

2. Подураев В.Н., Суворов А.А., Барзов А.А. О влиянии разнообрабатываемости на точность обработки глубоких отверстий. *Известия вузов, Машиностроение*, 1975, № 10.

3. Подураев В.Н., Суворов А.А., Барзов А.А. О влиянии скорости резания на уводы при глубоком сверлении. *Известия вузов, Машиностроение*, 1976, № 1.

4. Светлицкий В.А., Мещеряков Р.К., Ушаков А.И. Расчет погрешностей обработки глубоких отверстий. *Известия вузов, Машиностроение*, 1977, № 5.

УДК 621.914.2:621.91.01

В.И.Лепилин, В.В.Чернякин

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ  
ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ

В зависимости от плотности энергии излучение лазера может приводить к кипению и испарению металла, плавлению и выбросу из зоны воздействия, оплавлению поверхности, фазовому переходу в твердом состоянии ограниченного объема, а также стимулировать химические реакции на поверхности облучаемого объекта. Степень воздействия лазерного излучения на объект обработки зависит от температуры, которая возникает на его поверхности, а, следовательно, от плотности энергии лазерного излучения.

Исследования показывают, что локальное упрочнение режущей кромки инструмента необходимо производить при плотности энергии излучения ниже критической. Под критической плотностью потока энергии понимают такую, которая способна развить на поверхности облучаемого объекта температуру плавления металла. Упрочнение быстрорежущего инструмента в результате воздействия лазерного излучения возможно осуществить при достижении на поверхности температуры структурно-фазовых превращений или температуры интенсивных химических реакций, происходящих при наличии каких-либо реагентов, способствующих образованию поверхностного слоя с высокими свойствами (микротвердость, антифрикционность и др.).

Были проведены исследования, направленные на нахождение опти-

мальной величины плотности потока энергии излучения при упрочнении режущего инструмента.

В исследованиях использовались пластины из быстрорежущей стали Р6М5, Р9К5 и Р18 в форме 4-гранных усеченных пирамид с размерами: большее основание (передняя поверхность) 15x15 мм, малое основание (опорная поверхность) 10x10 мм и высота - 5 мм. Часть пластин подвергалась стандартной термообработке, другая часть оставалась в "сыром" состоянии.

Все поверхности (кроме опорной) подвергались тщательной доводке до шероховатости  $R_a = 0,32$  мкм.

Непосредственно перед облучением пластины промывались в бензине Б-70 для удаления жировых пленок, а затем обезвоживались спиртом.

Передняя поверхность пластины устанавливалась перпендикулярно к оптической оси лазерного излучения перед фокусом объектива. Диаметр облучаемой зоны составлял 4 мм. На переднюю поверхность пластин производилось несколько "выстрелов" с различной плотностью энергии лазерного излучения.

Энергия лазерного излучения на выходе из оптического квантового генератора измерялась измерителем энергии ИЭ-2. Характер воздействия лазерного излучения оценивался визуально, по изменению микротвердости и микроструктуры.

Микротвердость образцов измерялась на ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н (50 Гс). При этом в центре пятна облучения делалось одно измерение, на расстоянии 1 мм от центра и вблизи границы пятна - по три измерения. За результат измерения бралась средняя величина из семи.

Результаты измерения микротвердости поверхности "сырых" образцов после облучения лазером представлены в табл. I.

Таблица I  
Микротвердость поверхности "сырых" быстрорежущих пластин  
при различных плотностях энергии потока излучения

Марка стали	Плотность энергии излучения, дж/мм <sup>2</sup>							
	2,39	2	1,59	1,43	1,28	1,12	0,8	0
Микротвердость зоны облучения, МПа								
Р6М5	5240	5540	5300	6400	5180	3900	3750	3400
Р9К5	6030	5820	5990	6820	6340	5100	3820	3600
Р18	-	5600	5240	6400	5150	4000	3300	3200

Из табл.1 видно, что с увеличением плотности энергии потока излучения микротвердость поверхности "сырых" образцов всех марок повышается, достигая максимума при плотности энергии  $1,43 \text{ Дж/мм}^2$ . При этом максимальная микротвердость в  $1,9 \dots 2$  раза выше исходной микротвердости. С дальнейшим увеличением плотности энергии потока микротвердость несколько снижается, но даже при плотности энергии  $2,39 \text{ Дж/мм}^2$ , когда наблюдается небольшое оплавление поверхности образца, остается в  $1,6$  раза выше исходной микротвердости.

По-видимому, в условиях проведения опытов плотность энергии потока излучения, равную  $1,43 \text{ Дж/мм}^2$ , следует считать оптимальной, а плотность энергии  $2,4 \text{ Дж/мм}^2$  - критической.

Сопоставление данных табл.1 и 2 показывают, что микротвердость "сырых" образцов, подвергнутых облучению при  $q = 1,43 \text{ Дж/мм}^2$ , ниже микротвердости термически обработанных образцов в исходном состоянии ( $q = 0 \text{ Дж/мм}^2$  в табл.2) на  $17 \dots 25\%$ , однако эффект закалки бесспорен.

В табл.2 представлены результаты измерения микротвердости поверхности термообработанных образцов из быстрорежущих сталей Р6М5, Р9К5 и Р18 с последующей лазерной обработкой.

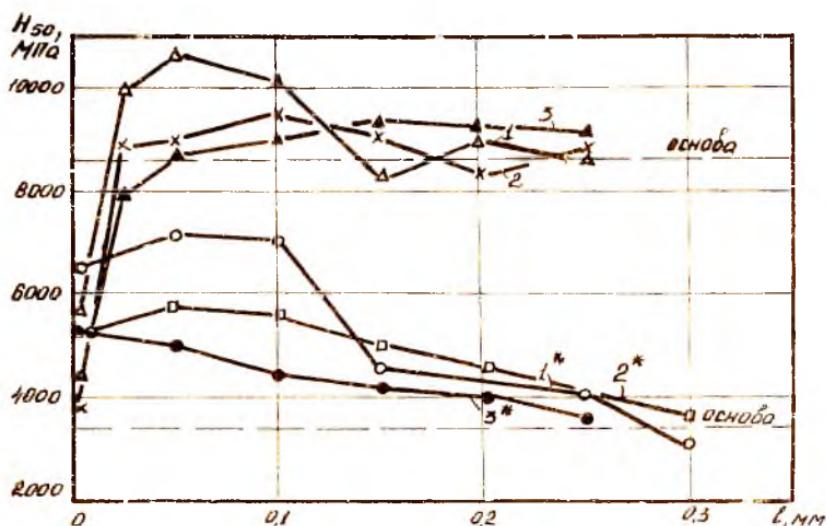
Т а б л и ц а 2  
Микротвердость поверхности закаленных быстрорежущих пластин  
при различных плотностях энергии потока излучения

Марка стали	Плотность энергии излучения, $\text{Дж/мм}^2$							
	2,39	2	1,69	1,43	1,28	1,12	0,8	0
Микротвердость зоны облучения, МПа								
Р6М5	4470	4830	3890	5700	6000	6320	8000	8600
Р9К5	5010	5530	5240	5930	6100	6920	7200	8200
Р18	43,0	4860	5020	5400	6950	7450	7080	8500

Из приведенной таблицы видно, что при облучении микротвердость поверхности снижается. Чем больше плотность энергии потока излучения, тем ниже микротвердость поверхности. Визуальные наблюдения показывают, что при плотности энергии излучения  $q = 2,4 \text{ Дж/мм}^2$  поверхность образца оплавляется, а микротвердость уменьшается почти вдвое по сравнению с необлученной поверхностью.

Известно, однако, что стойкость быстрорежущих резцов после их лазерного облучения в ряде случаев повышается в 3...5 раз, что, на первый взгляд, не согласуется с изменением микротвердости, представленной в табл.2. С целью объяснения этого факта проведено исследование картины распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя "сырых", термообработанных и подвергнутых лазерному облучению образцов быстрорежущих сталей марок Р6М5, Р9К6 и Р18.

На указанных образцах были сделаны "косые срезы". Начало косого среза приходилось на центр пятна облучения ( $\varnothing$  4 мм). Измерения микротвердости проводились на ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н (50 Гц) в диаметральном направлении пятна облучения с интервалом 0,5 мм. Результаты измерений представлены в виде графиков (рис.1, 2, 3).



Р и с. 1. Зависимость микротвердости от глубины залегания исследуемого слоя образцов из стали Р6М5 при различной плотности энергии излучения: 1 и 1\*; 2 и 2\*; 3 и 3\* соответствуют  $q = 1,43; 1,59; 2,39 \text{ Дж/мм}^2$ ; цифры 1, 2 и 3 относятся к закаленной, а цифры 1\*, 2\* и 3\* - к "сырой" стали

Во всех трех случаях микротвердость поверхности ( $L = 0$ ) "сырых" облученных образцов повысилась в полном соответствии с данными табл.1. В целом по мере удаления от поверхности в глубь металла микротвердость снижается и на глубине 0,25...0,3 мм принимает значе-

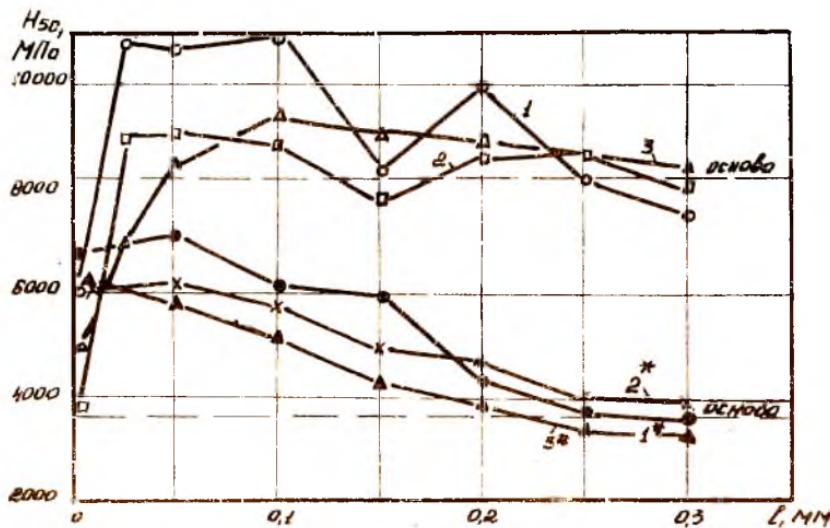


Рис. 2. Зависимость микротвердости от глубины залегания исследуемого слоя образцов из стали Р9К5 при различной плотности энергии излучения: 1 и 1\*; 2 и 2\*; 3 и 3\* соответствуют  $\psi = 1,43; 1,59; 2,39 \text{ Дж/мм}^2$ ; цифры 1, 2 и 3 - относятся к закаленной, а цифры 1\*, 2\*, 3\* - к "сырой" стали

ния, равные исходной (до облучения) поверхностной микротвердости "сырых" образцов. Однако, следует отметить, наблюдается некоторая тенденция к повышению микротвердости на глубине  $l \approx 0,05 \text{ мм}$  от поверхности.

Результаты исследования влияния лазерного облучения на микротвердость "сырых" быстрорежущих сталей подтверждают высказанную мысль о перспективе замены, в необходимых случаях, "стандартной" термообработки местной поверхностной лазерной закалкой (и отпуском) режущих элементов инструмента.

Анализ измерения микротвердости термообработанных образцов показывает, что на поверхности ( $l = 0$ ) микротвердость снизилась в соответствии с данными табл. 2, но на глубине  $0,025 \dots 0,10 \text{ мм}$  она резко повысилась и превышает исходную на  $10 \dots 25\%$ , а затем, снижаясь, на глубине  $0,2 \dots 0,3 \text{ мм}$  достигает исходной (до облучения) микротвердости.

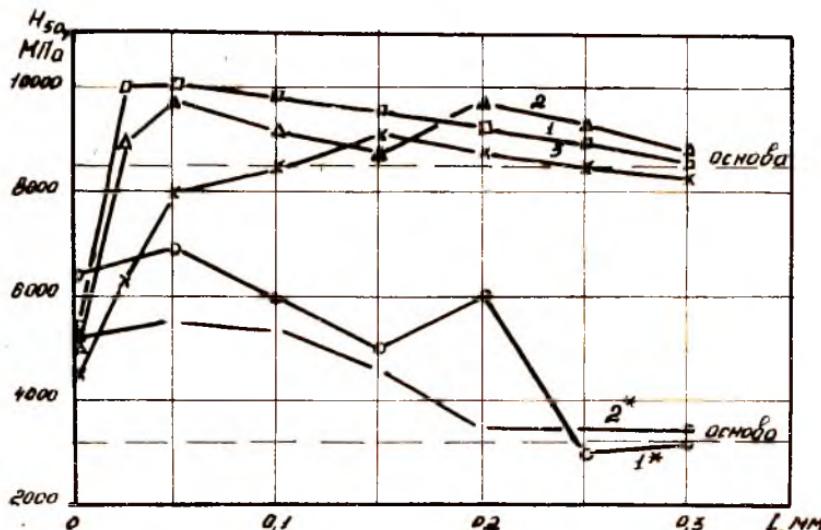


Рис. 3. Зависимость микротвердости от глубины залегания исследуемого слоя образцов из стали Р18 при различной плотности энергии излучения: I и  $I^*$ , 2 и  $2^*$ ; 3 соответствуют  $q = 1,43; 1,59; 2,39 \text{ Дж/мм}^2$ ; цифры I, 2 и 3 - относятся к закаленной, а цифры  $I^*$ ,  $2^*$  - к "сырой" стали

Во всех случаях, в условиях наших опытов, максимальная микротвердость наблюдается при лазерном облучении как "сырых", так и термообработанных быстрорежущих сталей с плотностью энергии потока  $1,4\dots 1,5 \text{ Дж/мм}^2$  на глубине  $0,025\dots 0,10 \text{ мм}$  от поверхности.

В связи со сказанным можно предположить, что повышение стойкости быстрорежущего инструмента после лазерного облучения связано с увеличением микротвердости подповерхностного слоя.