

$$\begin{aligned} \epsilon_0 - \mu_0 \sigma_T &= \frac{4E}{3\ell^2} \left[(h-a)^2 \frac{df}{da} - 4(h-a)f \right] = \\ &= \frac{E}{3\ell^2} \frac{1}{K_{yc}} \frac{\ell}{2\ell_1 + \ell} \left[(h - K_{\alpha} \alpha_n)^2 \frac{1}{K_{\alpha}} \operatorname{tg} \alpha_n - \right. \\ &\quad \left. - 4(h - K_{\alpha} \alpha_n) f_n \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Представленные формулы (7) и (8) позволяют, снимая с диаграммной ленты в каждой расчетной точке величины α_n , β_n или f_n и $\operatorname{tg} \alpha_n$, рассчитать соответствующее остаточное напряжение. Можно добавить, что описанная установка пригодна для регистрации любых медленно меняющихся процессов. В этом случае должны применяться датчики электрического напряжения с выходным сопротивлением не более 100 Ом.

Л и т е р а т у р а

1. Д а в и д е н к о в Н.Н. Измерение остаточных напряжений в трубах. Журнал технической физики, т. I, вып. I, 1931.
2. Д а в и д е н к о в Н.Н., Ш е в а н д и Е.М. Исследование остаточных напряжений, создаваемых изгибом. Журнал технической физики, т. IX, № 12, 1939.
3. Б и р г е р И.А. Остаточные напряжения. - М.: Машгиз, 1963.
4. П а в л о в В.Ф. Исследование влияния остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность в условиях концентрации напряжений. Автореферат кандидатской диссертации. - Куйбышев: КуАИ, 1975, 16 с.

УДК 621.787.4

К.Ф.Митряев, М.Б. Сазонов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ
ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ МИКРОШАРИКАМИ ДЕТАЛЕЙ
ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ9**

Для получения высоких и стабильных прочностных свойств деталей, работающих при циклических нагрузках, необходимы определенные качест-

венные характеристики поверхностного слоя. Эта задача часто решается применением на финишных операциях поверхностного пластического деформирования. В настоящее время начинает широко применяться обработка микрошариками из стали ШХ15 диаметром 25–200 мкм на роторных дробебетных установках [1], [2]. Скорость полета микрошариков и сила удара на этих установках регулируется плавным изменением частоты вращения ротора. Обработка микрошариками (ОМШ) позволяет производить упрочнение маложестких, тонкостенных деталей с тонкими кромками, малыми радиусами галтелей и переходов, с надрезами (лопатки и диски ГТД, сепараторы, пальцы с резьбой и др.). При этом достигается упрочнение тонкого поверхностного слоя с наведением в нем сжимающих остаточных напряжений с максимумом у поверхности, снижение шероховатости.

Последнее имеет особо важное значение для малопластичных титановых сплавов, чувствительных к концентрации напряжений.

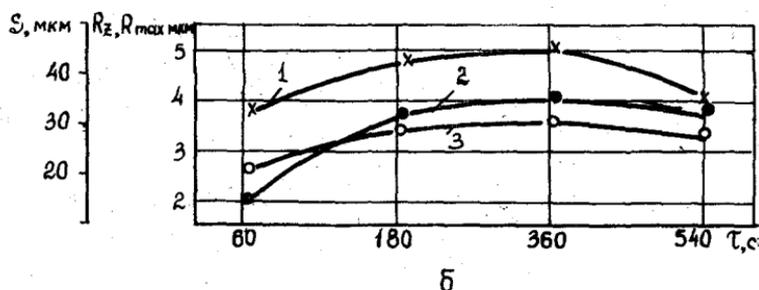
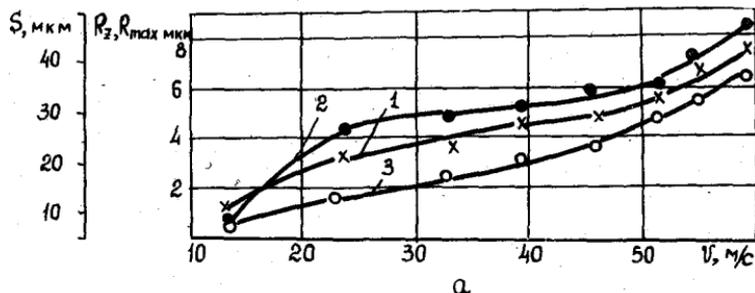
В статье приводятся результаты исследований шероховатости при ОМШ по основным параметрам ГОСТа 2789-73: R_a , R_z , R_{max} , S , S_m и t_p . Определение параметров производилось с помощью профилометров-профилографов моделей 201 и 252 по профилограммам и непосредственно по шкалам. Обрабатывались круглые и плоские, полированные до девятого класса ($R_a = 0,20 \dots 0,15$ мкм) образцы из сплава ВТ9 микрошариками диаметром 0,16 – 0,20 мм на дробебетной установке УДМ-2.

На рис. 1,а показаны зависимости параметров R_z , R_{max} и S от скорости полета микрошариков. Как видно, с увеличением скорости от 14 до 60 м/с непрерывно возрастают данные параметров шероховатости, в особенности при $v \geq 50$ м/с. Шероховатость полированной поверхности увеличивается на 2-3 класса и составляет $R_a = 1,25$ мкм, что может быть объяснено следующим образом.

При обработке микрошариками микрорельеф упрочненной поверхности формируется в результате контактно-сдвиговых деформационных процессов, протекающих под действием снопа микрошариков, бомбардирующих поверхность детали под различными углами атаки.

При контактной деформации под углом $\alpha \cong 90^\circ$ неровности на поверхности возникают за счет вдавливания дробинки и выпучивания металла вокруг отпечатков.

Результатом сдвиговой деформации являются борозды, оставленные микрошариками, имеющими малые углы атаки α . Гребешки металла, вытесненного по краям борозд, а также выпучивания вокруг отпечат-



Р и с. 1. Влияние скорости полета микрошариков (а) и времени обработки (б) на параметры шероховатости при обработке сплава ВТ9. а, б - 1 - R_{max} ; 2 - S ; 3 - R_z .

ков и их сочетания образуют после упрочнения микро рельеф поверхности. С увеличением скорости полета микрошариков возрастает сила удара, повышается глубина и степень деформации поверхностного слоя, что приводит к большему их углублению и вспучиванию материала, а следовательно и к возрастанию микро неровностей поверхности.

На рис. 1, б показана зависимость R_z , R_{max} , S от времени упрочнения τ при постоянной скорости микрошариков ($v = 39$ м/с). Как видно, заметное возрастание параметров шероховатости происходит лишь при $\tau = 1 - 3$ мин. Дальнейшее увеличение времени обработки практически не изменяет R_z и S , несколько снижая R_{max} .

Своеобразный характер рассмотренной зависимости является типичным для всех дробеударных методов упрочнения и объясняется на-

личием порога насыщения, за которым дальнейшая обработка становится неэффективной. В нашем случае порог насыщения лежит на участке $\tau = 3 - 5$ мин.

На рис. 2 приведены диаграммы различных параметров шероховатости. Здесь показано сравнение упрочняющей обработки микрошари-

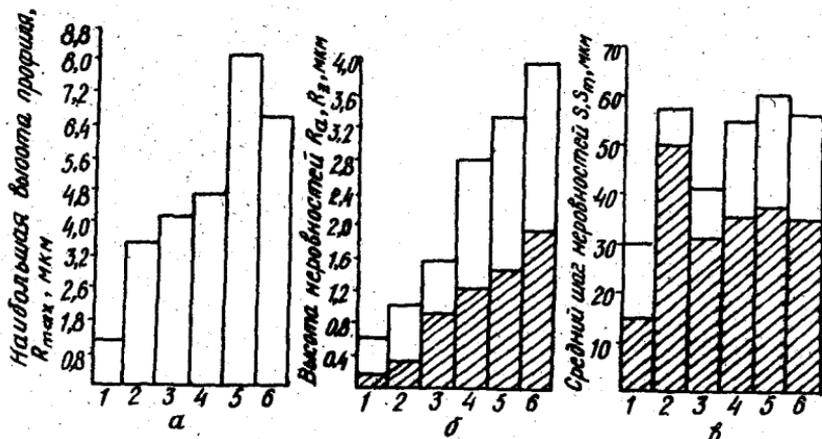


Рис. 2. Зависимость параметров R_{max} , R_z , R_a , S и S_m от вида обработки образцов из сплава ВТ9: 1-полирование; 2 - гидродробеструйная обработка + виброупрочнение; 3, 4, 6 - ОМШ, $\tau = 3$ мин; $v = 39, 46, 52$ м/с; 5 - ОМШ, $\tau = 6$ мин; $v = 46$ м/с. $\square - R_z, S_m$; $\text{штриховка} - R_a, S$

ками с исходным вариантом - полированием (1) и широко применяющимся в настоящее время комплексным поверхностным упрочнением: гидродробеструйной обработкой стальными шариками диаметром 2-3 мм и последующим виброупрочнением. По высотным характеристикам R_a , R_z и R_{max} наилучшие показатели имеют место у полированных образцов. У образцов, обработанных микрошариками, эти параметры выше и тем значительнее, чем больше скорость полета шариков и время обработки (3) - (6). Упрочнение гидродробеструйной обработкой в сочетании с виброупрочнением занимает промежуточное положение (2). Что касается шаговых параметров S_m и S , то они у упрочненных образцов значительно больше, чем у полированных. Это благоприятно с точки зрения усталостной прочности для этих видов обработки, так как с увеличением шага неровностей уменьшается концентрация напря-

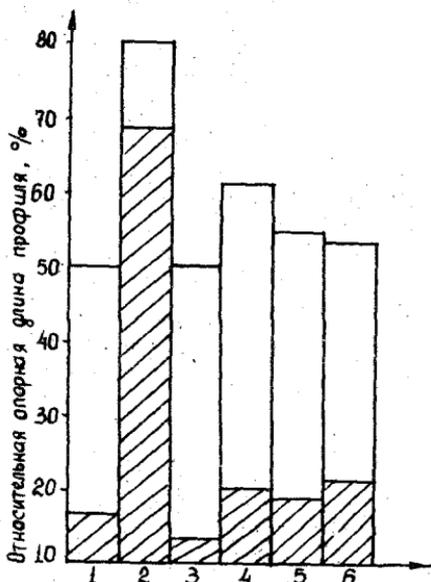
жений. Из диаграмм видно, что шаг по вершинам S примерно в 2 раза меньше, чем шаг по средней линии S_m , как и у полированных образцов, что свидетельствует о неравномерности профиля и сложном характере микрорельефов. У образцов, подвергнутых гидродробеструйной обработке и виброупрочнению, параметры S и S_m близки, что свидетельствует о большей равномерности профиля.

На рис. 3 показана зависимость опорной длины профиля t_{20} и t_{50} от вида обработки. Из рисунка видно, что образцы, упрочненные микрошариками, имеют опорную длину,

близкую к полированным образцам. Коэффициент опорной линии t_{50} значительно отличается от t_{20} , что свидетельствует о том, что после обработки микрошариками выступы достаточно острые и быстро утолщаются по глубине. Это обуславливает пониженную контактную жесткость поверхности.

В ы в о д ы

1. При поверхностном упрочнении деталей из сплава ВТ9 микрошариками шероховатость поверхности зависит от времени обработки и особенно от скорости полета шариков и находится в пределах $R_a = 2,5 \dots 0,63$ мкм (6-8 класса).
2. Микрорельеф поверхности при упрочнении микрошариками неравномерный, нерегулярный, обладает пониженной контактной жесткостью.



Р и с. 3. Зависимость опорной длины профиля от вида обработки образцов из сплава ВТ9: 1-полирование; 2 - гидродробеструйная обработка+виброупрочнение; 3, 4, 6 - ОМШ, $\tau = 3$ мин, $V = 39, 46, 52$ м/с; 5- ОМШ, $\tau = 6$ мин, $V = 46$ м/с.

□ - t_{50} ; ▨ - t_{20} .

Л и т е р а т у р а

1. Волков В.И., Цейтлин А.Н., Цейтлин В.И. Упрочнение микронариками - резерв повышения прочности и надежности деталей ГТД. - В сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. Вып. 3.-Куйбышев: КуАМ, 1976, с. 235-241.
2. Музнецов Н.Д., Цейтлин В.И. Эквивалентные испытания газотурбинных двигателей. -М.: Машиностроение, 1976, 211 с.

УДК 621.91.01

А.С.Зыкин, В.Г.Никифоров

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАГРЕВОМ ЗАГОТОВКИ

Высокие требования к повышению усталостной прочности деталей и ресурсу выпускаемых изделий определяют поиски новых методов обработки, позволяющих снизить интенсивность наклепа обработанной поверхности и величину остаточных поверхностных напряжений. Одним из таких методов, как показывают наши исследования, может явиться обработка с предварительным нагревом зоны резания.

В исследованиях применялся электроконтактный нагрев, для которого использовалась специальная установка, включающая в себя силовой понижающий трансформатор, регулятор напряжения и измерительную аппаратуру [1] - [3]. Сила подводимого тока изменялась от 0 до 1000А при напряжении 2 - 6В.

Исследования наклепа и остаточных напряжений проводились при точении сплавов ХН67ВМТЮ и ВТ3-1 на режимах резания $v = 0,25 - 0,35$ м/с; $s = 0,32 - 0,47$ мм/об; $t = 2$ мм.

Измерение наклепа поверхности проводилось с помощью прибора ПМТ-3 на косых срезах. Как показывают опыты, введение тока в зону резания, а следовательно дополнительного тепла, не меняет характера распределения наклепа по глубине поверхности. Однако по всем исследованным материалам величина максимальной микротвердости на обработанной поверхности и соответственно интенсивность наклепа снижаются с введением тока в зону резания. Указанный характер за-