

А.И. САГРАДЯН, С.Г. МАМЯН, А.А. ПАПАЗЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ ПРИРАБОТКИ ТРЕНИЕМ

Установлено, что для пар трения резец-сходящая стружка при выбранных режимах приработки стали 45 резцами из быстрорежущих сталей P18 и безуглеродистых быстрорежущих сплавов В14М7К25 для повышения износостойкости инструмента большой интерес представляет технологический прием упрочнения тонких поверхностных слоев путем модификации структур передней поверхности контакта готовых инструментов с применением метода приработки трением. Данный прием в технологическом цикле изготовления инструмента без применения особых энергозатрат рассматривается как финишная операция.

Ключевые слова: деформация, температура, дислокация, энтропия, приработка трением, упрочнение, микротвердость.

Чрезвычайно важную, а в ряде случаев определяющую роль в машиностроении и, в частности, в металлообработке играют вопросы, касающиеся инженерии поверхности твердого тела. Современные теоретические и технологические положения пластической деформации металлов основаны на физике и механике твердого тела, физическом материаловедении, физической химии и теории деформационного трения. Как известно, причина низкого ресурса деталей и инструментов связана преимущественно с недостаточной прочностью, износостойкостью и коррозионной устойчивостью их поверхностных слоев.

Существует множество методов упрочнения тонких поверхностных контактных слоев пар трения сопряженных деталей в конструкциях машин и механизмов, а также металлорежущих инструментов, изготовленных из инструментальных сталей и сплавов, в частности, из различных быстрорежущих сталей и безуглеродистых быстрорежущих сплавов. К таким методам относятся: пластическая деформация, термомеханическая обработка, химико-термическая обработка, радиационные методы модификации и упрочнения (лазерная обработка тонких поверхностных слоев, обработка мощными ионными пучками, а также низкими и высокоэнергетическими сильноточными электронными пучками) [1,2].

Целью настоящей работы является упрочнение тонких поверхностных слоев передней поверхности инструмента в процессе резания путем воздействия сходящей стружки при выбранных температурно-силовых характеристиках, создания новых структурных образований с повышенными физико-механическими свойствами методом приработки трением.

Эксперименты проводились на многоцелевом станке 16К20, оснащенном вариатором ВР1. Для измерения составляющих сил резания использована тензометрическая станция, состоящая из универсального динамометра УДМ-1, сигналы с которого регистрировались осциллографом К-105. Измерение средней температуры контакта пар трения резец-обрабатываемый материал производилось методом естественной термопары. Структурные изменения в поверхностных слоях контакта инструмента контролировались металлографическим микроскопом Neophot-32. Оценка уровня изменения структуры в поверхностном слое в результате приработки трением и пластической деформации по ширине контакта C и особенно на пластическом участке C_1 производилась измерением микротвердости с использованием микротвердомера ПМТ-3.

Экспериментами выявлено, что трение является самоорганизующейся системой, при которой возникают неравновесные процессы деформации и теплопередачи. Последние становятся элементами образующихся новых структур на тонких поверхностных слоях контакта инструмента под воздействием сходящей стружки (рис.1) [3].

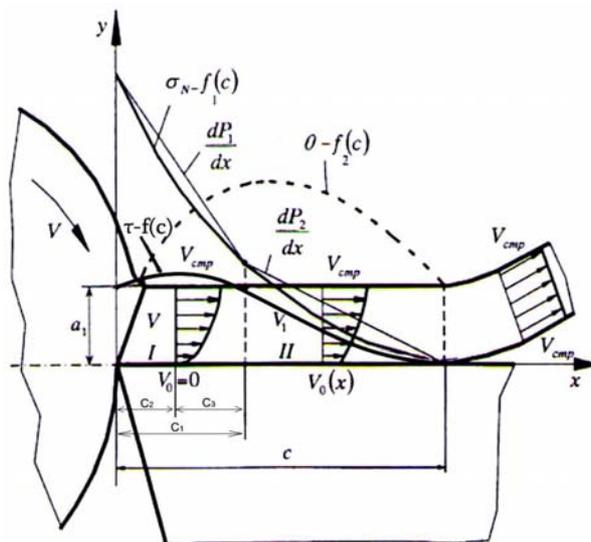


Рис.1. Модель взаимодействия температурно-деформационных характеристик сходящей стружки на передней поверхности инструмента

При этом деформации, возникающие особенно на пластическом участке контакта и формирования новых структур, приводят к повышению неравновесности и уменьшению энтропии - S , увеличению свободной энергии Гиббса ($G=E-TS+PV$) на тонких поверхностных слоях, интенсифицируя возможность наибольшей самоорганизации структур. Самоорганизация новых структур в тон-

ком поверхностном слое инструмента под воздействием силовых и тепловых характеристик в процессе резания, порожденных потоком свободной энергии, представляет собой особое состояние структуры, образующейся в результате обмена энергией на поверхности контакта инструмента со сходящей стружкой, что приводит к уменьшению энтропии и самообразованию новых структур с более износостойкими характеристиками, особенно на участке пластического контакта.

В процессе резания изменение энтропии можно рассматривать по [4]:

$$dS = dS_e + dS_i,$$

где dS_e - внешний вклад энтропии за счет обмена теплотой и веществом с внешней средой, т.е. между инструментом и сходящей стружкой, регулируемой параметрами режимов резания и свойствами инструментальных и обрабатываемых материалов; dS_i - изменение энтропии в результате процесса внутри системы.

Энтропия уменьшается, если ее отдача в единицу времени превышает ее производство внутри системы:

$$P = \frac{dS_e}{dt}, \text{ т.е. } \frac{dS}{dt} < 0, \text{ если } \left| \frac{dS_e}{dt} \right| > P > 0.$$

Указанная ситуация возможна в неравновесных процессах, каким является процесс резания, так как в равновесном состоянии преобладает $dS_i > 0$. Этим обусловлено повышение энергии в поверхностном слое и образование новых структур в тонких поверхностных слоях инструмента с применением метода приработки трением.

В процессе приработки трением под воздействием деформационно-температурных факторов, обеспечивающих наибольшие значения сил резания и наименьшие температуры контакта (рис.2) при режимах: $V = 10 \text{ м/мин}$; $S = 0,30 \text{ мм/об}$, $t = 2,0 \text{ м}$ при обработке стали 45 резцами из быстрорежущих сталей P18 и безуглеродистых быстрорежущих сплавов с интерметаллидным упрочнением В14М7К25, соответственно имеем $P_z = 1600 \text{ Н}$, $\theta = 380^\circ\text{С}$, время приработки трением $T = 5 \text{ мин}$; $P_z = 1730 \text{ Н}$, $\theta = 350^\circ\text{С}$, $T = 5 \text{ мин}$ (рис.2).

В условиях вышеуказанных режимов и времени воздействия термодинамических характеристик на контактные поверхностные слои инструмента в процессе приработки трением в связи с повышением дислокации и самоорганизации новых структур повышается комплекс физико-механических свойств в тонких рабочих поверхностях контакта на исследуемых инструментах толщиной соответственно 180 и 150 мкм резцов из P18 и В14М7К25 при обработке стали 45.

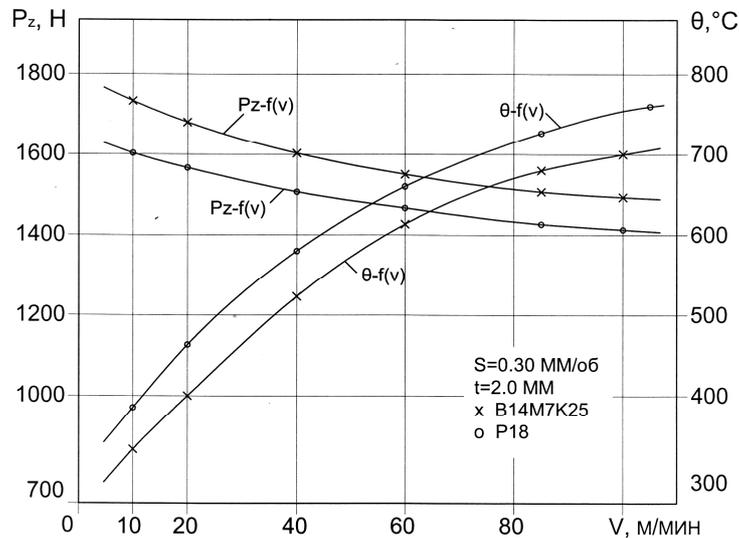


Рис.2. Зависимость вертикальных составляющих сил и средней температуры контакта от скорости резания при обработке стали 45 резцами из P18 и B14M7K25

В частности, структурные изменения в поверхностном слое оцениваются с помощью металлографических рисунков и измерением микротвердости для обоих инструментов (рис.3, 4). Из металлографических рисунков (рис.3 а, а', 4 а, а'), по сравнению с термообработанными исходными структурами инструментальных материалов P18 и B14M7K25 (рис.3 а, 4 а), видны измельчения карбидных фаз WC, VC и интерметаллидных упрочняющих фаз $(FeCo)_7W_6$, $(FeCo)_7Mo_6$ и их более дисперсное распределение на приконтактных тонких слоях обоих инструментов (рис.3 а', 4 а'). Как показывают экспериментальные данные (рис.3б, 4б), в результате приработки трением на 5 мин при вышеуказанных режимах наблюдается изменение структуры в поверхностном слое толщиной 180 и 150 мкм с повышением микротвердости, составляющей для P18 - 240, а для B14M7K25 - 145 HV, по сравнению с исходной микротвердостью инструментов, составляющей соответственно 900 и 1050 HV (рис.3б, 4б). Подобные изменения обусловлены саморегулированием и модификацией структур с упрочнением поверхностных слоев методом приработки трением, в результате чего повышаются износостойкость контактных поверхностных слоев и эксплуатационная долговечность инструмента.

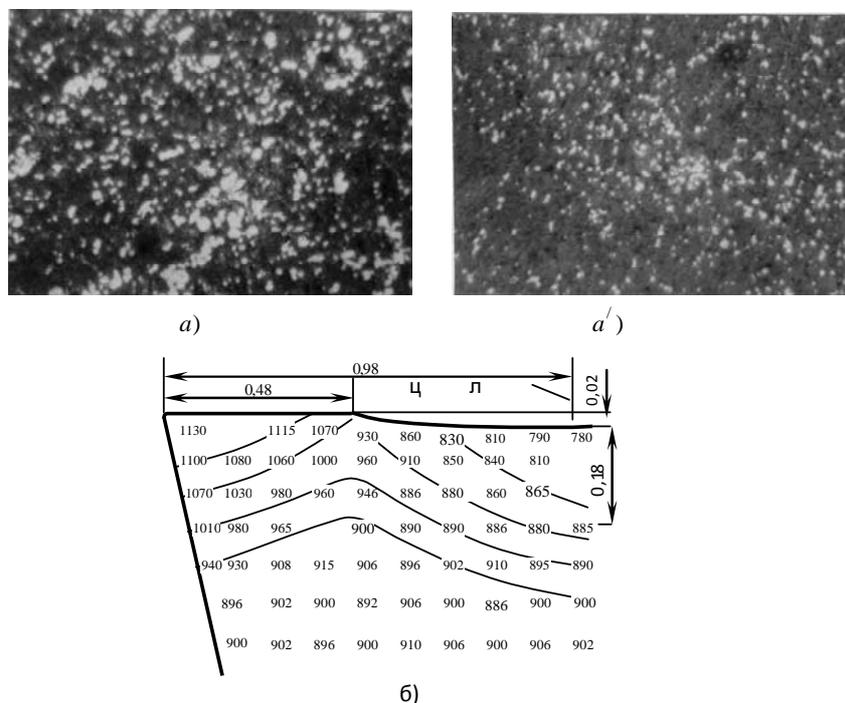


Рис.3. Зависимость структурных изменений и микротвердости поверхностных слоев инструмента от приработки трением пар P18-сталь45: а – исходная структура P18, x500; а' – структура поверхностного слоя после приработки трением, x500; б – микротвердость после приработки трением

Пластическая деформация, как технологический способ изготовления изделий, в частности в процессе обработки резанием, сопровождающемся совместно с трением, наряду с изменением структуры и свойств инструментального материала под деформирующим воздействием сходящей стружки по передней поверхности приводит к модификации и упрочнению инструмента (рис.3, 4). В процессе резания для повышения износостойкости инструментального материала, особенно инструментов из быстрорежущих сталей и сплавов типа P6M5, P18 и B14M7K25, представляет интерес технологический прием упрочнения с применением метода приработки трением рабочих контактных поверхностей готовых инструментов.

В результате такой обработки поверхностный слой контакта пластически деформируется, и образуется дислокационное поле, плотность которого составляет 10^{10} см^{-2} и намного превосходит матричную часть, а при работе на крейсерских скоростях инструмента создает новые структуры в тонких поверхностных слоях толщиной 150...180 мкм с повышенными свойствами износостойкости (рис. 3, 4).

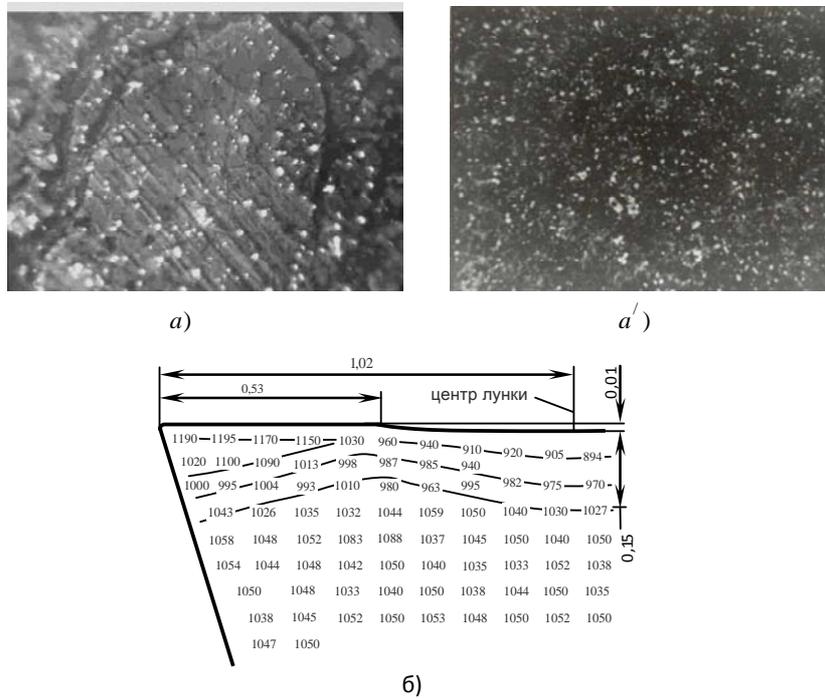


Рис.4. Зависимость структурных изменений и микротвердости поверхностных слоев инструмента от приработки трением пар В14М7К25 – сталь 45: а – исходная структура В14М7К25, х500; а' – структура поверхностного слоя после приработки трением, х500; б – микротвердость после приработки трением

При воздействии деформации и выходе дислокации на поверхность контакта появление вакансий в объеме поверхностного слоя приводит к уменьшению энтропии за счет взаимопоглощенности двух противоположных потоков: дислокации атомов, движущихся к поверхности контакта инструмента, и вакансии атомов, движущихся от поверхности в глубину слоя. Изменение на поверхности контакта пар трения резец-сходящая стружка начинается в результате локализации зоны деформационного упрочнения на участке пластического контакта, где действует примерно 90% напряжения общего контакта.

Таким образом, при наших экспериментах самоорганизующие новые структуры образуются при тренировке трением на малых скоростях резания ($V=10$ м/мин) под воздействием максимальных силовых и деформационных факторов между парами трения инструмент-сходящая стружка, которые являются термодинамической системой с неравновесным процессом перехода механической энергии в тепловую. Этот переход в процессе трения связан с накоплением энергии деформирования в кристаллической решетке в контактных поверхностных слоях инструмента, т.е. в зоне конфигурационной энтропии, что и вызывает

изменение структур и коэффициента трения. В результате полученных экспериментальных данных при обработке стали 45, с целью повышения износостойкости инструментальных материалов из быстрорежущих сталей P18 и безуглеродистых сплавов В14М7К25, большой интерес представляет технологический прием упрочнения тонких поверхностных слоев путем модификации структур контактных поверхностей готовых инструментов с применением метода приработки трением.

Исследованные параметры режимов резания (v , s , t) обеспечивают максимальные силы и деформации на контакте при сравнительно низких температурах пар трения инструмент-сходящая стружка в течение 5 мин приработки трением.

Установлено, что в обоих случаях наилучшее температурно-деформационное состояние и упрочнение тонких поверхностных слоев достигнуто при режимах $V=10$ м/мин; $S = 0,30$ мм/об.; $t=2,0$ мм и времени приработки трением $T_{\text{п}}=5$ мин, когда на передней поверхности резцов из быстрорежущей стали P18 действующая сила составляет $P_z = 1600H$ при температуре $\theta = 380^{\circ}C$, а для пар трения В14М7К25 – сталь 45: $P_z = 1730H$ при $\theta = 350^{\circ}C$.

Таким образом, сформировавшаяся структура в тонком поверхностном слое контакта инструмента в процессе тренировки трением приводит к упрочнению рабочих контактных поверхностей инструмента под воздействием выбранных силовых и тепловых характеристик, что наиболее полно отвечает требованиям реальных условий процесса резания, показывая имеющийся значительный резерв повышения физико-механических свойств без особых энергозатрат и времени, а также износостойкости и эксплуатационного качества инструментов. Практически данный технологический прием осуществляется до начала работы инструмента, и его можно сравнить с низкотемпературной термомеханической обработкой тонких поверхностных контактных слоев инструмента [5].

В результате приработки трением под воздействием заранее экспериментально установленных температурно-силовых характеристик происходят процессы динамической полигонизации и реполигонизации, увеличиваются плотность дислокации, равномерность их распределения с образованием новых структур, упрочняющих тонкие слои передней поверхности инструмента. В технологическом цикле изготовления инструмента данный прием можно рассматривать как финишную операцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белоус В.А., Лапшин В.И., Марченко И.Г., Неклюдов И.М.** Радиационные технологии модификации поверхности/ Национальный научный центр "Харьк. физ-тех. инс.", Н.Ф.Т.Ц. МОН и НАН Украины (Харьков) //ФИП PSE.-2003.- Том 1, N 1. - С. 40-48.
 2. Долговечность трущихся деталей машин: Сборник статей. Выпуск 2/ Под общей редакцией д-р. техн. наук, проф. **Д.Н. Гаркунова**. – М.: Машиностроение, 1987. – 302 с.
 3. **Sahradian A.I.** The physical modeling of cutting process steel treatment // IEEE, EPS, SPICS, MM, Phis. Con-2005. International conference, Physics and Control, PROCEEDINGS, August 24-26, 2005.- Saint Peterburg, 2005.-P.880-883.
 4. **Эбелинг В.** Образование структур при необратимых процессах / Под ред. **Ю.Л. Климантовича**. - М.: Мир, 1979. – 271с.
 5. **Саградян А.И., Малян С.Г.** Особенности формирования поверхностных слоев инструмента из безуглеродистых сплавов при естественной термомеханической обработке в процессе резания //Проблемы механики: Междунар. научн. журн. – Тбилиси, 2007. – N1(26). – С. 81-86.
- ИППФ НАН РА. Материал поступил в редакцию 10.06.2011.

Ա. Ի. ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ, Ս. Գ. ՄԱՄՅԱՆ, Ա. Հ. ՓԱՓԱԶՅԱՆ

ԳՈՐԾԻՔԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ՆԱԽՆԱԿԱՆ ՇՓԱՄՇԱԿՄԱՆ ՄԵԹՈՂՈՎ ԱՄՐԱՑՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Գիտա-փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում կտրիչ-հեռացող տաշեղ (P18 - պողպատ 45, B14M7K25-պողպատ45) շփվող գույգերի համար ընտրված ռեժիմներով նախամշակման ժամանակ բացահայտվել է պատրաստի գործիքների շփամշակման մեթոդով կոնտակտի առջևի մակերևութային բարակ շերտերի նոր կառուցվածքների ձևավորմամբ ամրացման և մաշակայունության բարձրացման տեխնոլոգիական եղանակ: Գործիքի պատրաստման տեխնոլոգիական շղթայում, առանց զգալի էներգաձախսերի, նշված տեխնոլոգիական գործառույթը կարելի է դիտարկել որպես վերջնամշակման օպերացիա:

Առանցքային բառեր. դեֆորմացիա, ջերմաստիճան, դիսլոկացիա, էնթալպիա, նախնական շփամշակում, միկրոկարծրություն:

A.I. SAHRADYAN, S.G. MAMYAN, A.H. PAPAZYAN

INVESTIGATION OF TOOL CONTACT SURFACE LAYER-REINFORCING BY THE METHOD OF FRICTION BURNISHING

By obtained scientific-experimental data it is stated that for friction pair of cutter-converging chips while processing steel 45 with cutters made of high-speed steel P18 and non-carbonic high-speed alloys with inter-metal hardening of B14M7K25 for durability increasing of tools there is a great interest in the technological technique of hardening the thin contact surface layers of the tool by means of the method of friction burnishing with the modified structure of the front contact surface of the ready tool. In the tool making technological cycle, without big energy expenses this technological technique can be considered as the final operation.

Keywords: deformation, temperature, dislocation, entropy, friction burnishing, reinforcing, microhardness.