

лагаемого изгиба волокна отсутствуют, благодаря чему материал в процессе гибки не разрушается. Из этих листов можно изготавливать сложные профили на существующих профилегибочных станах. Кроме того, большим достоинством частично армированных листов и профилей является возможность замены ими ранее применяемых материалов без изменения существующей технологии сборки.

УДК 621.77:621.787.4

Е.М. МАКУШОК, Т.В. КАЛИНОВСКАЯ,  
С.М. КРАСНЕВСКИЙ, Д.И. ДМИТРОВИЧ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ПЛОЩАДОК КОНТАКТА ПРИ ВДАВЛИВАНИИ ТЕЛ РАЗНОЙ КРИВИЗНЫ

Для реализации каждого конкретного процесса поверхностного пластического деформирования (ППД) следует выявить такие условия обработки изделия, которые обеспечивали бы оптимальное накопление деформаций в поверхностном слое с целью его упрочнения и наведения эпюры сжимающих остаточных напряжений при сохранении достаточного ресурса пластичности. Следовательно, необходимо раскрывать связь технологических параметров (усилие, приведенная кривизна контакта, подача, число циклов нагружения) с физико-механическими параметрами процесса (фактическая поверхность контакта, относительные нормальные и касательные напряжения, механические свойства контактирующих материалов), что обеспечит возможность анализа и управления им.

При разработке технологических процессов ППД важную роль играет правильное определение (аналитическое или экспериментальное) площадки контакта, величина которой совместно с приложенным усилием определяет среднее нормальное давление упрочнения поверхностного слоя.

Настоящее исследование проводилось с целью определения площадок контакта, формирующихся при вдавливании, поскольку последнее является основой процессов ППД. Качение с присущими ему особенностями развивается на его фоне.

Размеры упругопластических площадок вдавливания рассчитывались по формулам, выведенным авторами и основанным на определении псевдоупругой площадки с пластическим приращением опорной площадки, пропорциональным разнице между полной эпюрой средних нормальных напряжений и эпюрой предельных упругих напряжений на площадке контакта, а также приращением ее за счет скрытой волны. В формулах учитываются приведенный радиус кривизны контакта и физико-механические свойства исследуемого материала и индентора.

Для плоской задачи (вдавливание цилиндра в плоскость с контактом по образующей) ширина площадки контакта

$$2b = 2 \cdot 2,545 \rho \bar{\nu} \bar{\sigma}_n k n_{\text{н}} n_{\text{в}} . \quad (1)$$

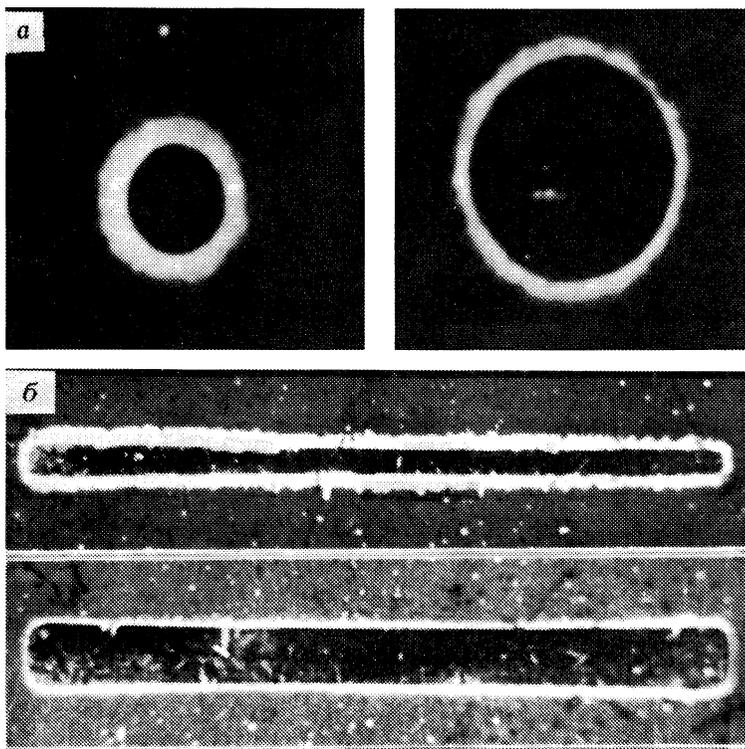


Рис. 1. Пятна контакта от вдавливания в плоскость шарика (а) и ролика (б)

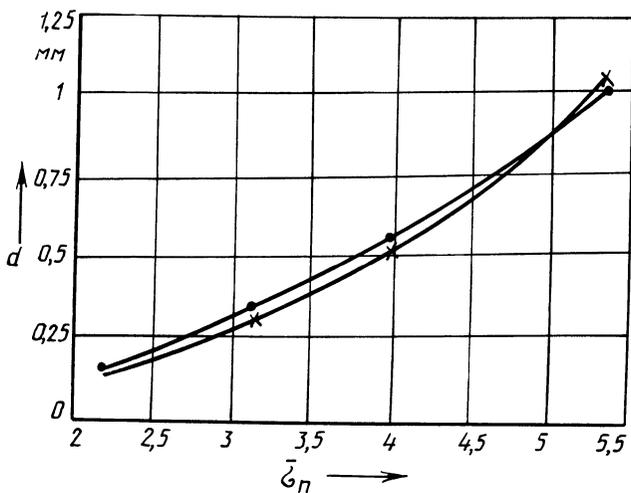


Рис. 2. Зависимость диаметра отпечатка от относительного среднего нормального напряжения на площадке контакта

Для осесимметричной задачи (вдавливание шара в плоскость) ширина отпечатка (диаметр шара) .

$$2b = d = 2 \cdot 4,716 \rho \bar{\nu} \bar{\sigma}_n k n_{\text{п}} n_{\text{в}} . \quad (2)$$

В формулах (1) и (2)  $\rho$  – приведенный радиус кривизны контакта;  $\bar{\nu}$  – упругая постоянная пары деталь–инструмент;  $\bar{\sigma}_n$  – относительное среднее нормальное напряжение;  $k$  – предел текучести материала детали на сдвиг;  $n_{\text{п}}$  – коэффициент приращения опорной площадки;  $n_{\text{в}}$  – коэффициент приращения площадки за счет скрытой волны. При заданном  $\bar{\sigma}_n$  оба коэффициента имеют конкретные значения.

Экспериментальное исследование площадок контакта проводилось при вдавливании в плоскость (материал Д14) шарика диаметром 10 мм и ролика диаметром 11 мм и длиной 10 мм. Контакт с роликом осуществлялся вдоль его образующей. Ролик и шарик были изготовлены из стали ШХ15. С целью выявления упругой и пластической зон отпечатков поверхность образца перед испытанием покрывали тонким слоем сажи. Нагружение шарика производилось усилиями от 100 до 1200 Н с интервалами в 100 Н, ролика – усилиями от 1 до 8 кН.

После снятия нагрузки на поверхности оставались темные отпечатки с белым ореолом, относительная ширина которого (по сравнению с темным ядром отпечатка) уменьшалась по мере роста нагрузки (рис. 1). Профилограммы при сравнении с фотографиями отпечатков свидетельствуют о том, что имеется растянутая свободная поверхность, с которой при упругом отпружинивании после снятия нагрузки страхивается сажа, в результате чего создается белый ореол.

С теми же усилиями вдавливали шарик в чистую шлифованную поверхность. Под микроскопом были видны отпечатки, практически совпадающие с полученными при использовании сажи. Следовательно, темное ядро отпечатка на саже представляет собой упругопластическую площадку вдавливания, контур которой ограничен скрытой волной, сформировавшейся в результате вытеснения из-под площадки контакта пластического смещенного объема материала, рост которого при увеличении усилия вдавливания способствует уменьшению зоны упругого растяжения поверхности (светлого ободка).

На рис. 2 в координатах  $d-\bar{\sigma}_n$  приведена диаграмма нагружения для шара–плоскости. Точками показаны расчетные диаметры отпечатков, крестиками – экспериментальные. Как видно из рисунка, отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 5...6%. При вдавливании цилиндра в плоскость по образующей (плоская задача) точность расчета примерно та же.

Таким образом, зависимости, полученные с использованием синергетического подхода к анализу закономерностей ППД, показали хорошее совпадение с экспериментальными данными и могут быть применены в расчетах, связанных с оптимизацией изучаемого процесса.