

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ППД

К. П. Петренко

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

К числу наиболее эффективных методов поверхностного упрочнения деталей машин относится поверхностное пластическое деформирование (ППД), которое позволяет создавать деформационное упрочнение металла, сжимающие остаточные напряжения и благоприятный профиль шероховатости поверхностного слоя. Это, в свою очередь, приводит к повышению усталостной прочности и долговечности деталей.

В настоящее время не вызывает сомнения факт, что проектирование технологических процессов упрочняющей механической обработки должно осуществляться с позиций технологического наследования (ТН), что предполагает учет накопления свойств поверхностного слоя на всех операциях механической обработки и проявления указанных свойств при последующей эксплуатации изделия. Многочисленные исследования показали, что эффективная оценка и прогнозирование свойств поверхностного слоя возможны на основе разработанной проф. В.Ю. Блюменштейном механики технологического наследования [2].

Согласно ее основным положениям, в процессах обработки и эксплуатации деталей машин происходит непрерывное накопление деформации и истощение запаса пластичности металлом поверхностного слоя. В качестве основных параметров механического состояния используются накопленная степень деформации сдвига Δ , показатель напряженного состояния Π , степень истощения запаса пластичности Ψ .

Внедрение и перемещение режущего или деформирующего инструмента (резца, ролика) приводит к возникновению очага деформации (ОД) – локальной области пластического течения в поверхностном слое. В ОД вдоль линий тока происходит накопление деформации, истощение запаса пластичности и формирование свойств поверхностного

слоя. При последующих операциях механической обработки накопление деформации происходит с учетом свойств поверхностного слоя, накопленных на предыдущих операциях.

Ключевым элементом механики ТН является программа нагружения (ПН), которая представляет собой зависимость накопленной степени деформации сдвига Δ от показателя напряженного состояния Π . ПН полностью описывает напряженно-деформированное состояние металла, определяется режимами обработки, формирует свойства и поврежденность поверхностного слоя.

Степень истощения запаса пластичности характеризует накопленную металлом поврежденность и является важнейшей характеристикой механического состояния поверхностного слоя. До деформирования $\Psi = 0$, в момент разрушения $\Psi = 1$. В качестве критерия для аналитического расчета Ψ на основе программ нагружения использовался критерий Калпина-Филиппова в категориях степени деформации сдвига при степенной аппроксимации кривой течения [1].

С целью проверки аналитических расчетов степени истощения запаса пластичности были проведены экспериментальные исследования по многоходовому обкатыванию роликами из стали ШХ 15 гладких цилиндрических образцов из стали 45 до появления следов разрушения (таблица 1).

Обкатывание на втором и последующих рабочих ходах до полного истощения запаса пластичности осуществлялось по уже обработанной поверхности, поверхностный слой которой характеризовался определенным значением накопленной деформации и степени истощения запаса пластичности.

Таблица 1 – Условия проведения экспериментальных исследований

№ образца	Количество рабочих ходов до разрушения	Режимы обкатывания				
		Диаметр ролика D_p , мм	Подача S , мм/об	Частота вращения шпинделя n , об/мин	Профильный радиус ролика R_{np} , мм	Усилие обкатывания P , Н
51	3	95	0,07	630	2,5	2500
52	3				5	
54	2	64			8,5	2000
56	3				5	1500
57	2				13,5	2000

Профилографирование ОД производилось на профилографе-профилометре «Talysurf–5M» фирмы «Rank Taylor Hobson». Геометрические параметры ОД использовались в качестве граничных условий при моделировании методом конечных элементов (МКЭ). В соответствии с постановкой задачи создавались конечно-элементные модели ролика и обрабатываемой детали. Нижняя граница детали жестко закреплялась, в нее внедрялся абсолютно жесткий индентор и перемещался на величину подачи в горизонтальном направлении. При этом принималась схема плоского деформированного состояния в плоскости подачи ролика. Начальными

условиями моделирования являлись кривая течения, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность обрабатываемого материала, а также коэффициент трения на контактной поверхности ролика и заготовки.

Далее осуществлялся расчет параметров напряженно-деформированного состояния в узлах конечных элементов, с помощью специальной программной системы [3] производился их перерасчет в линии тока, определялись интегральные показатели механического состояния, программы нагружения и степень исчерпания запаса пластичности (таблица 2).

Таблица 2 – Экспериментальные (рассчитанные по результатам МКЭ) и расчетные (полученные аналитически) значения степени исчерпания запаса пластичности

№ образца и рабочего хода	Ψ_{Σ}	Ψ_P	$\Delta\Psi$, %
51.1	0,403	0,374	7,24
51.2	0,258	0,268	-3,92
51.3	0,206	0,225	-9,00
52.1	0,334	0,326	2,53
52.2	0,238	0,258	-3,01
52.3	0,209	0,224	-7,37
52.4	0,223	0,203	8,89
54.1	0,254	0,268	-5,51
54.2	0,241	0,233	3,31
54.3	0,211	0,211	-0,06
56.1	0,270	0,261	3,36
56.2	0,224	0,228	-1,94
56.3	0,209	0,205	2,00
56.4	0,176	0,190	-7,68
57.1	0,251	0,248	1,34
57.2	0,223	0,223	-0,13
57.3	0,190	0,205	-8,06
57.4	0,181	0,190	-5,04
57.5	0,172	0,180	-4,68

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ППД

В таблице 2 $\Delta\psi$ – погрешность оценки степени истощения запаса пластичности, которая рассчитывалась как:

$$\Delta\psi = \frac{\psi_{\text{Э}} - \psi_{\text{Р}}}{\psi_{\text{Э}}} \cdot 100\% \quad 1)$$

Анализ полученных результатов показывает высокое соответствие значений степени истощения запаса пластичности, полученных экспериментальным и расчетным путем. Погрешность при определении ψ не превышает 9 %.

Список литературы:

1. Филиппов Ю. К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объ-

емной штамповкой [Текст] / Ю. К. Филиппов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 2. – С. 3 – 9.

2. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

3. Блюменштейн В. Ю. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния (RNDS_MDS): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611073 / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов. – Заявка № 2002610824, дата поступления 13 мая 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2002 г..