

Г. А. АРУТЮНЯН, Г. Б. БАГДАСАРЯН

К ВОПРОСУ ОБ ИЗУЧЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УПРОЧНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Наряду с режимами резания, на показатели упрочнения за линией среза значительное влияние оказывают также геометрические параметры режущего инструмента.

Исследования, с целью выявления характера изменения степени и глубины упрочнения обработанной поверхности в зависимости от геометрии резца, представляют не только научную ценность с точки зрения установления сущности механизма упрочнения. Они имеют также большое практическое значение, поскольку дают возможность выбрать геометрические параметры, обеспечивающие получение оптимальных значений показателей упрочнения.

Целью данной работы является установление характера изменения степени и глубины упрочнения обработанной поверхности в зависимости от основных геометрических параметров резца.

Изучалось влияние главного переднего угла γ , главного угла в плане φ , радиуса закругления вершины резца R и радиуса округления режущего лезвия ρ . Выбор этих геометрических параметров диктуется их доминирующим воздействием на показатели упрочнения за линией среза.

Опыты проводились на поперечно-строгальном станке типа 7М36. Исследованию подвергались планки из стали Ст. 3 при постоянных значениях режимов резания ($V=8$ м/мин, $S=0,5$ мм/дв. ход, $t=1,0$ мм). Применялись резцы, оснащенные пластинками из твердого сплава Т5К10.

Микротвердость, с целью определения степени и глубины упрочнения обработанной поверхности, измерялась на приборе ПМТ-3, причем уколы пирамиды наносились на специально изготовленные шлифы-лыски, окончательно доведенные алмазной пастой М7. Величина глубины упрочнения подсчитывалась по известной в литературе формуле.

Характерной особенностью проведенных исследований является изучение упрочнения металла методом статистического планирования экспериментов.

В данном случае рассматривается факторный эксперимент типа 2ⁿ. Чтобы получить такой эксперимент, необходимо геометрические пара-

метры установить на двух уровнях. Обозначим эти уровни цифрами 0 (нижний уровень) и 1 (верхний уровень).

Одной из возможных схем смешивания может быть схема, когда смешиваются взаимодействия

$$\gamma\varphi R\rho \text{ и } L = X_1 + X_2 + X_3 + X_4. \quad (1)$$

При таком смешивании получаются два блока [1] (табл. 1).

Таблица 1

Блок I	(1), $\gamma\varphi$, φR , γR , $\gamma\varphi R\rho$, $R\rho$, $\gamma\rho$, $\varphi\rho$	$L=0$
Блок II	γ , φ , $\gamma\varphi R$, R , $\varphi R\rho$, $\gamma R\rho$, ρ , $\gamma\varphi\rho$	$L=1$

Теперь можно реализовать лишь один из этих блоков (допустим, блок $L=1$). В результате можно получить восемь условий экспериментов, где участвуют все параметры. Отметим, что уровни (0, 1) этих параметров $\gamma\varphi R$ и ρ выбираются исходя из пределов исследования и, более того, из упрощения расчетов. Поэтому коэффициенты полиномов принимаются соответственно равными $+1$ и -1 и, при помощи уравнений преобразования, подсчитываются значения уровней параметров [2]:

$$X_i = \frac{2(\ln T_i - \ln T_{max})}{\ln T_{max} - \ln T_{min}} + 1. \quad (2)$$

где X_i — коэффициент полиномов (равный $+1$ или -1),

T_i — соответственно среднее значение параметра,

T_{max} , T_{min} — максимальное и минимальное значение параметров.

Последовательно определяя значения T_i по (2) для всех геометрических параметров (диапазон изменения этих параметров выбирается произвольно), можно составить следующий план проведения экспериментов (табл. 2). По этому плану проводились эксперименты, причем каждый повторялся два раза.

Таблица 2

γ_1°	φ_1°	R , мм	ρ , мм	Примечание
100	30	0,1	0,1	$\gamma_1 = 90 - \gamma$
80	90	0,1	0,1	
100	90	0,5	0,1	
80	30	0,5	0,1	
80	90	0,5	0,5	$\varphi_1 = 90 - \varphi$
100	30	0,5	0,5	
80	30	0,1	0,5	
100	90	0,1	0,5	

В табл. 3 представлены средние значения микротвердости H и глубины упрочнения h поверхности от двух наблюдений каждого эксперимента.

После составления этой таблицы форма связи ищется в следующих общих видах:

Таблица 3

γ_1°	φ_1°	$R, \text{ мм}$	$\rho, \text{ мм}$	$H, \text{ кг/мм}^2$	$h, \text{ мк}$
100	30	0,1	0,1	227,5	427
80	90	0,1	0,1	245	515
100	90	0,5	0,1	251	538
80	30	0,5	0,1	250,6	476
80	90	0,5	0,5	280	538
100	30	0,5	0,5	290	544
80	30	0,1	0,5	258,4	492
100	90	0,1	0,5	274	483

$$h = C_h \gamma_1^{x_1} \varphi_1^{x_2} R^{x_3} \rho^{x_4},$$

$$H = C_H \gamma_1^{y_1} \varphi_1^{y_2} R^{y_3} \rho^{y_4}. \quad (3)$$

Для определения показателей степеней, а также коэффициентов C_h и C_H , был использован метод наименьших квадратов. Логарифмируя (3) и введя соответствующие обозначения, получаем:

$$h_1 = C_1 + x_1 \gamma_1' + x_2 \varphi_1' + x_3 R_1 + x_4 \rho_1,$$

$$H_1 = C_2 + y_1 \gamma_1' + y_2 \varphi_1' + y_3 R_1 + y_4 \rho_1. \quad (4)$$

Применяя условия Гаусса для (4) и программируя на ЭВМ «Наири-2», можно получить все неизвестные коэффициенты и степени, которые дают возможность представить уравнения (3) в окончательном виде:

$$h = 400 + 2 \cdot 10^{-4} \gamma_1^{2,6} \varphi_1^{1,3} R^{0,59} \rho^{0,6}$$

$$H = 200 + 8 \cdot 10^{-2} \gamma_1^{1,35} \varphi_1^{0,72} R^{0,57} \rho^{0,65} \quad (5)$$

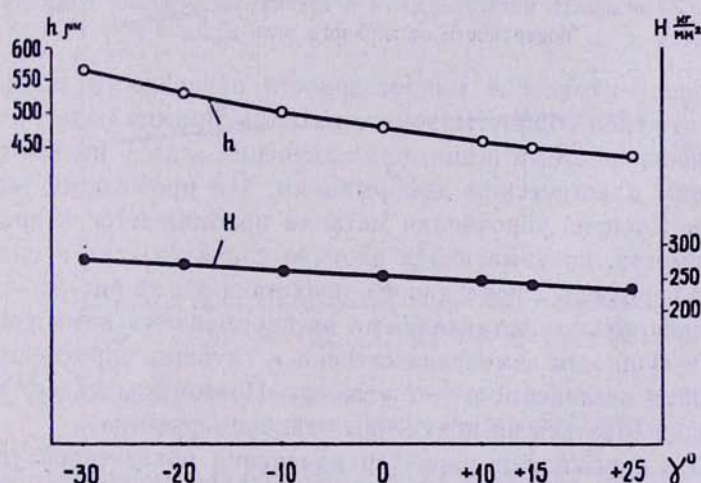


Рис. 1. Зависимость микротвердости и глубины упрочнения обработанной поверхности от переднего угла γ .

На графиках представлены результаты исследований зависимостей показателей упрочнения H и h от параметров резца γ , φ , R и ρ .

Приведенные на рис. 1 данные показывают, что при уменьшении положительных и отрицательных значений переднего угла наблюдается возрастание параметров упрочнения поверхности h и H , причем изменение $-\gamma$, начиная с $\gamma=0^\circ$, в большей степени сказывается на глубине упрочнения, чем на микротвердости поверхности.

Установлено, что уменьшение переднего угла (при отсутствии наклона) приводит к увеличению угла действия и, следовательно, уменьшению угла сдвига. Уменьшение последнего, а также угла наклона передней поверхности резца относительно линии среза, особенно при $-\gamma$, направляет действие удельных сил резания в более глубокие слои за линией среза. В результате зона распространения пластической деформации сжатия перед передней поверхностью и ниже линии среза увеличивается, вследствие чего увеличивается также глубина упрочнения h .

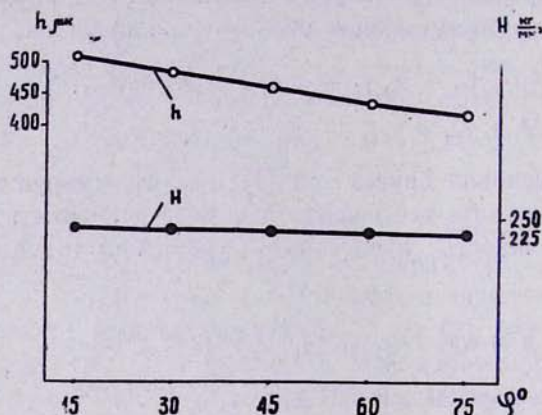


Рис. 2. Зависимость микротвердости и глубины упрочнения обработанной поверхности от главного угла в плане φ .

Небольшое изменение микротвердости поверхности можно объяснить тем, что слои обрабатываемого металла, примыкающие к передним и задним поверхностям резца, при изменении угла γ подвергаются таким большим пластическим деформациям, что происходит насыщение упрочнения (степень упрочнения металла приближается к пределу).

Зависимости, показывающие влияние главного угла в плане φ на показатели упрочнения поверхности, представлены на рис. 2.

В [3] специально поставленными экспериментами нами установлена физическая сущность изменения степени и глубины упрочнения поверхностного слоя в зависимости от угла φ . Поэтому здесь нет необходимости останавливаться на полученных закономерностях.

Рис. 3 и 4 выявляют характер изменения показателей упрочнения поверхности H и h в зависимости от параметров резца R и ρ .

Как показано в [4], с увеличением радиуса закругления R среднее контактное давление от радиальной силы увеличивается в 1,5 раза, а от

тангенциальной силы почти не изменяется. Это обстоятельство позволяет нам установить, что упрочнение поверхности в основном вызывается действием радиальной силы. При этом высокое контактное давление вдоль длины режущих кромок, а также небольшие главные и вспомогательные углы в плане по мере увеличения радиуса R способствуют возрастанию пластической зоны за линией среза. Увеличение этой зоны, естественно, приводит к возрастанию как глубины, так и степени упрочнения поверхности.

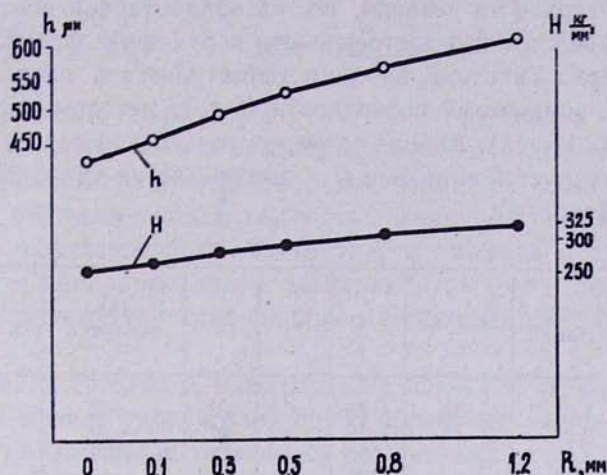


Рис. 3. Зависимость микротвердости и глубины упрочнения обработанной поверхности от радиуса закругления вершины резца R .

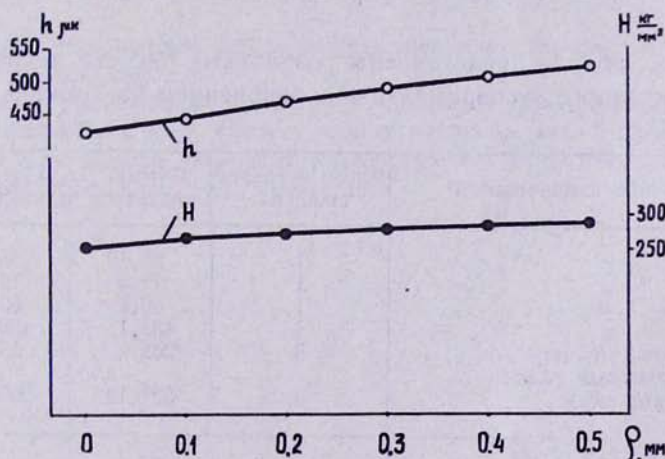


Рис. 4. Зависимость микротвердости и глубины упрочнения обработанной поверхности от радиуса округления режущей кромки r .

При увеличении радиуса округления режущей кромки r увеличивается среднее значение удельной силы резания от радиальной силы P_y [4]. Наряду с этим ухудшаются условия стружкообразования вследствие появления отрицательных переменных передних углов. В резуль-

тате улучшаются условия проникновения удельных сил резания в глубь металла за линией среза. При этом увеличиваются пластически деформированная зона, распространяющаяся за линией среза и, следовательно, степень и глубина упрочнения обработанной поверхности.

Сравнительно небольшое возрастание глубины упрочнения при увеличении радиуса ρ объясняется тем, что факторы, обуславливающие увеличение наклепанного слоя, действуют в основном на поверхности резания. Поэтому их влияние должно больше сказываться на показателях упрочнения поверхности резания, чем на обработанной поверхности.

С целью убеждения в достоверности полученных формул (5) производится проверка гипотезы влияния геометрических параметров реза на показатели упрочнения поверхности H и h , методом дисперсионного анализа (метод Иетса). Анализ проведен только для величины H . Предварительно кодируется значение H и вычитывается число 260 из каждого показания (табл. 4).

Таблица 4

	Варианты испытаний	Отклики	(1)	(2)	(3)	(4) контраст	Сумма квадратов $SS = \frac{(\text{контраст})^2}{r \cdot 2^n}$
γ	1	-33	-48	-64	-2	42	55,12
φ	2	-15	-18	62	44	-20	12,5
$\gamma\varphi R$	3	-9	50	18	-8	134	561
R	4	-9	12	26	-12	-44	60,5
$\varphi R\rho$	5	20	18	30	126	46	66,12
$\gamma R\rho$	6	30	0	-38	8	-4	0,5
ρ	7	-2	10	-18	-68	-118	435,1
$\gamma\rho\rho$	8	14	16	6	24	92	264,5

Ниже, в табл. 5, представлены результаты расчета дисперсионного анализа факторного эксперимента 2^4 с разбиением на 2 блока.

Таблица 5

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
γ	1	55,12	55,12
φ	1	12,5	12,5
R	1	60,5	60,5
ρ	1	435,1	435,1
Ошибка ($\gamma R\rho$, $\gamma\rho\rho$...)	8	265	33,1
Межблоковый эффект ($\gamma\varphi R$, $\varphi R\rho$)	3	627,12	209,04
Всего	15	1455,34	

Проверим следующие 4 гипотезы.

$H_1: \gamma = 0$ (нет влияния переднего угла)

$F_{1,2} = \frac{55,12}{33,1} = 1,66$ — гипотеза отвергается.

$H_2: \varphi = 0$ (нет влияния угла φ).

$$F_{1,2} = \frac{12,5}{33,1} = 0,38 \text{ — гипотеза не отвергается.}$$

$H_3: R = 0$ (нет влияния радиуса R).

$$F_{1,2} = \frac{60,5}{33,1} = 1,83 \text{ — гипотеза отвергается.}$$

$H_4: \rho = 0$ (нет влияния величины ρ).

$$F_{1,2} = \frac{435,1}{33,1} = 13,1 \text{ — гипотеза отвергается.}$$

Следовательно, параметры γ , R и ρ оказывают существенное влияние на величину H , что подтверждается вычислением величины F статистики. Главный угол в плане резца влияет на микротвердость незначительно, что также подтверждается величиной F статистики.

С целью подтверждения адекватности модели и доказательства эффективности запланированных экспериментов было проведено также несколько экспериментов традиционным методом (результаты здесь не приводятся).

Сравнение расчетных и наблюдаемых значений H и h показывает, что принятая модель удовлетворительно описывает характер изменения показателей упрочнения обработанной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ч. Хикс. Основные принципы планирования экспериментов. Пер. с англ. М., «Мир», 1967.
2. П. Г. Кацев. Статистические методы исследования режущего инструмента. М., «Машиностроение», 1968.
3. М. В. Касьян, Г. А. Арутюнян. К вопросу об упрочнении поверхностного слоя в функции от параметров среза. «Физика резания металлов», вып. I, Ереван, 1971.
4. Г. А. Арутюнян. Влияние условий стружкообразования на дислокационное упрочнение поверхности. Канд. дисс., Ереван. 1969.