

Тусупбекова Г.М.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

G.M. Tusupbekova

ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE SURFACE OF PLASTIC DEFORMATION ON RESIDUAL STRESS

УДК: 621/757

В статье приведены результаты исследований остаточных напряжений и деформаций при упрочнении поверхностей заготовок. Определены условия влияния технологической наследственности на остаточные напряжения.

In article results of researches of residual pressure and deformations are resulted at hardening surfaces of preparations. Conditions of influence of a technological heredity on residual pressure are determined.

Обработка ППД в большинстве случаев является завершающей операцией технологического процесса изготовления детали ведется по поверхностному слою (ПС). Сформированному на предыдущих операциях и имеющему определенный уровень остаточных напряжений. Таким образом, упрочнение ведется по предварительно напряженному слою.

Для оценки влияния технологических наследственных остаточных напряжений на начальные, остаточные напряжения и деформации после ППД были выполнены исследования напряжений в образцах, упрочненных в предварительно напряженном состоянии. Для этого прямоугольные образцы размером 120X20X6 мм закреплялись в специальном приспособлении и нагружались равномерным моментом по длине (чистый изгиб). В зависимости от направления и величины изгибающего момента на упрочняемой поверхности предварительно создавались напряжения требуемого знака (растяжения или сжатия) и величины. В процессе упрочнения эти напряжения взаимодействовали с напряжениями от ППД, образуя некоторую неуравновешенную исходную эпюру напряжений.

После упрочнения и раскрепления образца под действием исходных напряжений происходит его деформация и формирования уравновешенных по сечению остаточных напряжений. Значение исходных напряжений в общем случае, когда перераспределение напряжений происходит в упругой зоне, может быть найдено по формуле:

$$\sigma_u(x) = \sigma_u(x) + \sigma_a(x) + \sigma_p(x) + \sigma_m(x)$$

где $\sigma_u(x)$ - напряжения от внешнего изгибающего момента (от предварительного изгиба); $\sigma_p(x)$ - остаточные напряжения в раскрепленном образце; $\sigma_p(x)$ - часть начальных напряжений, которая релаксировала в результате продольных деформаций образца (увеличения или уменьшения его длины); $\sigma_m(x)$ - часть начальных напряжений, которая релаксировала в результате изгибных деформаций образца.

Представлены результаты исследования остаточных напряжений и полученные расчетным путем исходных напряжений для трех вариантов гидробеструйного упрочнения (ГДУ) образцов из стали 15X11МФ:

- 1) $\sigma_u(x) = 0$, образец не подвергался предварительному изгибу;
- 2) $\sigma_u(x) = -160$ МПа (на поверхности образца), т.е. упрочнялись вогнутая сторона с предварительными напряжениями сжатия;
- 3) $\sigma_u(x) = +160$ МПа (ка поверхности образца), упрочнялась выпуклая сторона с предварительными напряжениями растяжения. Режим упрочнения для всех вариантов одинаков.

Анализ полученных результатов показывает, что характер напряженного состояния ПС до упрочнения оказывает существенное влияние на его напряженное состояние после упрочнения. Когда упрочнению подвергалась поверхность с напряжениями сжатия, то максимальное значение исходных напряжений было - 300

МПа. В случае упрочнения образца, не имевшего напряжений, $\sigma_u(x)_{\text{max}} = -420$ МПа; Упрочнение же поверхности с напряжениями растяжения сопровождалось образованием исходных напряжений наибольшей величины $\sigma_u(x)_{\text{max}} = -780$ МПа. Соответственно минимальные остаточные деформации образцов были при

управлении по второму варианту, а максимальные - при упрочнении по третьему варианту.

Результаты исследования остаточных напряжений в ПС лопаток, упрочненных многопереходной обработкой, показывают, что последовательное упрочнение по схеме: виброшлифование (ВШ) + виброполирование (ВП) + виброупрочнение (ВУ) с увеличением диаметра ударных тел (ВП и ВУ) в

большей степени влияет на увеличение глубины проникновения остаточных напряжений сжатия, и в меньшей - на их уровень.

При этом происходит спад остаточных напряжений в тонком ПС. Спад напряжений связан с особенностями пластической деформации под действием максимальных касательных напряжений, которые находятся на некоторой глубине от поверхности. Эта глубина соизмерима с диаметром отпечатка ударного тела на поверхности детали. Второй причиной спада может быть исчерпание способности металла ПС к деформированному упрочнению, поскольку степени наклепа при многопереходном упрочнении может превысит предельно допустимую и привести к исчерпанию ресурса пластичности металла. Эпюры остаточных напряжений, полученные при последовательной обработке виброупрочнением (ВУ) и упрочнением микрошариками (УМШ) или гидробеструйным упрочнением (ГДУ) как на стали 15Х11МФ, так и на титановых сплавах подслоного максимума не имеют. Верхние части эпюр характерны для эпюр остаточных напряжений после УМШ, а часть эпюры на большой глубине практически повторяет эпюры остаточных напряжений после ГДУ и ВУ.

Приведены данные дают основание сделать вывод о том, что влияние технологической наследственности на конечные эпюры остаточных напряжений после поверхностного пластического деформирования может проявляться при следующих условиях:

- глубина активной части эпюры остаточных напряжений до ППД должна быть существенно больше глубины проникновения начальных напряжений формируемых ППД;
- интенсивность пластических деформаций последующего процесса должна превышать интенсивность деформаций предыдущего процесса;
- суммарное деформационное упрочнение не должно превышать общего ресурса обрабатываемого металла по деформационному упрочнению (ресурса пластичности).

Если первое условие не соблюдается, то может не учитывать влияние остаточных напряжений от предыдущих технологических операций на конечную эпюру остаточных напряжений после ППД. Однако этот вывод нельзя распространять на технологические остаточные деформации, т.к. они существенно зависят не только о начальных напряжений, возникающих на последней операции ППД, но и от технологически наследственного остаточного напряжения состояния заготовки (детали) до ППД. Этот вывод подтверждается результатами экспериментов по ГДУ образцов из титанового сплава, прошедших предварительное строгание и шлифование. Они показали, что уровень начальных и остаточных напряжений после ГДУ практически на зависит от остаточных напряжений при строгании и фрезеровании. В этом смысле ГДУ являются сильным технологическим барьером.

В то же время остаточные деформации чувствительно реагируют на знак, величину и характер эпюры остаточных напряжений, имевшихся в детали до упрочнения. Даже небольшие (по сравнению с ГДУ) остаточные напряжения о строгания и шлифования привели к различным остаточным деформациям образцов после ГДУ. Так, если ГДУ поверхности, обработанной строганием, вызвало остаточные напряжения - 0,437 мм, то ГДУ шлифованной поверхности сопровождалось деформациями, величиной - 0,525 мм.

Таким образом, при поверхностном пластическом деформировании проявляется качественно такие же закономерности влияния технологической наследственности на остаточные напряжения и деформации деталей, как и при механических методах обработки со снятием слоя. Конечная эгаора распределения остаточных напряжений наиболее надежно и достоверно может быть определена только экспериментальным путем.

Литература:

1. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве. /Под ред. А.М. Дальского, М.: Изд-во МАИ, 2000. 364с.
2. Направленное формирование свойств изделий машиностроения. /Под ред. А.И. Кондакова М.: Машиностроение, 2005. 351с.

Рецензент: д.т.н., профессор Муслимов А.П.