

УДК 539.53:621.789

Л. Н. Маслов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ВЗАИМОСВЯЗЬ СТАНДАРТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА С АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Предлагается характеристика для контроля технологических режимов ВУК ТМО по механическим характеристикам металла, определяемым стандартными методами испытаний.

Ключевые слова: термомеханическая обработка, абразивная износостойкость, пластичность металлов, относительное удлинение.

Известно, что предельная пластичность материала δ_n складывается из равномерной δ_b и сосредоточенной δ_c (за счет образования шейки) составляющих. В связи с тем что при однократном внедрении абразивного зерна в поверхность детали не происходит разрушения металла при абразивном изнашивании, а абразивная износостойкость зависит от пластичности материала детали [1], можно предположить, что различие износостойкости материалов различных технологических вариантов изготовления деталей связано различием равномерной δ_b , а не полной пластической деформации δ_n , определяемой при разрушении образцов однократным растяжением.

Для подтверждения этого предположения были испытаны на растяжение образцы из стали 38ХС после обычной закалки и ВУК ТМО (высокотемпературная упрочняющее-калибрующая термомеханическая обработка), обработанные на одинаковый предел прочности подбором режимов отпуска. Диаграммы растяжения $P-\Delta l$, перестроенные в диа-

граммы с координатами $\sigma-\delta$ с разбросом $\pm 5\%$ по результатам испытаний 10 образцов на каждую точку, приведены на рис. 1.

Из гистограмм (рис. 2), построенных для основных характеристик, определяемых из диаграмм растяжения, приведенных на рис. 1, видно, что отношение полного относительного удлинения δ_n для металла, обработанного в режиме ВУК ТМО с отпуском в печи и отпуском ТВЧ (ток высокой частоты) к δ_n металла после ОТО (обычная термическая обработка), соответственно, равно 1,27 и 1,3, а по равномерному относительному удлинению δ_b это отношение равно 1,7 и 1,81. Кроме того, можно отметить, что превышение ($\Delta\delta_n$) полного относительного удлинения δ_n для металла, обработанного в режиме ВУК ТМО, для обоих видов отпуска над δ_n металла после ОТО (соответственно, $\Delta\delta_{n2} = 2,5\%$ и $\Delta\delta_{n3} = 2,8\%$) обеспечивается практически полностью за счет равномерной составляющей относительного удлинения δ_b (соответственно, $\Delta\delta_{b2} = 2,3\%$ и $\Delta\delta_{b3} = 2,8\%$)

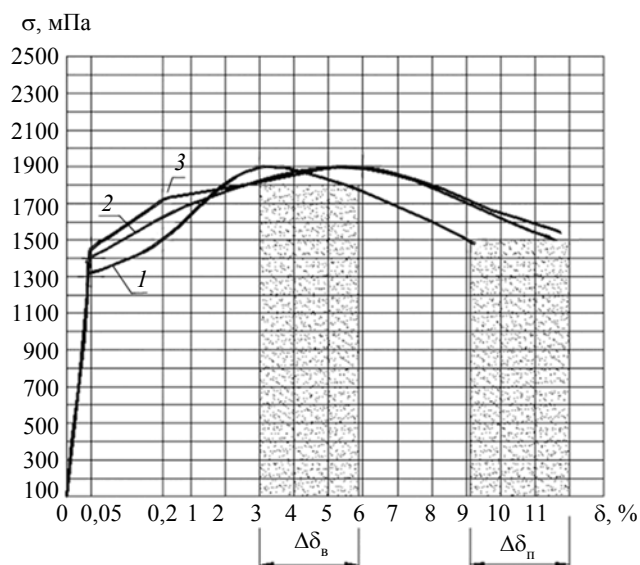


Рис. 1. Характерный тип диаграмм растяжения образцов из стали 38 ХС после ВУК ТМО и ОТО с отпуском, обеспечивающим одинаковый предел прочности: 1 – ОТО, отпуск в печи, 473 К (200 °С); 2 – ВУК ТМО, отпуск в печи, 543 К (270 °С); 3 – ВУК ТМО, отпуск ТВЧ, 593 К (320 °С)

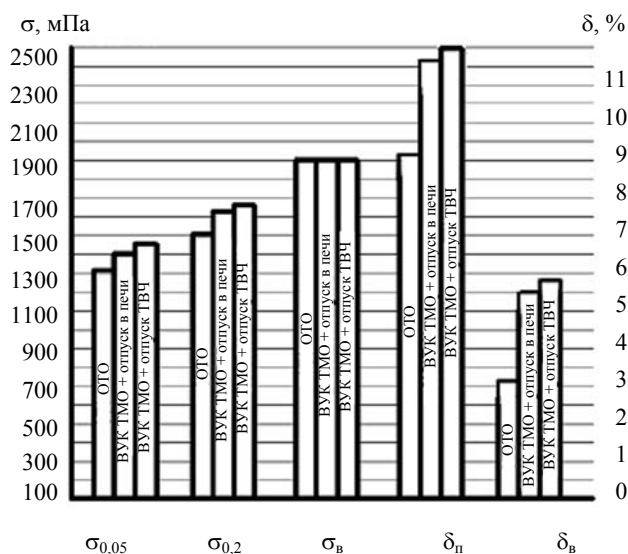


Рис. 2. Гистограммы основных механических характеристик по данным диаграммы растяжения (см. рис. 1)

Анализируя природу повышения пластичности металлов, нельзя не учитывать влияния границ зерен в поликристалле [2]. Металл после обработки в режиме ВТМО имеет достаточно развитую субструктуру [3]. При этом увеличивается вероятность наличия субзерен, в которых на начальных стадиях деформации дислокации относительно легко перемещаются по благоприятно расположенным плоскостям скольжения и доходят до малоугловых границ субзерен. Последние, как известно, являются меньшим барьером для проникновения дислокаций в соседние субзерна из скоплений, заторможенных у малоугловых границ. Таким образом, в упрочненном ВТМО материале на начальных стадиях деформации происходит облегчение перемещения дислокаций при равных рабочих напряжениях, по крайней мере на стадии прохождения их до границ зерен. Следовательно, возрастает и пластичность материала. При большей дисперсности структуры материала, созданной горячей пластической деформацией при ВТМО, увеличивается также вероятность нахождения субзерен благоприятной ориентировки по отношению к направлению действия напряжений по обеим границам зерна, что также может способствовать более легкому преодолению дислокациями барьеров в виде границы зерен. Очевидно, этим и можно объяснить повышение равномерной составляющей относительного удлинения материала, обработанного в режиме ВУК ТМО.

В работе [4] показана взаимосвязь интенсивности абразивного изнашивания с комплексом механических характеристик металла, определяемых стандартными методами испытаний. Причем для сталей различного класса и схем изнашивания предложены различные сочетания пар механических характеристик, одной из которых является характеристика прочности, другой – пластичности. Исходя из полученных в настоящей работе результатов в анализе зависимостей интенсивности абразивного изнашивания от стандартных механических характеристик, на

наш взгляд, было бы целесообразнее использовать равномерную составляющую относительного удлинения при растяжении $\delta_{в}$, а не полное относительное удлинение $\delta_{п}$, как это рекомендуется работой [1].

В работе Крагельского [1] интенсивность изнашивания как усталостная характеристика металла увязана с коэффициентом фрикционной усталости t , определяемой по результатам многократного деформирования поверхности материала. Экспериментальное его определение трудоемко. Как любая усталостная характеристика, этот коэффициент, очевидно, тесно связан с особенностями структуры материала, сформированной предшествующей обработкой. Относительное удлинение материала также является структурно-чувствительной характеристикой, и поэтому возможна взаимосвязь характеристик t и $\delta_{в}$ (определяемой по диаграмме растяжения) с технологическими режимами обработки, которые влияют на структурные изменения в металле. Для обнаружения характера этой взаимосвязи были построены графики зависимости экспериментальной величины износа γ , значений $M = 1 / \delta_{п}^t \text{HB}_1^{1,5} \text{HB}_2$ [1] и $1 / \text{HRC} \delta_{в}$ от температуры заключительного отпуска после ВУК ТМО (см. рис. 3).

На зависимостях характеристик абразивного износа от температуры отпуска металла после ВУК ТМО (см. рис. 3) прослеживается их одинаковый вид с экстремумом при температуре отпуска, обеспечивающего минимальное значение величины скорости износа γ . А это значит, что величины $1 / \delta_{в} \text{HRC}$ и M находятся во взаимосвязи и могут быть равнозначно использованы при анализе влияния технологических параметров обработки на абразивную износостойкость материала. Практическая ценность обнаруженной взаимосвязи состоит еще и в том, что появляется возможность, не пользуясь трудоемким и сложным определением коэффициента фрикционной усталости t [1], по стандартным характеристикам твердости материала и равномерной составляющей относительного удлинения при испытании на растяжение $\delta_{в}$

контролировать точность исполнения технологических параметров обработки ВУК ТМО, обеспечивающих максимальную абразивную износостойкость материала. Это позволяет предположить возможность использования величины $1 / \delta_v \text{HRC}$ или просто произведения $\delta_v \text{HRC}$ в качестве критерия оценки абразивной износостойкости материала.

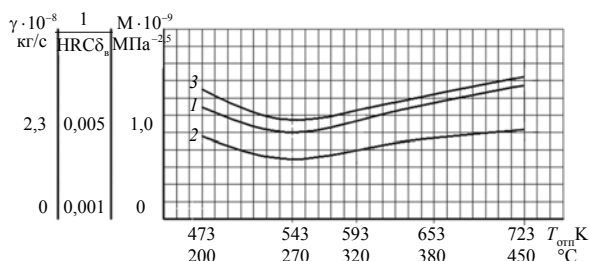


Рис. 3. Зависимость характеристик абразивного износа от температуры отпуска после ВУК ТМО: 1 – экспериментальная скорость износа γ ; 2 – условная характеристика $1 / \text{HRC } \delta_v$; 3 – коэффициент скорости изнашивания M [1]

Следует отметить, что предлагаемый критерий оценки сравнительной износостойкости материала $1 / \text{HRC } \delta_v$ не находится в принципиальном противоречии с работами как [4], так и [1], поскольку, с одной стороны, между различными механическими характеристиками имеются известные корреляционные зависимости, с другой стороны, прочностные

(при статическом и циклическом нагружениях) характеристики материала взаимосвязаны через его структурное состояние. Необходимо в перспективе определить область структурного состояния материала, в которой этот критерий будет устойчиво коррелировать с износостойкостью.

Обозначения

ВУК ТМО – высокотемпературная упрочняюще-калибрующая термомеханическая обработка; M – комплексная характеристика свойств материала сопрягаемых поверхностей; HV_1, HV_2 – твердость материала, соответственно, пальца и втулки; $\delta_{\text{п}}, \delta_v$ – соответственно, полное и равномерное относительное удлинение материала, определяемые по результатам испытания на растяжение; t – коэффициент фрикционной усталости материала; $T_{\text{отп}}$ – температура отпуска материала.

Библиографические ссылки

1. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Золотаревский В. С. Механические испытания и свойства металлов. – М. : Металлургия, 1974. – 304 с.
3. Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Капуткина Л. М. Термомеханическая обработка стали. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.
4. Сорокин Г. М. Инженерные критерии определения износостойкости сталей и сплавов при механическом изнашивании // Вестник машиностроения. – 2001. – № 11. – С. 57–59.

L. N. Maslov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Relationship of Standard Mechanical Characteristics of Metal with Abrasive Wear Resistance after Thermo-Mechanical Treatment

Characteristic is proposed for controlling the manufacturing modes of thermo-mechanical treatment TQM by mechanical characteristics of the metal, determined by standard test methods.

Key words: thermo-mechanical treatment, abrasive wear resistance, metal ductility, elongation.