

УДК 621.9

Лимарь А.А., асс.

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА СТОЙКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ

Limar' A.

National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Nikolaev, Ukraine (aleksandr1402a@mail.ru)

THE WEAR-RESISTANT COATINGS INFLUENCE ON THE CUTTING TOOL'S DURABILITY CHARACTERISTICS DURING THE CORROSION-RESISTANT MATERIALS TREATMENT

Рассмотрены и проанализированы данные, полученные при использовании сменных многогранных неперетачиваемых пластин с покрытием нитрида титана в сравнении с традиционными пластинами, не имеющими покрытий. Экспериментальным путем определен оптимальный выбор режущего инструмента при обработке жаропрочной коррозионностойкой стали 20X13. Проанализирован характер износа сменных многогранных неперетачиваемых пластин с фаской один миллиметр под углом 45 градусов с нанесенным покрытием нитрида титана.

Ключевые слова: режущий инструмент, пятигранные пластины, коррозионностойкая сталь, нитрид титан, точение, износ, стойкость, покрытие.

Актуальность. Повышение стойкостных характеристик режущего инструмента путем фаскообразования и нанесение износостойких покрытий, что является актуальной проблемой, от успешного решения которой зависит надёжность и эффективность механической обработки хромистых сталей, которые нашли широкое применение в современной промышленности.

Анализ последних исследований. Одним из наиболее целесообразных путей развития, совершенствования, а также повышения работоспособности режущего инструмента является применение многогранных пластин с применением износостойких покрытий [1 - 6]. Эффективность применения указанных пластин определяется не только материалом покрытия, но и рациональностью подбора инструмента в зависимости от обрабатываемого материала [7- 13].

Однако в настоящее время, несмотря на значительные успехи в данной области, не выработаны единые требования к технологии нанесения покрытий и свойств материалов, используемых для повышения износостойкости режущего инструмента, что во многом, как следует из практики, связано с недостаточно полно изученными механизмами износа и процессов происходящих в условиях резания.

Цель работы. Целью данной работы является экспериментальное подтверждение повышения стойкостных характеристик режущего инструмента в условиях точения хромистых сталей, путем нанесения на пятигранные пластины нитрида титана.

Изложение основного материала.

Хромистые стали (2X13, 20X13, 30X13) нашли широкое применение в машиностроении для изготовления изделий, работающих на износ при температурах 450-500°C (пружины, зубчатые колеса втулки, валы, штоки поршневых компрессоров, режущий и мерительный инструмент, детали внутреннего сгорания газовых турбин и др.), что обуславливает актуальность использования их обрабатываемости.

Из-за высокой прочности, твердости и вязкости обрабатываемость хромистые стали имеют низкую обрабатываемость.

При обработке хромистых сталей необходимо учитывать коэффициент обрабатываемости, который лежит в интервалах $K_V = 0,5 \dots 0,86$ и $K_V = 0,3 \dots 0,6$ для твердосплавных и быстрорежущих инструментов соответственно, в связи, с чем улучшение обрабатываемости этой группы сталей является актуальной задачей, решение которой обеспечит повышение как производительности, так и качества обработанных деталей [7].

Хромистые стали относятся к коррозионностойким материалам и в зависимости от содержания хрома и их структуры разделяются на три класса: *мартенситные* (20X13, 30X13, 40X13, 95X18), *мартенсито-ферритные* 12X13 и *ферритные* (08X13, 12X17, 08X17Т, 08X18Т1, 15X25Т, 15X28). Степень коррозионной стойкости стали зависит от содержания хрома и делится, в свою очередь, на три группы: к *первой* группе коррозионной стойкости относятся стали с содержанием хрома 13%, *второй* - 17% и *третьей* 25-28%. [1 - 7]

Хромистые стали обладают высокими механическими свойствами, в связи с чем, обрабатываемость их резанием крайне затруднена.

Для повышения обрабатываемости хромистых сталей исследовались закономерности резания, износа и стойкости режущего инструмента на примере сменных многогранных неперетачиваемых пластинах с применением износостойких покрытий.

Исследования проводились на стали мартенситного класса первой группы 20X13 сочетающей высокую прочность и, одновременно, достаточную пластичность, и ударную вязкость. Данная сталь имеет химический состав представленный в таблице 1 и применяется в качестве жаропрочного материала при температурах 450 - 550 С, а в качестве жаростойкого - до 790 С.

Таблица 1

Химический состав стали 20X13, % (ГОСТ 5632-81)

<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>T</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>
0,16-0,25	12,0-14,00	не более						
		0,8	0,8	0,025	0,030	0,2	0,30	0,60

В работе приводятся сведения о результатах экспериментальных исследования обрабатываемости точением хромистой стали марки 20X13 выполняемой на токарно-винторезном станке в условиях как стационарного, так и ударно-прерывистого резания.

Точение производилось в широком диапазоне режимов резания:

$V = 110 - 260$ м/мин, при подачах $S_r = 0,08; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3$ мм/об и глубине резания $t = 0,5 - 3$ мм без охлаждения. За критерий затупления резцов была принята максимальная линейная величина износа по главной задней поверхности $h_z = 0,5$ мм для чистовых режимов резания и $h_z = 1$ мм для черновых режимов.

При экспериментальных исследованиях, в качестве режущего инструмента, использовались токарные резцы оснащенными сменными пятигранными пластинами формы 5/10 из твердых сплавов Т5К10, Т40, ВК8 и Р30.

При обработки стали 20X13 наилучше стойкость показали резцы, оснащенные твердосплавными пластинами 10114-110408 ГОСТ 19065-80 из металлокерамических твердых сплавов марок Т5К10, Т40, ВК8 которые были приняты за основу.

В результате теоретических и экспериментальных исследований выявлены основные характеры износа и ряд причин, которые приводят к потере работоспособности режущего инструмента, основными из которых являются [10-13,15]:

1. Выкрашивание мелких частиц сплава из режущей кромки, что ведет к ухудшению качества обрабатываемой поверхности и чрезмерному износу задней поверхности пластины. Причина: а) Слишком хрупкая марка твердого сплава. б) Геометрия пластины не обеспечивает достаточной прочности. в) Наростообразование

2. Лункообразование, приводящее к ослаблению режущей кромки. Причины: а) Диффузионный износ в результате слишком высокой температуры на передней поверхности режущей пластины

3. Поломка пластины причины: а) Слишком хрупкая марка твердого сплава. б) Чрезмерная нагрузка на режущую пластину. в) Геометрия пластины не обеспечивает достаточной прочности. г) Слишком малые размеры пластины.

4. Мелкие трещины, перпендикулярные к режущей кромке, приводят к ее выкрашиванию и к ухудшению качества обрабатываемой поверхности. Причины: а) Термические трещины в результате температурных колебаний, вызванных прерывистым резанием или непостоянством подвода СОЖ.

5. Наростообразование, снижающее качество обработанной поверхности и ведущее к выкрашиванию режущей кромки во время срыва нароста. Причина: а) Низкая скорость резания. б) Отсутствие заднего угла режущей части пластины. в) "Налипание" материала, например, некоторых нержавеющей сталей.

Исследования показали, что, практически, 90% твердосплавных пластин в условиях ударно-прерывистого резания подвергаются в начальном периоде работы хрупкому разрушению в виде сколов, выкрашиваний или осыпаний в пределах режущего клина. Размеры сколов достигали 0,1...0,5 мм. Установлено, что сколообразование представляет собой процесс хрупкого отделения фрагментов твердого сплава по передней поверхности вдоль режущего лезвия в виде тонкой пластины с образованием лунки в форме ложбинки, имеющие острые кромки.

При дальнейшей работе инструмента, кромки скола, расположенные вдоль главной задней поверхности, выполняют функции режущего лезвия, лунка притирается сходящей стружкой и формируется площадка износа.

В случае образования неудовлетворительной геометрической формы лунки процесс сколообразования продолжается, пока не сформируется благоприятная для резания форма лунки. С целью уменьшения сколообразования производили упрочнение режущей кромки как посредством формирования радиуса округления режущих лезвий, так и создание упрочняющей фаски, расположенной по периметру режущих кромок.

В качестве примера представлены фотографий (рис.1) общих видов износа рабочих поверхностей резцов с наличием нароста и налива (а), скола по передней поверхности (б) и нормального износа истиранием по главной задней поверхности (в). [7, 8]



Рис. 1. Общие виды износа рабочих поверхностей резцов с наличием нароста и налива (а), скола по передней поверхности (б) и нормального износа истиранием по главной задней поверхности (в)

В связи с тем, что нагрузки на рабочую часть резцов зависят от режимов резания и имеют различную величину, оптимальные конструкции упрочняющих фасок, а также радиусы скруглений будут разными и определяются условиями резания. При заходе режущего инструмента на заготовку возникают ударные нагрузки, которые сопровождаются нежелательным появлением микротрещин на режущей части пластины, влекущее за собой выкрашивание режущей части пластины и оказывают негативное влияние на её работоспособность.

В ряде экспериментов проводимых на многогранных пластинах с выполненными фасками 0,5x45, 1x45, 1,5x45 обоснована целесообразность их использования и выявлено что наиболее рациональным для пятигранных пластин является применение фаски 1x45 в условиях непрерывного точения хромистой стали 20X13. За счет нанесения фаски 1x45 на многогранные пластины, значительно уменьшилось сколообразование, в результате удара при заходе на заготовку режущего инструмента, что получило экспериментальное подтверждение на примере пятигранных неперетачиваемых пластин.

При непрерывном точении, в условиях отсутствия вибраций и ударной нагрузки, резцы подвергались нормальному износу – истиранию без сколов, выкрашивания и других признаков хрупкого разрушения. В процессе стружкообразования возникало активное схватывание металлов заготовки и инструмента. На передней и задней поверхностях режущей части образовывались налипы. Материал заготовки размазывался по поверхностям трения, а вдоль главной режущей кромки возникал нарост, величина которого достигала 0,3 - 0,6 мм.

При экспериментальных исследованиях в качестве режущего инструмента использовались токарные резцы, режущая часть которых оснащалась пятигранными неперетачиваемыми пластинами формы 5/10 из твердых сплавов Т5К10, Т40, ВК8 и Р30. При обработки стали 20X13 наилучше стойкость показали резцы, оснащенные твердосплавными пластинами 10114-110408 ГОСТ 19065-80 из металлокерамических твердых сплавов марок Т40, ВК8 которые были приняты за основу.

В таблице 2 в соответствии с ГОСТом 3882-74 приведено процентное содержание кобальта (Co), карбида вольфрама (WC) и карбида титана (TiC), в процентных долях, в сменных пятигранных пластинах (СПП).

Таблица 2

Марка СПП	Процентное содержание %		
	Кобальт (Co)	карбид вольфрам (WC)	карбид титана (TiC)
Т40	12	83	5
ВК8	8	92	
Т5К10	10	85	5

Немаловажным и зачастую определяющим фактором для повышения работоспособности режущего инструмента являются метод и технология нанесения износостойких покрытий.

На сегодняшний день самыми распространенными методами нанесения износостойких покрытий подразделяют на две группы. В первую группу относят методы физического осаждения покрытий (PVD), а ко Второй группе относятся методы химического осаждения (CVD). В экспериментальной части использовали метод нанесения покрытий PVD.

В качестве материалов для покрытий используют карбиды, натридыкарбонитриды, бориды и силициды тугоплавких металлов IV – VI групп периодической системы элементов (IV – титан, цирконий, гафний; V – ванадий, ниобий, тантал; VI – хром, молибден, вольфрам), оксид алюминия Al_2O_3 и алмазоподобные покрытия на основе углерода. Кроме того, существует ряд требований к износостойкому покрытию для режущего инструмента основные из которых представлены на рисунке 2. [3 - 8]



Рис. 2. Основные требования к износостойким покрытиям режущего инструмента

Экспериментальные исследования износа выполнялись в начальном и основном периодах работы реза. За критерий затупления принимали максимальный линейный износ по главной задней поверхности $h_3 = 1,0$ мм.

Однослойные покрытия TiN , наносили на твердосплавные пластины, на установке "Булат 3Т" методом конденсации из плазменной фазы с ионной бомбардировкой (КИБ).

Суть эксперимента заключалась в том, что обработка резанием проводилась на токарном станке без покрытий и с покрытиями нитрида титана (TiN). Для исключения хрупкого разрушения, сколов, выкрашивания режущих лезвий, негативно влияющих на износ и снижающих стойкость инструмента, а также исключая точность оценки износостойкости инструмента и, тем более влияния покрытия, производилось формирование упрочняющей фаски.

Нитридотитановые покрытия наносили на вакуумно-плазменной установке «Булат-3Т». Твердосплавные пластины перед нанесением покрытий подвергали полированию алмазной пастой, механической, а затем ультразвуковой очистке в смеси ацетата и этилового спирта. Непосредственно на установке до нанесения покрытия осуществлялась ионная очистка в вакууме в тлеющем разряде при давлении $P = (2...3) \cdot 10^{-2}$ мм. рт. ст. ионами аргона при напряжении на подложке 1100 Вв течении 30 мин.

Затем откачивали камеру до давления $3,99 \cdot 10^{-1}$ Па, не снимая с подложки высокого напряжения, включали испаритель, устанавливая ток дугового разряда 80А, производили ионную бомбардировку (очистку) пластин в непрерывном режиме в течении 5 мин, повышая температуру пластин до 650 °С.

Далее, не выключали испаритель, снимали с подложки высокое напряжение до 200 В, поддерживали в камере относительное давление азота $P_a = 3,99 \cdot 10^{-1}$ Па, увеличивали силу тока дугового разряда до $i_d = 120$ А и в непрерывном режиме осуществляли синтезирование нитридотитанового покрытия TiN в течении 20...25 мин. Толщина покрытий находилась в пределах 2...3 мкм, а микротвердость от 16,5...18,5 ГПа.

В процессе ионной бомбардировки ионами материала покрытия поверхность подложки подвергается ионному распылению (травлению) при котором удаляются загрязнения, сорбированные газы, пленки, повышается температура подложки, кристаллическая решетка получает большее количество субмикронесовершенств и термодинамически активизируется. При последующем осаждении покрытия происходит достройка кристаллической решетки, микротерщины и поры заполняются материалом покрытия, что способствует повышению адгезионной прочности соединения «покрытие – основа».

Направленный массоперенос атомов (ионов) материала покрытия обуславливает их адсорбирование на поверхности подложки и формирование покрытия, заключающегося в образовании, миграции и коалесценции зародышей и их росте до образования сплошной пленки. При этом непрерывно протекают поверхностные и объемные диффузионные процессы, заключающиеся в миграции химических элементов, поступающих на поверхность пленки покрытия из внешней среды, а также миграционные потоки как из, так и в подложку.

Ионная бомбардировка увеличивает концентрацию зародышей, из которых начинается формирование покрытия. Интенсивность зародышеобразования зависит от природы материалов покрытия и подложки, температуры, скорости осаждения, энергии активации, энергии связи напыленного металла с подложкой.

Процесс формирования покрытий имеет сложный характер и является многостадийным, при котором в непрерывной связи протекают плазмохимические реакции, фазовые, морфологические, ориентационные,

структурные и субмикроструктурные превращения. И все перечисленные стадии процесса зависят от большого числа различных факторов: давления реакционного газа, плотности потока и энергии ионов в процессе ионной бомбардировки и осаждения, температуры, скорости и времени протекания различных процессов. И в завершеном виде происходит формирование покрытия с определенными физико-механическими свойствами, структурой, фазовым составом, стехиометрическим составом образующихся химических соединений, толщиной покрытий.

В первую очередь от температуры зависят термодинамические условия осуществления плазмохимических реакций, обеспечивающих формирование фазового состава, структуры и свойств осаждаемого покрытия. Поэтому не всегда нанесенные покрытия имеют высокие физико-механические свойства, способствующие повышению износостойкости инструментального материала.

В результате исследований установлено, что применение износостойких покрытий TiN приводит к уменьшению ширины площадки контакта до двух раз, уменьшая при этом площадь контакта стружки с передней поверхностью и снижая коэффициент трения, что, в свою очередь приводит к уменьшению коэффициента усадки стружки.

При применении покрытия на многогранных твердосплавных пластинах наблюдается изменение характера износа рабочих поверхностей режущего инструмента на передней и задней поверхностях, где и образуется уступ с наклоном к режущему лезвию. При этом резцы, не имеющие покрытий, подвергаются активному абразивно-механическому изнашиванию в условиях адгезионного взаимодействия инструментального материала со стружкой. Исходя из чего, видно, что покрытие на поверхности сменных пятигранных неперетачиваемых пластин (ПНП) (рис.3) приводит к существенному снижению интенсивности протекания абразивно-механического износа и налипания стружки в отличии от пластин не имеющих покрытий (рис.4).

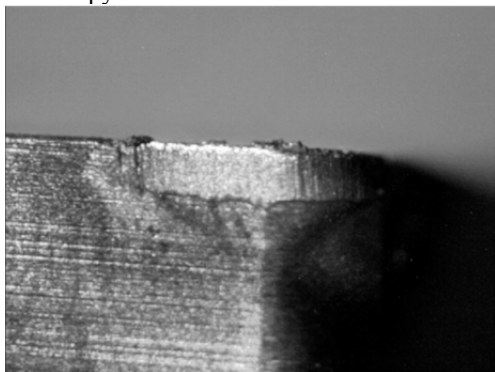


Рис. 3. Износ пластина Т40 с покрытием TiN

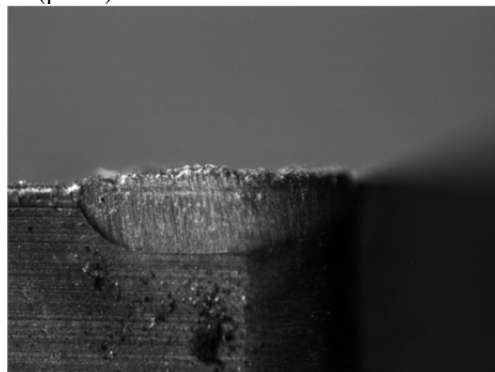


Рис. 4. Износ пластина Т40 без покрытия

Выводы

1. Обосновано использование сменных пятигранных неперетачиваемых пластин 5/10 в условиях точения хромистых сталей и экспериментально доказано повышение их стойкостных характеристик за счет нанесения ионно-вакуумным путем нитрида титана.

2. При сравнении экспериментальных образцов режущего инструмента, с нанесенным покрытием нитрид титана на пластины из твердых сплавов марок Т5К10, Т40, ВК8 доказано, что Т40 обладает наиболее высокими стойкостными характеристиками при обработке коррозионной жаропрочной стали 20Х13 в условиях точения.

3. За счет нанесения фаски 1x45 на многогранные пластины, значительно уменьшилось сколообразование, в результате удара при заходе на заготовку режущего инструмента, что получило экспериментальное подтверждение на примере пятигранных неперетачиваемых пластин.

4. По результатам экспериментальных исследований видно, что при точении труднообрабатываемой коррозионно-стойкой жаропрочной стали 20Х13 на одинаковых режимах резания резцами оснащенных сменными ПНП с TiN – покрытием стойкостных характеристики режущего инструмента повышается до 2-х раз по сравнению со стойкостью резцов, не имеющих покрытий.

Анотація. Розглянуто та проаналізовано дані, отримані при використанні змінних багатограних непереточуваних пластин з покриттям нітрид титану в порівнянні з традиційними пластинами, які не мають покриттів. Експериментальним шляхом визначено оптимальний вибір різального інструменту при обробці жароміцної корозійностійкої сталі 20Х13. Проаналізовано характер зносу змінних багатограних непереточуваних пластин з фаскою один міліметр під кутом 45 градусів з нанесеним покриттям нітрид титану

Ключові слова: різальний інструмент, п'ятигранні пластини, корозійностійка сталь, нітрид титан, точіння, знос, стійкість, покриття.

Abstract. The problem of wear-resistant coatings influence on the cutting tool's durability characteristics during the corrosion resistant materials treatment has been experimentally studied.

Purpose. The increase of the cutting tools with titanium nitride coatings resistant durability should be experimentally proved while chromium steels whetting.

Design/methodology/approach. The foregoing problem was solved the same way: during the experiment the investigation object was whetted by the special cutting instrument. Its cutting blade was fed by titanium nitride ions. Such decision gave us an opportunity to obtain the serious increase of the instrument's durability.

Findings. It has been experimentally found that the usage of wear-resistant coatings, containing titanium nitride can increase such important characteristics of cutting tools as their reliability and durability.

Originality/ value. The developed experimental methodology and obtained methodology can be widely used for a great range cutting tools durability parameters investigation.

Keywords. Cutting tools, pentagonal plates, corrosion-resistant steel, titanium nitride, whetting, wear, durability, coatings.

Библиографический список использованной литературы

1. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями [Текст]: монография // под ред. И.С. Форстен. А.С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993 325с.
2. Верещака, А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями [Текст] / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
3. Мацевитый, В.М. Покрытия для режущих инструментов [Текст] / В.М. Мацевитый. – Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. 128 с.
4. Табаков, В.П. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания [Текст] / В.П. Табаков, А.В. Чихранов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. 255с.
5. Табаков, В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента [Текст] / В.П. Табаков – М.: Машиностроение, 2008. 311 с.
6. Табаков, В.П. Применение многослойных покрытий для повышения работоспособности режущего инструмента [Текст] / В.П. Табаков, А.В. Циркин // СТИН. – 2005. – №1. – С. 37 – 40.
7. Москалев, А.П. Обработка хромистых сталей [Текст] / А.П. Москалев, А.А. Лимарь // Матеріали Пміжнароднонауково-технічноїконференції –Миколаїв: НУК – 2012. – С.121 – 123.
8. Лимарь, А.А. Повышены износостойкости режущего инструмента в условиях точения хромистой стали [Текст] / А.А. Лимарь // Матеріали Пміжнародної науково-технічної конференції –Миколаїв: НУК – 2012. – С.144 – 145.
9. Грановский, Г.И. Режущие свойства быстрорежущих сталей дисперсионного твердения [Текст] / Г.И. Грановский, В.А. Шмаков // Вестник машиностроителя, 1970, №11. 420с.
10. Егоров, С.В. Исследование обрабатываемости резанием жаропрочных сплавов [Текст] / С.В. Егоров, С.И. Волков. – ВНИИ ЦБТИ, 1959. 364с.
11. Зорева, Н.Н. Исследование производительных процессов резания жаропрочных сплавов [Текст] / Н.Н. Зорева // Труды ЦНИИТмаш. 1961, №17. 282с
12. Кривоухов, В.А. Обработываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов [Текст] / В.А. Кривоухов, С.В. Егоров, Б.М. Брунштейн. – М.: Машгиз, 1961. 325с.
13. Малкин, А.Я. Обработка резанием высокопрочных и жаропрочных материалов [Текст] / А.Я. Малкин, С.В. Егоров. – М.: НТОмашпром, 1961. 240с
14. <http://www.kzts.ru/articles/24> Новые марки и конструкции режущих пластин.
15. <http://www.kzts.ru/articles/8> Характерные виды износа пластин

References

1. Vereshhaka, A.S. Rabotosposobnost' rezhushhego instrumenta s iznosostojkimi pokrytijami [The efficiency of the cutting tools with wear-resistant coatings]. Moscow: Mashinostroenie, 1993 325p.
2. Vereshhaka, A.S. Rezhushhie instrumenty s iznosostojkimi pokrytijami [The cutting tools with wear-resistant coatings]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 192 p.
3. Macevityj, V.M. Pokrytija dlja rezhushhijh instrumentov [The cutting tools coatings]. Kharkov: Vishha shkola. 1987. 128 p
4. Tabakov, V.P. Iznosostojkie pokrytija rezhushhego instrumenta, rabotajushhego v uslovijah nepreryvnogo rezanija [The wear-resistant coatings of the cutting tools, working during continuous cutting]. Ul'janovsk: UIGTU, 2007. 255p.
5. Tabakov, V.P. Formirovanie iznosostojkih ionno-plazmennyh pokrytij rezhushhego instrumenta [The forming of the ion coatings for the cutting tools]. Moscow: Mashinostroenie, 2008. 311 p.
6. Tabakov, V.P. Primenenie mnogoslojnyh pokrytij dlja povyshenija rabotosposobnosti rezhushhego instrumenta [The several lays coatings usage for the cutting tools efficiency increase]. STIN. 2005. No 1. p. 37 – 40.
7. Moskalev, A.P. Obrabotka hromistyh stalej [The chromium steels treatment]. Mikolaiv: The Journal of NUK, 2012. p.121 – 123.
8. Lymar' A.A. Povyshenie iznosostojkosti rezhushhego instrumenta v uslovijah tochenija hromistoj stali [The cutting tools durability increase during the chromium steels treatment] Mikolaiv: The Journal of NUK, 2012. p.144 – 145.
9. Granovskij G.I. Rezhushhie svojstva bystrorezhushhijh stalej dispersionnogo tverdenija [The cutting ability of the dispersive solid high-speed cutting steels]. Vestnik mashinostroitelja, 1970, No 11. 420p.
10. Egorov S.V. Issledovanie obrabatyvaemosti rezaniem zharoprochnyh splavov [The cutting machinability of the superalloys investigation]. VNII CBTI, 1959. 364p.
11. Zoreva N.N. Issledovanie proizvoditel'nyh processov rezanija zharoprochnyh splavov [The cutting processes of superalloys investigations]. Trudy CNIITmash. 1961, No 17. 282p.
12. Krivouhov V.A. Obrabatyvaemost' rezaniem zharoprochnyh i titanovyh splavov [The superalloys and titanium alloys cutting efficiency]. Moscow: Mashgiz, 1961. 325p.
13. Malkin A.Ja. Obrabotka rezaniem vysokoprochnyh i zharoprochnyh materialov [The high-strength and heat-strength materials cutting treatment]. Moscow: NTOmashprom, 1961. 240p.
14. <http://www.kzts.ru/articles/24> The new marks and constructions of cutting plates.
15. <http://www.kzts.ru/articles/8> The cutting plates wear and its main types.