процесса вакуумного упрочнения ($I = 50 \text{ мА/мм}^2$).

После проведения экспериментальных исследований была произведена статистическая обработка полученных данных по каждой точке, и полученные средние арифметические значения были обработаны с помощью метода наименьших квадратов [4]. Получена параболическая зависимость величины микротвердости HV от величины плотности тока I.

$$HV_{(I)} = 6,01 + 0,098I - 0,010I^2.$$

Проведены также исследования зависимости микротвердости образцов инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 от времени проведения процесса низкоэнергетического ионного упрочнения по-

сле нахождения оптимальных величин приложенного напряжения $U = 2,5 \text{ кВ}$ и плотности тока $I = 50 \text{ мА/мм}^2$.

Результаты измерения значений микротвердости образцов после низкоэнергетического воздействия представлены на рис. 3. Напряжение рабочего процесса вакуумного упрочнения не превышает $U = 2,5 \text{ кВ}$. Время процесса упрочнения t от 10 до 180 мин. Плотность тока $I = 50 \text{ мА/мм}^2$. Температура образцов при упрочнении не превышала 100°C .

По оси X (рис. 3) отложено время процесса упрочнения, по оси Y отложена величина микротвердости. Анализируя результаты исследований, следует отметить, что микротвердость упрочненных образцов из быстрорежущей стали Р6М5 после времени упрочнения $t = 60 \text{ мин}$ не становится значительно больше.

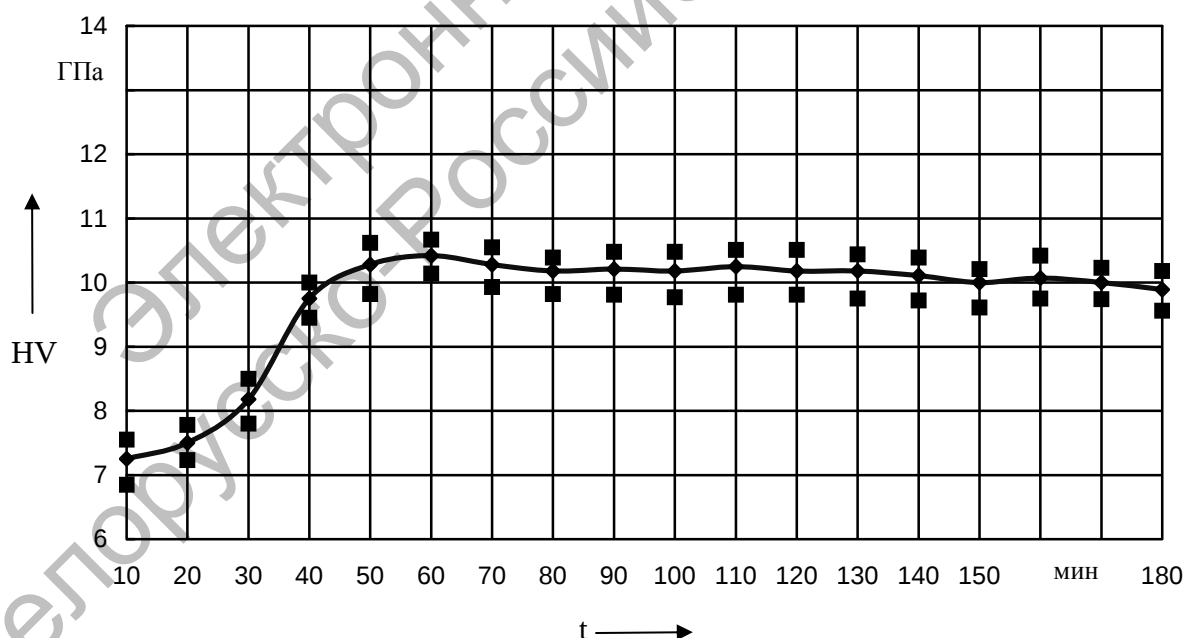


Рис. 3. Зависимость микротвердости образцов инструмента из стали Р6М5 от времени процесса упрочнения

Также продолжительность времени вакуумного модифицирования в плазме тлеющего разряда зависит от природы поверхности, материала поверхности, степени ее загрязненности, от состава загрязнений, от формы обрабатываемой поверхности и т. д. В результате экспериментальных исследований зависимости микротвердости модифицированных изделий от времени обработки было установлено, что микротвердость изделий, подвергнутых вакуумному модифицированию в плазме тлеющего разряда, в течение определенного времени ($t = 60$ мин для стали Р6М5) резко возрастает, достигает оптимальной величины, затем в течение 15–20 мин она выдерживается на одном уровне, а после, несмотря на продолжающийся процесс обработки изделия тлеющим разрядом, микротвердость начинает и продолжает снижаться независимо от времени дальнейшей обработки (см. рис. 3).

Проведенные исследования с инструментальными сталями Р12, Р18 и рядом других подтвердили вышесказанное и позволили сделать вывод: микротвердость возрастает только определенное время, пока происходит процесс вакуумного модифицирования изделия, по окончании этого процесса – сколько бы не выдерживалось изделий в плазме тлеющего разряда – микротвердость неуклонно снижается. Поэтому было сделано предположение, что время, в течение которого изделие имеет максимальную микротвердость, и есть оптимальное время для процесса вакуумного модифицирования. Однако существенное влияние на время обработки оказывают геометрические размеры и конструктивные особенности каждого изделия. Изделия малых размеров (диаметров) проходят процесс вакуумного модифицирования в течение 15–30 мин, более крупные и сложные по форме изделия – 90–120 мин и т. д.

В результате проведенных исследований микротвердости образцов инструмента были выявлены оптимальные параметры режима низкоэнергетического ионного воздействия для повышения экс-

плуатационных характеристик инструментов из быстрорежущих сталей.

Выводы

1. Оптимальными параметрами процесса низкоэнергетического ионного воздействия являются значения напряжения $U = 2,5$ кВ, плотность тока $I = 50$ мА/мм², время проведения процесса $t = 60$ мин; также влияние на время обработки оказывают геометрические размеры и конструктивные особенности каждого изделия. Изделия малых размеров (диаметров) проходят процесс вакуумного модифицирования в течение 15–30 мин, более крупные и сложные по форме изделия – 90–120 мин и т. д.

2. Была проведена статическая обработка полученных экспериментальных данных по каждой точке, и полученные средние арифметические значения были обработаны с помощью метода наименьших квадратов. Получена параболическая зависимость величины микротвердости HV от величины приложенного напряжения U:

$$HV_{(U)} = 6,08 + 3,123U - 0,717U^2.$$

3. Произведена обработка данных зависимости микротвердости образцов инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 от плотности тока по каждой точке, средние арифметические значения были обработаны с помощью метода наименьших квадратов и была получена параболическая зависимость величины микротвердости HV от величины плотности тока I:

$$HV_{(I)} = 6,01 + 0,098I - 0,010I^2.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волин, Э. М. Ионно-плазменные методы получения износостойких покрытий / Э. М. Волин // Технология легких сплавов. – 1984. – № 10. – 120 с.

2. А. с. 1309593 СССР, МКИ¹ С 22 С 1/40. Способ упрочнения изделий из металлов

и сплавов / В. С. Камалов [и др.] (СССР). – № 3925462 ; заявл. 10.07.85 ; опубл. 08.01.87, Бюл. № 12. – 1 с.

3. **Кане, М. М.** Основы научных исследований в технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / М. М. Кане. – Минск : Выш. шк., 1987.

– 231 с.

4. **Гмурман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 1977. – 479 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 20.03.2007

A. E. Lipskiy

**Optimum modes of strengthening processing
of working surfaces of tools from fast-cutting
on the basis of a way of their modifying by a
stream of low-energy plasma**

Belarusian-Russian University

The question of finding of optimum modes of strengthening processing for increase of operational characteristics of tools from fast-cutting steels, on the basis of the way of their modifying by a stream of low-energy plasma has been analyzed. It has been shown that efficiency of strengthening processing of working surfaces depends on parameters of process of ionic influence. It is connected with change of characteristics of a surface layer of the strengthened tools. Dependences of size of microhardness on change have been shown.