

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ДИФфуЗИОННО-УПРОЧНЕННЫХ КАРБИДНЫХ СЛОЕВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

И.А. Панкратов

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель И.Н. Степанкин

Введение

При обработке металлов резанием основными причинами, вызывающими отказ инструмента являются: износ рабочих поверхностей, а также хрупкое и усталостное разрушение материала. Стойкость и долговечность инструмента определяются структурой и свойствами поверхностных слоев, которые претерпевают существенные изменения в процессе эксплуатации. Одним из известных способов повышения эксплуатационных характеристик инструмента является диффузионное упрочнение рабочих поверхностей, например, химико-термическая обработка (ХТО). ХТО обеспечивает новое состояние материала у контактной поверхности.

В настоящее время широко исследованы способы ХТО посредством азотирования и карбонитрации, применительно к тяжелонагруженному инструменту, изготовляемому, как правило, из быстрорежущих сталей [1]. Основным преимуществом данных способов упрочнения является повышение выносливости материала инструмента. В то же время для большинства режущих инструментов наиболее существенным фактором, определяющим стойкость, является износ рабочих поверхностей [2]. Повышение износостойкости быстрорежущих сталей может быть обеспечено за счет увеличения в поверхностном слое карбидной фазы. Это достигается в первую очередь измельчением эвтектоидных карбидов, например, трехкратным перековом или порошковым переделом [3]. Увеличение количества карбидных частиц в поверхностном слое обеспечивается цементацией, что также способствует повышению износостойкости. Кроме того, в рабочем слое возникают остаточные напряжения сжатия. Это благоприятно сказывается на выносливости материала. Однако в литературе отсутствуют данные о влиянии режимов цементации быстрорежущих сталей и последующей термообработки на величину и характер остаточных напряжений в упрочненном слое [4].

Объектом исследований является быстрорежущая сталь Р6М5, упрочненная посредством науглероживания.

Методика исследований

Для оценки остаточных напряжений использовали электрохимическое травление. Сущность метода состоит в послойном анодном электрохимическом растворении плоских образцов из быстрорежущей стали Р6М5, упрочненных с двух сторон. Поверхности образца, не подлежащие травлению, защищали полимерным покрытием.

Эпюра напряжений, сформированных в результате диффузионного упрочнения, приведена на рис. 1 [5]. Так как данные напряжения являются напряжениями 1-го и 2-го рода, то их величина в любой точке соответствующего слоя не зависит от направления. Иначе говоря, каждый слой пластины находится в условиях плоского, всесторонне равного и однородного в плоскости пластины напряженного состояния. При рассмотрении элементарного объема в упрочненном слое остаточные напряжения, сформированные диффузионным упрочнением, действуют во всех направлениях. В то же время, напряженное состояние по сечению образца формируется в ре-

зультате взаимодействия между упрочненным слоем и сердцевиной. В нашем случае образцы представляют собой пластины с размерами: $190 \times 20 \times 3$. То есть их длина значительно превышает высоту и ширину. Поэтому распределение напряжений по сечению образца соответствует плоскому напряженному состоянию. У поверхности существуют сжимающие напряжения, в сердцевине, компенсирующие их – растягивающие (рис. 1).

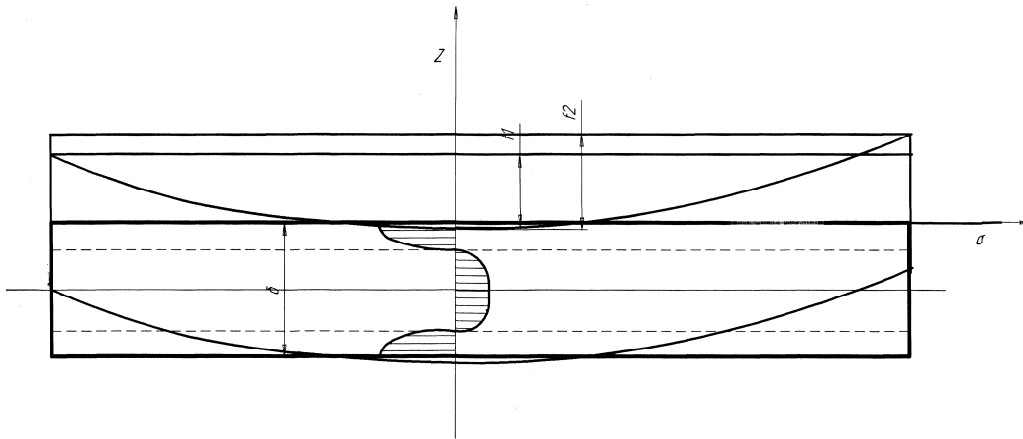


Рис. 1. Распределение остаточных напряжений по сечению образцов

Послойное растворение металла с одной из сторон образца вызывает прогиб пластины. Изменением напряжения в пределах удаленного слоя можно пренебречь, приняв усредненную величину σ_1 [6]. Деформация образца вызвана снятием некоторого момента ΔM_1 , равномерно распределенного по контуру пластины. До удаления части упрочненного слоя он был уравновешен действием напряжений в удаленном слое. Таким образом, по величине прогиба образца можно судить о значении напряжения в данном слое.

Величину усилия, приходящегося на единицу длины контура, можно подсчитать так:

$$\sigma_1 \cdot \Delta \delta_1,$$

где $\Delta \delta_1$ – толщина первого удаленного слоя.

Плечо, с которым это усилие изгибало часть пластины, будет:

$$\frac{\delta_0 - \Delta \delta_1}{2} + \frac{\Delta \delta_1}{2} = \frac{\delta_0}{2}, \quad (1)$$

где δ_0 – исходная (до удаления первого слоя) толщина пластины.

Тогда соответствующий момент, приходящийся на единицу длины контура пластины, будет:

$$\Delta M_1 = \sigma_1 \cdot \Delta \delta_1 \cdot \frac{\delta_0}{2}. \quad (2)$$

С другой стороны, величину этого момента можно подсчитать и по той деформации, которой сопровождается удаление первого слоя. С этой целью используем уравнение чистого изгиба пластин:

$$M = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu) \cdot R}, \quad (3)$$

где M – момент, приходящийся на единицу параметра пластины;

E – модуль упругости материала пластины;

h – толщина пластины;

ν – коэффициент Пуассона;

R – радиус сферической поверхности, которую принимает плоская пластина после приложения момента.

Применительно к данному случаю это уравнение принимает вид:

$$\Delta M_1 = \frac{E \cdot \delta_1^3}{12 \cdot (1 - \nu)} \cdot \frac{8 \cdot \Delta f_1}{a^2}, \quad (4)$$

где δ_1 – толщина пластины после удаления первого слоя;

a – база, на которой производится замер стрелы прогиба.

Изменение кривизны пластины учитывается в данном уравнении приращением Δf_1 стрелы прогиба. При этом за положительное направление стрелы прогиба принято направление обратное тому, в котором производилось удаление слоя, т. е. прогиб пластины считается положительным, если та сторона, с которой удалялся первый слой, является выпуклой.

Соотношение между радиусом сферы R и стрелой прогиба f выражается зависимостью:

$$f = \frac{a^2}{8 \cdot R}.$$

Решая совместно уравнения (2) и (4) в отношении σ_1 получим:

$$\sigma_1 = \frac{4 \cdot E \cdot \delta_1^3}{3 \cdot a^2 \cdot (1 - \nu) \cdot \delta_0} \cdot \frac{\Delta f_1}{\Delta \delta_1}.$$

Как видно из этого уравнения, напряжение σ_1 , возникающее в первом удаленном слое толщиной $\Delta \delta_1$, зависит от следующих множителей:

δ_1^3 – толщина пластины после удаления первого слоя, возведенная в куб;

$\Delta \delta_1$ – толщина удаленного первого слоя;

Δf_1 – изменение стрелы прогиба пластины после удаления первого слоя;

δ_0 – толщина пластины до удаления первого слоя.

По аналогии с напряжением в первом слое можно написать выражение во втором слое и т. д.

Оценку структуры опытных образцов проводили с помощью микроскопа Метам РВ-22.

Химико-термическую обработку образцов производили по следующему режиму:

1. Аустенизация, совмещенная с процессом науглероживания, $t = 950$ °С, длительность – 8 часов.

2. Догрев под закалку – 1100 °С.

3. Закалка в масле.

4. Отпуск трехкратный $t = 560$ °С.

Исследования твердости проводили на приборе Роквелла.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате обработки опытных данных были получены кривые распределения напряжений в упрочненном слое (рис. 2), из которых видно, что величина сжимающих напряжений в поверхностном слое достигает 30 МПа. Они в свою очередь компенсируются растягивающими напряжениями, возникающими в сердцевине и достигающими значений порядка 42 МПа.

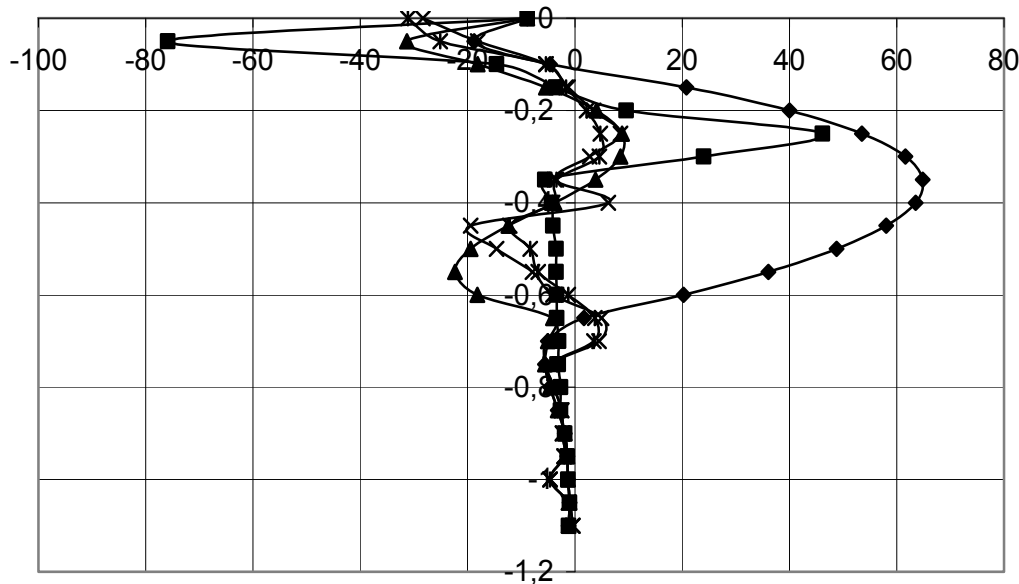


Рис. 2. Распределение напряжений в упрочненных образцах

Микроанализ образцов показал, что в процессе догрева под закалку была сформирована структура аустенит, соответствующая 12 баллу по ГОСТ 5639-82 (рис. 3). В результате закалки и трех отпусков сформирована структура скрытоигольчатый мартенсит. Твердость сердцевины, не затронутой упрочнением, составила 59...60 HRC₃. Эта величина определяется структурой сердцевины. При этом металл приобретает повышенную вязкость [4]. В то же время твердость упрочненного слоя составляет 64...65 HRC₃, что объясняется присутствием в нем большого количества мелких карбидов, способных повысить износостойкость металла. Кроме того, благоприятное распределение остаточных напряжений по сечению металла создает условия для повышения его усталостной долговечности.

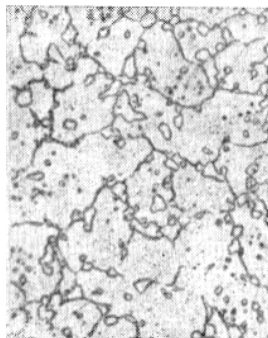


Рис. 3. Структура образцов (аустенит)×1000

Заключение

Исследования показали, что комплексная термохимическая обработка позволяет получить градиент свойств в инструменте, изготовляемом из быстрорежущих сталей. В результате при высокой твердости поверхности, обеспечивающей износостойкость инструмента, его прочность сохраняется за счет повышения вязкости сердцевины.

Литература

1. Лахтин, Ю.М. Химико-термическая обработка металлов /Ю.М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с.
2. Химико-термическая обработка инструментальных материалов /Е.И. Бельский [и др.]. – Мн.: Наука и Техника, 1986. – 247 с.
3. Оптимизация технологии изготовления холодновысадочной оснастки /В.М. Кенько, В.В. Пинчук, И.Н. Степанкин //Кузнечно-штамповое производство. – 1998. – № 11. – С. 23-25.
4. Кенько, В.М. Повышение стойкости обечных пуансонов холодновысадочной оснастки /В.М. Кенько, И.Н. Степанкин, А.И. Столяров //Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – С. 78-80.
5. Серенсен, С.В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность: рук. и справ. пособие /С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович; под ред. С.В. Серенсена. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
6. Саверин, М.М. Дробеструйный наклеп /М.М. Саверин. – Москва: Машиностроение, 1955. – 312 с.