

Г. К. МАРКАРЯН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗАКАЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

До недавнего времени считалось неоспоримым положение, согласно которому качество рабочей поверхности деталей машин, а следовательно, и их долговечность при определенных условиях испытаний и эксплуатации (износе, знакопеременных нагрузках, коррозии и т. д.) обусловлено исключительно методами и условиями осуществления последней операции, завершающей технологический процесс обработки детали. Таким образом, исключалась возможность влияния результатов предшествующих операций технологического цикла на эксплуатационные свойства готовых деталей. Единственное исключение составляло явление переноса неточностей макрогеометрии заготовки на готовую деталь с определенным уточнением, зависящим от жесткости системы СПИД.

В настоящее время, благодаря исследованиям А. А. Маталлина [1, 2], доказана несостоятельность подобного положения и установлено существование технологической наследственности при образовании некоторых свойств рабочей поверхности деталей машин. Так, было обнаружено взаимодействие между внутренними остаточными напряжениями в поверхностных слоях, образованными на различных этапах обработки детали, и их влияние на точность и долговечность при эксплуатации.

В дальнейшем некоторыми исследователями были установлены новые аспекты проявления технологической наследственности. В частности, К. Ф. Романов и К. Ф. Сотникова [3] обнаружили существенное влияние на усталостную и длительную прочность, а также на термостойкость жесткости системы СПИД операций черновой обработки деталей. А. М. Дальский провел большую работу по математической обработке закономерностей проявления технологической наследственности [4], исходя из оригинальной модели этой наследственности, суть которой сводится к следующему: образно технологический процесс обработки можно представить как траекторию движения точки в n -мерном пространстве состояний; в любой момент времени состояние обрабатываемого объекта характеризуется конечным числом параметров (размерами, формой, физико-механическими свойствами); любое состояние объекта должно рассматриваться как результат состояний, имевших место в прошлом.

Однако, как показывает анализ опубликованных работ, проведенные в этой области исследования явно недостаточны для выявления полной картины технологической наследственности во всем многообразии ее проявлений.

Нами установлен один из механизмов влияния технологической наследственности на микроструктуру и упрочнение поверхности закаленных деталей, прошедших предварительную механическую обработку.

Одним из основных методов упрочнения ответственных деталей машин является закалка. При этом считается, что она наряду с повышением прочности сердцевинны детали приводит и к созданию высокопрочных поверхностных слоев с однородной структурой (если игнорировать возможностью обезуглероживания) и постоянными механическими свойствами. Однако, как показали наши исследования, подобное утверждение необоснованно. Установлено, что закалка деталей после их механической обработки неизбежно приводит к возникновению у поверхности ослабленного слоя металла с пониженной твердостью и крупными иглами мартенсита или других структур распада аустенита.

Суть этого явления заключается в следующем. Обычно закалке деталей предшествует чистовая механическая обработка. При любом методе лезвийной обработки сырых вязких металлов на поверхности детали образуется пластически деформированный слой, глубина проникновения и степень деформации которого определяются условиями резания [5]. При этом независимо от последних во всех случаях образующийся поверхностный слой имеет одно общее свойство—степень деформации металла по мере удаления от поверхности постепенно уменьшается и на некотором расстоянии от нее становится равной нулю.

Следовательно, при нагреве под закалку детали с наклепанной поверхностью в слоях, примыкающих к этой поверхности, следует ожидать протекания собирательной рекристаллизации, так как обычно температура закалки существенно превышает температуру порога рекристаллизации металла. Тогда, согласно теории рекристаллизации [6], в слоях обработанной поверхности, различно удаленных и, следовательно, имеющих различную степень деформации, возникнут различные по величине рекристаллизованные зерна аустенита. Причем наиболее существенное укрупнение (с образованием «гигант-зерен») произойдет в тех горизонтах поверхности, где степень деформации металла будет критической (2—10%), т. е. в горизонтах, где наклепанная структура переходит в исходную, интенсивность роста зерен по мере удаления в обе стороны от этой зоны должна уменьшаться. Характер этой закономерности, точно так же, как и характер рекристаллизационных диаграмм металлов [7], будет достаточно типичным и не будет зависеть от рода металлов.

Последующее же охлаждение при закалке подобной неоднородной по глубине поверхности структуры неизбежно должно привести к

образованию неоднородного мартенсита (или других структур распада аустенита) с различными свойствами, обусловленными величиной зерен аустенита. По всей вероятности, характер распределения величин структурно-чувствительных механических свойств (в частности, твердости) по глубине закаленной поверхности будет зеркальным отображением закономерности изменения величины зерна аустенита по глубине поверхности нагретой детали.

Таким образом, в результате наклепа обработанной поверхности, ее рекристаллизации и охлаждения на рабочей поверхности готовой детали должна образоваться зона с пониженной прочностью.

Выдвинутая гипотеза проверялась экспериментально*. С этой целью образцы из сталей 45, 40Х, 35ХГСА были подвергнуты черновой и чистовой обработке на токарно-винторезном станке ИК62 проходными резцами, оснащенными пластинками твердого сплава марки Т15К6. Последующая закалка образцов производилась по соответствующим режимам двумя методами—поверхностная закалка токами высокой частоты и объемная закалка с нагревом в печи. Нагрев осуществлялся в атмосфере воздуха.

На образцах по разработанной нами методике [8] изготавливались лыски, и на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор, равной 100 г, измерялась микротвердость различных горизонтов обработанной поверхности образцов после чистового точения и закалки.

Результаты измерений представлены на рис. 1, 2 и 3. Полученные закономерности распределения микротвердости по глубине обточенной (кривые «а») и закаленной (кривые «б», «в») поверхности убедительно доказывают правильность вышеописанного механизма образования ослабленного поверхностного слоя. Как видно из приведенных зависимостей, во всех образцах после закалки и независимо от способа ее осуществления микротвердость металла по мере удаления от поверхности сначала снижается, доходит до определенного минимума, после чего снова повышается и затем на некотором расстоянии от поверхности стабилизируется. Причем, минимальное значение микротвердости закаленной поверхности по глубине приблизительно совпадает с переходной зоной поверхности обточенных образцов, где степень деформации металла сравнительно невелика и где, следовательно, произошло самое интенсивное укрупнение зерен аустенита при нагреве с последующим образованием крупнонольчатого хрупкого мартенсита.

В зависимости от характера обрабатываемого металла и способа закалки, как это вытекает из приведенных графиков, максимальный провал твердости поверхности исследованных сталей доходит до 14—17%, а глубина проникновения ослабленного слоя—до 100—250 мк. Некоторую разницу в абсолютных значениях микротвердостей слоев поверхности образцов из данной марки сталей, закаленных разными

* Эксперименты проведены инж. Г. А. Арутюняном.

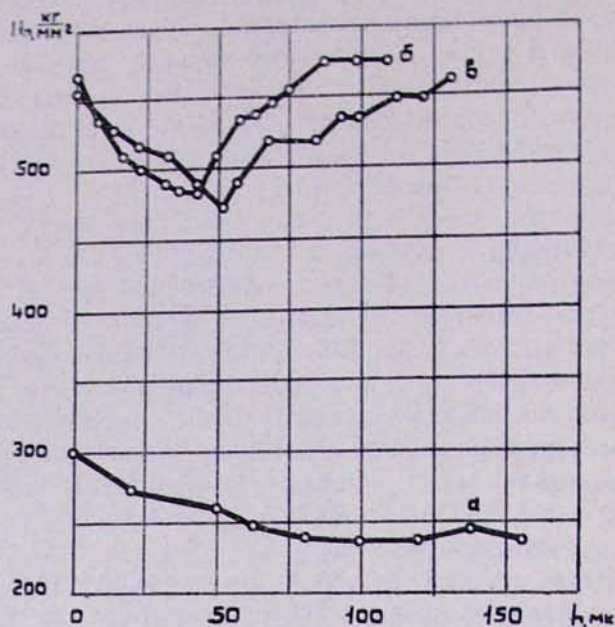


Рис. 1. Зависимость «микротвердость—расстояние от поверхности»: а—после чистового точения, б—после закалки т. в. ч., в—после закалки в печи. Материал—сталь 40X.

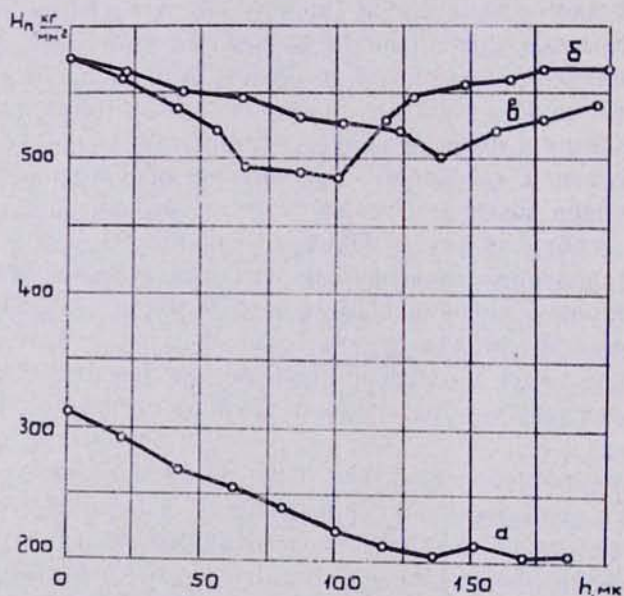


Рис. 2. Зависимость «микротвердость—расстояние от поверхности»: а—после чистового точения, б—после закалки т. в. ч., в—после закалки в печи. Материал—сталь 45.

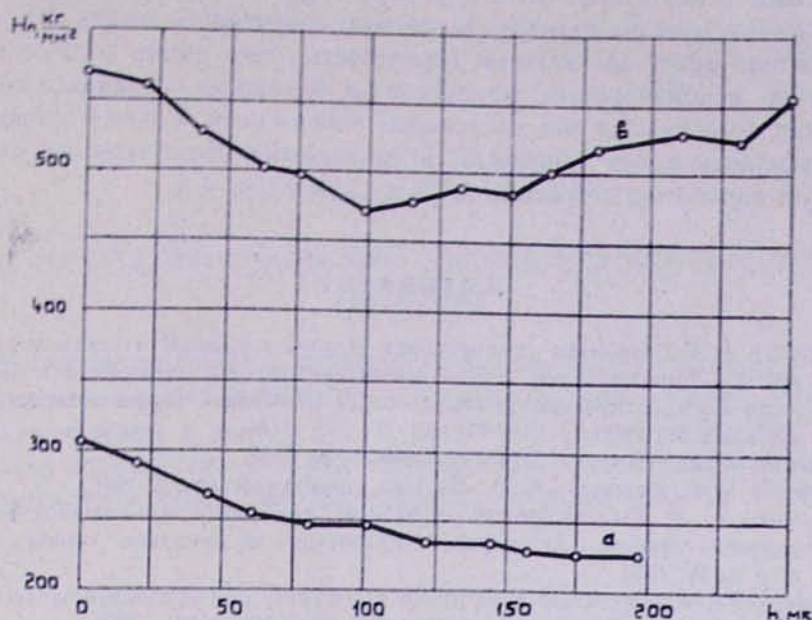


Рис. 3. Зависимость «микротвердость—расстояние от поверхности»: а—после чистового точения, б—после закалки в печи. Материал—сталь 35ХГСА.

методами, очевидно, следует объяснить различием условий нагрева и теплоотвода.

Установленное явление, сопровождающее образование рабочих поверхностей ответственных деталей машин, имеет ряд важных практических аспектов.

Для многих деталей (в частности, для 95% зубчатых колес, многих валов, шлицевых соединений, неподвижных посадок и т. д.) технологический цикл обработки завершается закалкой и отпуском. Следовательно, во всех этих случаях в рабочую поверхность готовой детали закладывается заведомо недостаточно высокий уровень надежности и долговечности. Это положение существенно ухудшается еще и тем, что перед сборкой большинство ответственных деталей подвергается проработке, при которой удаляются более твердые субповерхностные слои металла, в силу чего готовая к сборке деталь приобретает рабочую поверхность с пониженной твердостью и, следовательно, с пониженной работоспособностью.

Остальная часть ответственных деталей машин после закалки подвергается финишным операциям (шлифованию, хонингованию, полированию и т. д.). И в этом случае, незнание существования и закономерностей образования ослабленного поверхностного слоя может привести к неправильному выбору припусков на эти операции и не исключена возможность, что при этом будет удалена только часть ослаблен-

ного слоя и опять-таки более глубокие слои поверхности с пониженной твердостью металла перейдут в рабочую поверхность детали. Это предположение имеет достаточную вероятность, если учесть соразмерность величин рекомендуемых припусков на финишные операции и обнаруженных ослабленных зон закаленной поверхности, с одной стороны, и все усиливающуюся тенденцию к сокращению припусков на механическую обработку, с другой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маталин А. А. Повышение долговечности деталей в процессе их механической обработки. Технологические методы повышения точности, надежности и долговечности в машиностроении. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции, М., 1966.
2. Маталин А. А. «Вестник машиностроения», 10, 1968.
3. Романов К. Ф., Сотникова К. Ф. «Вестник машиностроения», 5, 1967.
4. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности прецизионных металло-режущих станков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д. т. н., М., 1969.
5. Маркарян Г. К. Упрочнение поверхности и его связь со стружкообразованием. Качество поверхности деталей машин, сб. 5, изд. АН СССР, 1961.
6. Уманский Я. С. Физическое металловедение. Металлургиздат, 1955.
7. Рогельберг И. Л., Шпигинецкий Е. С. Диаграммы рекристаллизации металлов и сплавов. Металлургиздат, 1950.
8. Касьян М. В., Маркарян Г. К. Высокое качество поверхности (упрочнение)—основа повышения надежности, Ереван, 1966.