

А.И. САГРАДЯН, В.С. СИМОНЯН, А.А. ПАПАЗЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НА КОНТАКТЕ ПЕРЕДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Исследованы вопросы инженерии и изменения характеристик поверхностного слоя передней поверхности инструмента в результате структурообразования в тонких поверхностных слоях контакта резца из стали Р6М5 под воздействием пластических деформаций при обработке стали 45 с управлением процессом резания. Экспериментально установлен характер распределения микротвердости по глубине и поверхности контакта в зависимости от деформированного структурно измененного слоя, приводящего к повышению микротвердости, износостойкости и экспериментальной долговечности инструмента.

**Ключевые слова:** пластическая деформация, дислокация, структурообразование, микротвердость, инженерия поверхностного слоя, энтропия, свободная энергия, износостойкость.

Поверхность контакта является одним из главных объектов инструмента при обработке материалов резанием, вследствие чего происходящие температурно-деформационные явления влияют на процессы самоорганизации новых структур в тонких поверхностных слоях контакта, что, в свою очередь, повышает микротвердость, износостойкость и работоспособность инструмента. В настоящее время требования к разработке различных методов поверхностной модификации и внедрению новых ресурсосберегающих технологий для применения в промышленности резко возросли, что приводит к повышению эксплуатационной долговечности инструмента без дополнительных энергозатрат [1-3].

Целью работы является исследование структурных изменений и выявление характеристик модифицированных тонких поверхностных слоёв на контакте передней поверхности инструмента под воздействием температурно-силовых напряжений и пластических деформаций.

В условиях современных требований в машиностроении одним из наиболее распространенных и эффективных путей совершенствования инструментальных материалов является применение методов поверхностной модификации с целью изменения структуры, а также повышения физико-механических свойств поверхностных слоев инструментов. В процессе резания наиболее нагруженными оказываются контактные поверхностные слои, свойства которых определяют работоспособность инструментов при обработке материалов. Основным объектом исследования современного материаловедения являются модификация и создание

новых структур, обладающих уникальным сочетанием таких свойств, как высокая прочность, твердость, износостойкость и эксплуатационная долговечность [4, 5].

Эксперименты проводились на многоцелевом станке 16К20 при обработке стали 45 резцами из быстрорежущей стали Р6М5. Для регистрации сил резания использована тензометрическая станция К-105, в состав которой входит динамометр УДМ-1, сигналы с которого через усилитель ТА-5 регистрируются шлейфовым осциллографом Н-700.

Измерения температур контакта проводились методом естественной термомпары. Для оценки характеристик изменения модифицированной структуры применен метод измерения микротвердости с использованием микротвердомера ПМТ-3.

Пластическая деформация как технологический способ воздействия на структурообразование в тонких поверхностных слоях контакта передней поверхности инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 имеет различные характеристики на пластическом и упругом участках контакта. Под воздействием сходящегося потока обрабатываемого материала как по глубине, так и по ширине контакта  $C$  меняются структура и прочностные характеристики инструмента. Это связано с различием механизмов реконструкции структур на участках деформационного упрочнения  $C_2$  и температурного разупрочнения  $C_3$ , на пластическом участке контакта  $C_1$  и динамической рекристаллизацией на упругом участке  $C-C_1$  (рис. 1).

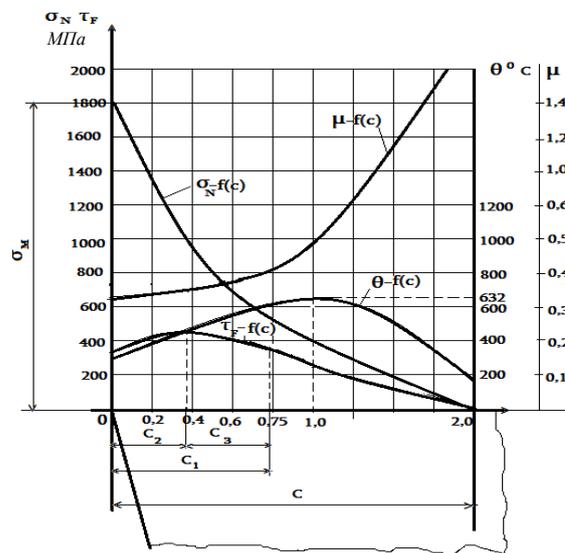
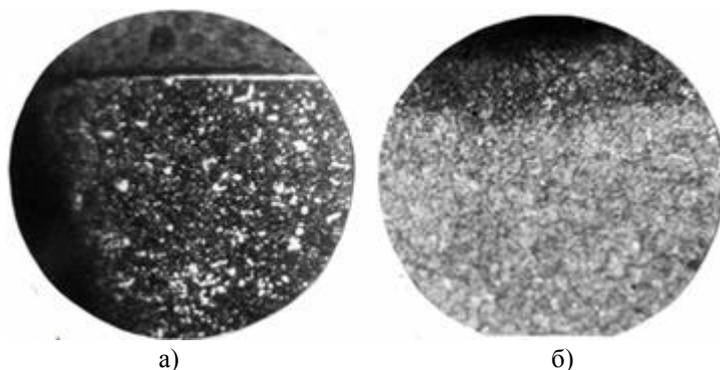


Рис. 1. Зависимость температурно-силовых характеристик от воздействия сходящегося потока стружки на контакте передней поверхности инструмента из Р6М5 при обработке стали 45 режимами:  $V=40$  м/мин;  $S=0,30$  мм/об;  $t=2,0$  мм

На участке внешнего трения  $C-C_1$  под воздействием температурно-силовых давлений и высоких коэффициентов трения начинаются рекристаллизационные явления, повышающие энергию поверхностных атомов, снижающих микротвердость (рис. 1).

Внедрением ресурсосберегающих технологий в процессе резания, без дополнительных энергозатрат, путем модификации структур тонких поверхностных слоев инструмента из Р6М5 вследствие температурно-силовых воздействий сходящего потока из стали 45 (управлением процесса резания и регулированием параметров режимов обработки) можно достичь самоорганизации новых структур, приводящей к повышению износостойкости и эксплуатационной долговечности инструмента, особенно на участке пластического контакта [3,4].

Экспериментальными исследованиями установлено, что в тонких поверхностных слоях инструмента из Р6М5 под воздействием температурно-силовых факторов с самоорганизацией новых структур и формированием дисперсного распределения упрочняющих карбидных фаз  $WC$ ,  $MoC$  в процессе резания, а также пластических деформаций поверхностных слоев передней поверхности инструмента из Р6М5 наблюдаются различные эффекты изменения структуры и микротвердости по ширине контакта  $C$  и глубине до исходной микротвердости (рис. 2).



*Рис. 2. Зависимость структурных изменений на контакте передней поверхности резца из Р6М5 от температурно-силовых воздействий сходящей стружки из стали 45 режими:  $V=40$  м/мин;  $S=0,3$  мм/об;  $t=2,0$  мм: а - участок упрочненного пластического контакта; б - участок рекристаллизованного упругого контакта (x500)*

В результате пластической деформации на участке контакта передней поверхности обнаружено (рис. 3), что микротвердость в зоне пластического контакта  $C_1$  повышается до  $1080 HV$  (при базовой микротвердости  $880 HV$ ), естественно, повышая износостойкость. На участке упругого контакта, наоборот, замечено снижение микротвердости до  $760 HV$  за счет происходящих рекристаллизационных явлений, где в центре лунки температурное давление и коэффициент трения

имеют наибольшее значение (рис. 1) и доходят соответственно до 630<sup>0</sup>С и  $\mu=1,2$ , что приводит к снижению микротвердости и интенсификации молекулярно-адгезионного, а также диффузионного изнашивания. При этом толщина рекристаллизованной структуры с лункой составляет 0,34...0,04 мм (рис. 3).

Самоорганизация новых структур в тонком поверхностном слое инструмента под воздействием силовых и тепловых характеристик сходящего потока обрабатываемого материала в процессе резания в результате обмена энергией на поверхности контакта инструмента со сходящей стружкой приводит к уменьшению энтропии и самообразованию новых структур с более износостойкими характеристиками на участке пластического контакта. В процессе резания энтропия составляет  $dS=dS_e+dS_i$  [4], где  $dS_e$  - внешний вклад энтропии за счет обмена теплотой между инструментом и сходящей стружкой;  $dS_i$  - изменение энтропии в результате процесса внутри системы.

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

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

Подобные изменения являются результатом саморегулирования и модификации поверхностных слоев резца с применением метода пластической деформации, повышения износостойкости контактных поверхностных слоев и эксплуатационной долговечности инструмента с целью управления процессом резания. В равновесном состоянии энтропии при резании преобладает  $dS_i > 0$ . Свободная энергия Гиббса будет  $G=E-TS+PV$ , которая с уменьшением энтропии  $S$  вызывает повышение свободной энергии в поверхностном слое и образование новых структур в тонких поверхностных слоях инструмента по ширине контакта с применением метода пластической деформации.

Как видно из рис. 3, в центре лунки резца из Р6М5 микротвердость снижается в результате рекристаллизационных процессов в структуре инструментального материала.

В процессе динамической рекристаллизации в центре наибольшего теплового давления, где температура доходит до 632<sup>0</sup>С [4] и выше, при средней температуре контакта 570<sup>0</sup>С микротвердость снижается до 760 HV (рис. 3). На участке пластического контакта под воздействием температурно-силовых характеристик  $P_z=1520 \text{ Н}$ ,  $T_{cp}=570 \text{ }^0\text{С}$  при реальной температуре ниже 500<sup>0</sup>С [3,4] поверхностный слой пластически деформируется, происходят внутридислокационные процессы и самоорганизация новых структур с повышенными физико-механическими свойствами и микротвердостью. Толщина упрочненного поверхностного слоя с модифицированной структурой на участке пластического контакта составляет 140 мкм, где микротвердость по сравнению с базовой микротвердостью

термообработанного инструмента выше в среднем на 200 HV и при пластической деформации составляет 1080 HV по отношению к базовой – 880 HV (рис. 3).

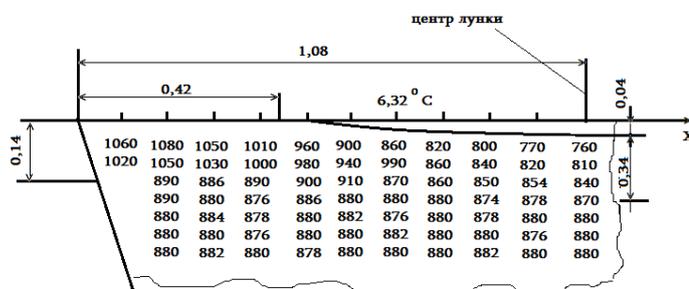


Рис. 3. Зависимость микротвердости от пластической деформации по площади контакта и глубине после 10 мин работы реза из Р6М5 при обработке стали 45 режимами:  $V_{60} = 40$  м/мин;  $S = 0,30$  мм/об;  $t = 2,0$  мм

Исследованиями структурных изменений на передней поверхности участков пластического и упругого контактов выявлено, что участок пластического контакта в результате пластической деформации упрочняется вследствие воздействия нормальных и касательных напряжений, трения и температур, а упругий участок С-С<sub>1</sub> - в результате тепловых давлений и трения, контактные поверхностные слои инструмента рекристаллизуются при взаимодействии со сходящей стружкой (рис. 4).

Конфигурация упрочненного структурно измененного поверхностного слоя на контакте передней поверхности инструмента отражает воздействие температур, нормальных и касательных напряжений. Как видно из рис. 4, изменения структур на участке пластического контакта имеют обратные по форме распределения касательных напряжений на том же участке.

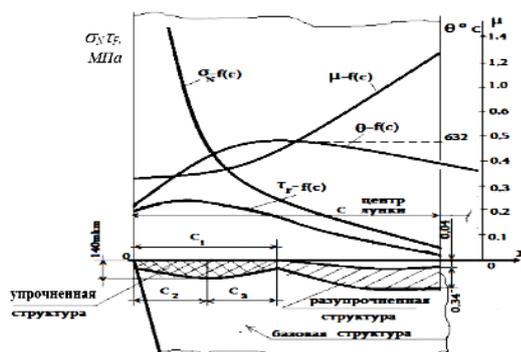


Рис. 4. Зависимость структурных изменений от пластической деформации и температур на участке контакта передней поверхности инструмента из Р6М5 после 10 мин работы при обработке стали 45 режимами:  $V = 40$  м/мин;  $S = 0,3$  мм/об;  $t = 2,0$  мм

Толщина структурно измененного, упрочненного слоя имеет максимальную величину примерно на границе деформационного упрочнения  $C_2$ , в центре пластического участка контакта  $C_1/2$ , совпадающего с максимальными значениями касательных напряжений (рис. 4). На участке упругого контакта  $C-C_1$ , где действуют сравнительно малые значения нормальных и касательных напряжений, при высоких тепловых давлениях происходят рекристаллизационные процессы, где максимальная величина ослабленного структурно измененного слоя наблюдается примерно в центре лунки, толщина которого оценивается измерением микротвердости по отношению к базовой (рис. 3,4).

Толщина пластически деформированного, упрочненного слоя по глубине проникновения на пластическом участке контакта инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 под температурно-силовым воздействием сходящей стружки из стали 45 в процессе резания составляет 100...140 мкм (рис. 3, 4). На рис. 5 показано распределение микротвердости от поверхности пластического контакта в глубь инструментального материала в зависимости от дальности передней поверхности инструмента на участке пластического контакта. Как видно из рисунка, при глубине 120 мкм микротвердость составляет 1010 HV, а при 130 мкм - 950 HV. При 140 мкм и больше микротвердость соответствует базовой микротвердости исследуемого инструментального материала из Р6М5-880 HV.

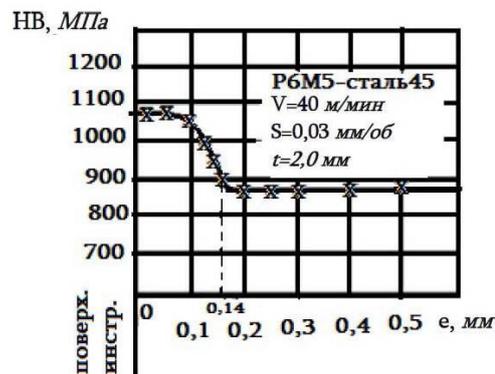


Рис. 5. Изменение микротвердости по глубине на участке пластического контакта передней поверхности от воздействия пластической деформации после 10 мин работы инструмента

В процессе резания для повышения износостойкости инструментального материала, особенно инструментов из быстрорежущих сталей и сплавов типа Р6М5, Р18 и В14М7К25, представляет интерес технологический прием упрочнения с применением метода пластической деформации контактных поверхностей [3].

В результате такой обработки поверхностный слой контакта пластически деформируется, образуя дислокационное поле, плотность которого составляет

$10^{10} \text{ см}^{-2}$ , и намного превосходит матричную часть при работе на крейсерских скоростях инструмента, создавая новые структуры в тонких поверхностных слоях толщиной от 130...150 мкм с повышенными свойствами износостойкости и долговечности инструмента (рис. 3 и 4).

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 их вакансии, 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, в проведенных экспериментах самоорганизующиеся новые структуры образуются под воздействием максимальных силовых и деформационных факторов между парами трения инструмент-сходящая стружка, являющимися термодинамической системой с неравновесным процессом перехода механической энергии в тепловую. Этот переход в процессе трения связан с накоплением энергии деформирования в кристаллической решетке на контактных поверхностных слоях инструмента, т.е. в зоне конфигурационной энтропии, что влечёт за собой изменение структур и коэффициента трения. На основе полученных экспериментальных данных при обработке стали 45 для повышения износостойкости инструментальных материалов из быстрорежущих сталей Р6М5, Р18 и безуглеродистых сплавов В14М7К25 большой интерес представляет технологический прием упрочнения тонких поверхностных слоев с применением метода пластической деформации и модификацией структур контактных поверхностей готовых инструментов.

Исходя из полученных экспериментальных данных (рис. 3), построен график изменения микротвердости непосредственно по передней поверхности инструмента по ширине контакта со сходящей стружкой (рис. 6).

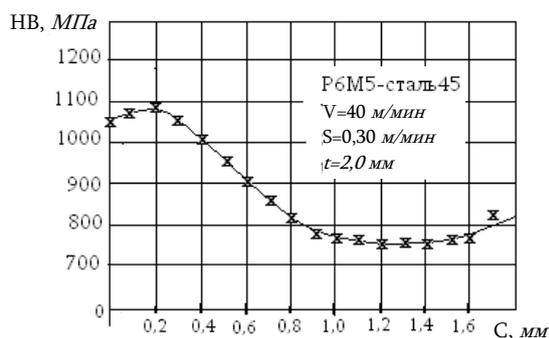


Рис. 6. Изменение микротвердости поверхностного слоя в зависимости от ширины контакта резец-сходящая стружка после 10 мин работы инструмента

Характер изменения микротвердости по ширине всего контакта отражает результат пластической деформации и самоорганизации упрочняющих структур на участке пластического контакта. На участке упругого контакта С-С<sub>1</sub>, начиная с конца пластического участка до центра лунки, где действуют максимальные температуры с интенсификацией адгезионных явлений, наблюдается некоторое снижение микротвердости (рис. 6).

Установлено, что пластическая деформация как упрочняющий фактор контактных поверхностей инструмента оказывает влияние на самоорганизацию новых структур и изменение свойств в тонких поверхностных слоях на передней поверхности контакта инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45. При деформационно-тепловом воздействии экспериментально доказано, что с применением ресурсосберегающих технологий, подобно пластическим деформациям, можно достичь повышения износостойкости и эксплуатационной надежности инструмента.

Таким образом, сформировавшаяся структура в тонком поверхностном слое контакта инструмента с управлением процесса резания и регулированием параметров режимов обработки приводит к упрочнению рабочих контактных поверхностей инструмента под воздействием выбранных температурно-силовых характеристик, что наиболее полно отвечает требованиям реальных условий процесса резания. Показано, что имеется значительный резерв повышения физико-механических свойств, без применения особых энергозатрат и времени, что, в конечном итоге, приводит к повышению износостойкости и эксплуатационной долговечности инструментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерия поверхности деталей / **А.Г. Сулов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Панфилов** и др. - М.: Машиностроение, 2008. - 320 с.
2. **Якубов Ф.Я., Ким В.А.** Энергетика процесса самоорганизации при трении и изнашивании // Высокие технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. "ХПИ". – Харьков, 2001.- Вып.1(4). - Электронная версия.  
<http://users.kpi.kharkov.ua/cutting/izdania/>.
3. **Сагрядян А.И., Папазян А.Л.** Пластическая деформация как фактор самоорганизации новых структур в тонких поверхностных слоях контакта инструмента // Вестник ГИУА: Мат. науч.-техн. конф. ГИУА. – Ереван, 2012. - С. 515-521.
4. **Сагрядян А.И.** Исследование температурных полей методом конечных разностей // Изв. АН АрмССР. Сер.ТН. - 1981. - Т. XXXIV, N 6. - С. 3-9.
5. **Эбелинг В.** Образование структур при необратимых процессах / Под ред. Ю.Л. Климантовича. - М.: Мир, 1979. – 271 с.

Армянский государственный педагогический университет им Х. Абовяна. Материал поступил в редакцию 12.01.2016.

Ա.Ի. ՍԱՀՐԱԴՅԱՆ, Վ.Ս. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Հ. ՓԱՓԱԶՅԱՆ

**ՊԼԱՍՏԻԿ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՄԲ ԳՈՐԾԻՔԻ ԱՌՋԵՎԻ  
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՀՊՄԱՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹՅԱՅԻՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ  
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Հետազոտվել են գործիքի առջևի մակերևույթի հպման մակերևութային բարակ շերտերի ճարտարագիտությանը վերաբերող խնդիրները՝ պայմանավորված բարակ մակերևութային շերտերում պլաստիկ դեֆորմացման ազդեցությամբ նոր կառուցվածքագոյացմամբ և հատկությունների փոփոխմամբ, ինչն էլ հայտ է գալիս կտրման գործընթացի կառավարմամբ, P6M5 կտրիչով պողպատ 45-ի մշակման ժամանակ: Փորձերով ապացուցվել է, որ հպման տիրույթում միկրոկարծրությունը, ըստ շերտերի խորության և ըստ արտաքին մակերևութային տիրույթում բաշխման, պայմանավորված դեֆորմացման ազդեցությամբ կառուցվածքի փոփոխությամբ, հանգեցնում է միկրոկարծրության, մաշակայունության և գործիքի շահագործման երկարակեցության բարձրացմանը:

*Առանցքային բառեր*: պլաստիկ դեֆորմացում, դիսլոկացիա, կառուցվածքագոյացում, միկրոկարծրություն, մակերևութային ճարտարագիտություն, էնտրոպիա, ազատ էներգիա, մաշակայունություն:

**A.I. SAHRADYAN, V.S. SIMONYAN, A.H. PAPAZYAN**

**INVESTIGATING THE CHARACTERISTICS CHANGES OF THE SURFACE  
LAYERS ON THE CONTACT OF THE FRONT SURFACE OF A TOOL UNDER THE  
INFLUENCE OF PLASTIC DEFORMATION**

The issues on engineering and the characteristics change of the surface layer of the front surface of a tool as a result of structurization in the thin surface layers of the cutter contact of P6M5 under the influence of plastic deformation, when steel 45 is treated at the controlled cutting process, are studied. The character of the microhardness distribution by the depth and the contact surface, depending upon the deformed structurally changed layer, leading to the increase in microhardness, wear resistance and service durability of the tool is determined.

*Keywords*: plastic deformation, dislocation, structurization, microhardness, surface layer engineering, entropy, free energy, wear resistance.