

Г. Н. Ангелло

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТВЕРДЫХ НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При механической обработке слоя наплавленного металла следует учитывать такие особенности его физико-механических свойств [1], как:

- а) химическая и структурная неоднородность металла наплавленного слоя;
- б) значительное упрочнение отдельных участков слоя;
- в) различная степень упрочнения металла по глубине слоя и различная твердость отдельных участков слоя;
- г) макронеровность поверхности, пористость, трещиноватость и наличие неметаллических включений (рис. 1).

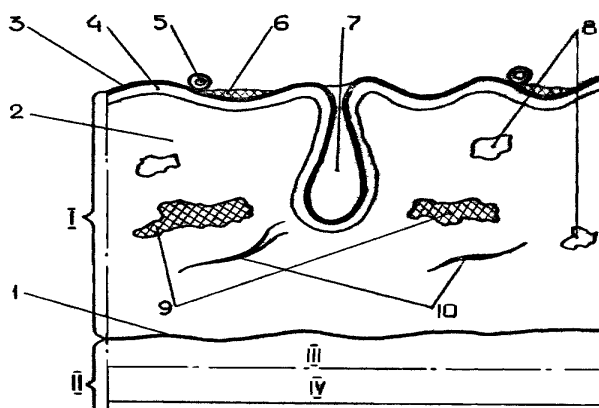


Рис. 1. Схема строения участка детали с наплавленным слоем: I – наплавленный слой; II – основной металл детали; III – зона термического влияния; IV – металл детали с неизменными свойствами; 1 – поверхность сплавления; 2 – металл наплавленного слоя; 3 – поверхность наплавленного слоя; 4 – окисная пленка; 5 – капли застывшего металла; 6 – шлаковые включения; 7 – поры, выходящие на поверхность; 8 – поры, не выходящие на поверхность; 9 – неметаллические включения; 10 – трещины

Разброс значений твердости как на поверхности детали, так и по глубине наплавленного слоя при различных способах наплавки неодинаков. Наибольшее изменение твердости поверхности наблюдается при вибродуговой наплавке. Установлено, что при вибродуговой наплавке проволокой с содержанием углерода 0,4...0,45 % с применением охлаждающей жидкости твердость меняется в пределах 12...45 HRC [2], 35...45 HRC [3] (разброс значений твердости составляет 20...30 %). Намного меньше разброс значений твердости при наплавках под слоем флюса (6...10 %) [4].

Наибольшая химическая неоднородность структуры наплавленного слоя также отмечается при вибродуговой наплавке. Так, при вибродуговой наплавке проволокой Нп-65Г верхние слои состоят из вытянутых слаботравящихся столбчатых кристаллов, имеющих мартенситное строение, а зона сплавления характеризуется чередованием троосто-мартенсита, троостита и сорбита [5]. Наплавленный слой характеризуется наличием неметаллических включений, что существенно влияет на стойкость инструмента при механической обработке [6]. Толщина наплавленного слоя при автоматических вибродуговой наплавке и электродуговой наплавке под слоем флюса может изменяться в больших пределах (1...5 мм) за счет изменения режима наплавки и диаметра электрода [5].

Существенным показателем, определяющим качество наплавки, является макронеровность поверхности, величина которой зависит от способа наплавки, вида защиты, диаметра электрода, режимов наплавки. Установлено [5], что средняя величина макронеровности при вибродуговой наплавке составляет 30 % от толщины наращиваемого металла.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее сложна механическая обработка высокотвердых поверхностей (твердость выше 40 HRC), наплавленных вибродуговым способом. Следовательно, изыскание и исследование методов обработки и инструмента для обработки наплавленных поверхностей целесообразнее проводить на деталях, наплавленных вибродуговым способом.

С точки зрения технологии обработки детали, восстанавливаемые наплавкой, в зависимости от твердости слоя можно разделить на три группы (рис. 2) [7].

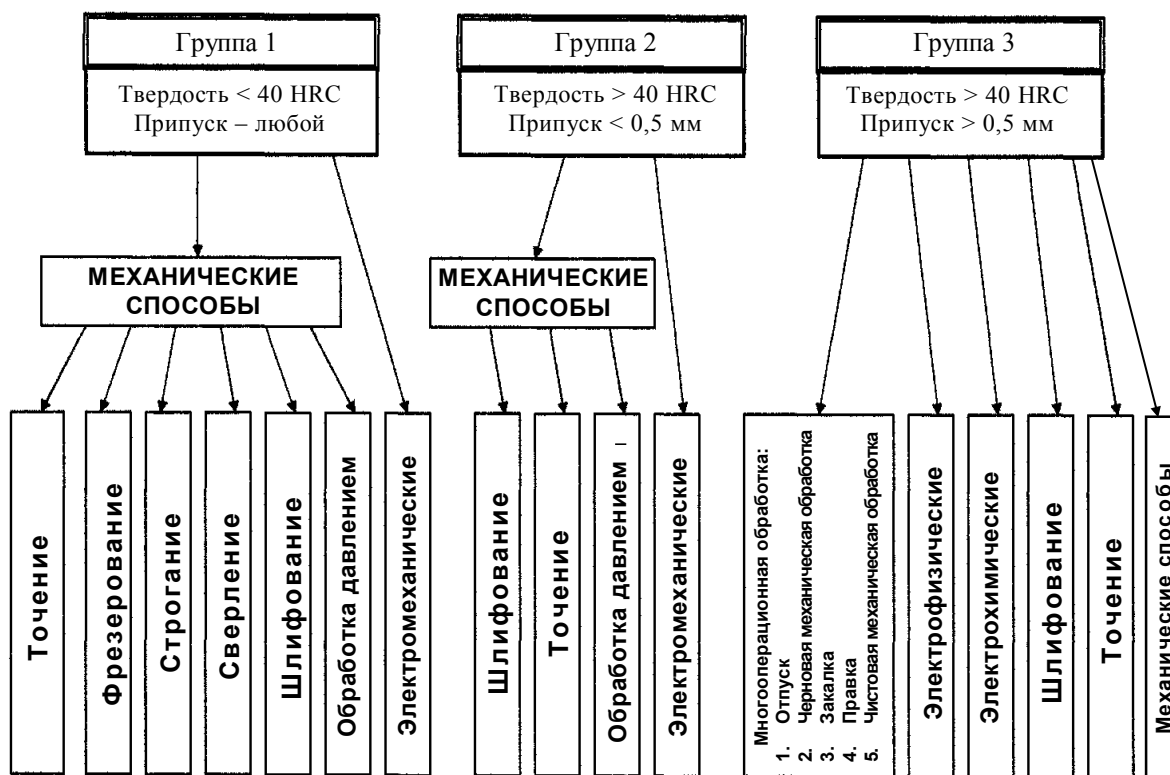


Рис. 2. Методы обработки наплавленных поверхностей различной твердости с различным припуском

Как видно из рис. 2, обработка деталей, отнесенных к группе 1, наименее сложна и осуществляется общеизвестными способами механической обработки.

Обработка деталей групп 2 и 3 затруднительна вследствие необходимости снимать слой высокой твердости, неоднородный по химическому и структурному составу, с высокой макронеровностью.

Особенности строения высокотвердых наплавленных поверхностей существенно отличают процесс их обработки от процесса обработки закаленных стальных поверхностей с постоянным припуском на обработку. Наличие в наплавленном слое неметаллических включений способствует быстрому истиранию инструмента при механической обработке, а значительная макронеровность поверхности, трещины и раковины, имеющиеся в слое, вызывают выкрашивание инструмента вследствие ударных нагрузок [6].

Применение многостадийной обработки экономически нецелесообразно из-за дополнительных термических операций и межоперационных перемещений восстанавливаемых деталей.

Электрохимические и электрофизические методы в достаточной мере оправдывают себя при обработке труднообрабатываемых восстанавливаемых деталей сложной конфигурации, громоздких размеров и т. п., т. к. обладают определенными достоинствами, такими как возможность обработки деталей сложной формы без силового воздействия инструмента на деталь, возможность получения высокой точности и малой шероховатости обработки, использование электрической энергии с высоким КПД и др. Однако им присущи и следующие недостатки, имеющие существенное значение при внедрении этих методов на ремонтных предприятиях:

- необходимость использования сложного дорогостоящего оборудования;
- коррозионное воздействие электролитов на металлические части станков;

- необходимость дополнительного переоборудования обычных станков для механической обработки;
- дополнительное потребление электрической энергии;
- токсическое воздействие паров электролита на организм человека [7].

Наибольшее распространение при обработке наплавленных поверхностей получило абразивное шлифование, несмотря на присущие ему недостатки. В [8–11] изложены методики выбора характеристики круга для обработки конкретного материала и получения требуемой шероховатости поверхности и точности размера. Однако разработанные рекомендации не всегда могут быть использованы при шлифовании поверхностных слоев, восстановленных наплавками, физико-механические свойства которых существенно отличаются от свойств обычных углеродистых и легированных сталей.

Г. М. Зильберманом [12] установлены особенности абразивного шлифования поверхностей, восстановленных наплавкой, а именно влияние твердости и зернистости круга на коэффициент режущей способности и шероховатость обработанной поверхности. Доказано [13], что применение абразивного шлифования для обработки высокотвердых наплавленных поверхностей ограничивается из-за значительного удельного износа абразивных кругов, достигающего 100 % и более от объема снятого металла. С увеличением твердости круга удельный вес уменьшается, однако при этом увеличивается радиальная сила, что приводит к появлению на поверхности микротрещин на глубину до 0,6 мм при шлифовании на режимах с повышенными параметрами [14].

Исследование обрабатываемости наплавленных поверхностей шлифовальными кругами различных характеристик, в том числе и из новых износостойких абразивных материалов [15], показало низкую эффективность шлифования наплавленных поверхностей по всем показателям процесса. Так, по сравнению с обрабатываемостью нормализованной стали 45 обрабатываемость слоя металла, наплавленного вибродуговым способом проволокой Нп-65Г, хуже: по износу шлифкруга – в 15–35 раз, по удельной производительности – в 10–40 раз. Кроме того, в деформированном поверхностном слое в результате термического воздействия увеличиваются остаточные напряжения растяжения, величина которых может достигнуть 588 МПа и выше [16, 17].

Обработка наплавленных слоев точением исследуется в [6, 18–21 и др.]. Ю. Б. Борисовым [18] исследованы вопросы износа резцов из твердого сплава при обработке металла, наплавленного дуговой электросваркой, и установлено, что износ инструмента при обработке наплавленного слоя даже невысокой твердости более интенсивен по сравнению с износом при обработке сталей и чугунов. Увеличение износа инструмента объясняется наличием в наплавленном слое значительного количества нитридов, окислов железа, шлаков, пор и трещин, что приводит к увеличению как абразивного, так и других видов износа.

Д. Д. Медведевым [19] рассмотрены вопросы установления допустимого износа, выбора марки твердого сплава и определения геометрических параметров твердосплавных резцов при точении валов, наплавленных электродами ЦН-350 в два слоя продольными швами.

Так как условия работы резцов при точении металла, наплавленного продольными швами и по винтовой линии, существенно различаются, то результаты, полученные в [20], не могут быть использованы для практического внедрения при обработке металла, наплавленного большинством современных автоматических способов.

В [21] приведены результаты исследования оптимальных режимов резания при точении металла различной твердости, наплавленного вибродуговым способом, при восстановлении деталей горношахтного оборудования. Однако в работе отсутствуют сведения о допустимом износе и нормах стойкости резцов. Это не позволяет произвести оценку эффективности предложенных рекомендаций и выбрать экономический период стойкости резца. Указанные обстоятельства затрудняют практическое использование результатов работы.

В [12] определены оптимальные геометрические параметры только твердосплавных резцов: рациональные материалы режущей части резцов, оптимальные режимы резания при черновом и получистовом точении деталей, восстановленных автоматической наплавкой и осталиванием.

Ю. Г. Кудрявцевым [6] установлено, что для обработки поверхностей, наплавленных вибродуговым способом, целесообразна двухстадийная обработка. При первом проходе снимается корка наплавленного металла резцами с напайками из твердого сплава типа ВК8, после чего обработку целесообразно осуществлять минералокерамическими резцами из сплава ЦМ-332. В [6] доказано, что преобладающим при обработке наплавленного слоя является абразивно-механический износ, и обосновывается целесообразность применения минералокерамического инструмента.

Однако в связи с тем, что наплавленный металл обладает пористостью, трещиноватостью и наличием инородных включений по глубине слоя, использование минералокерамических резцов даже на чистовом проходе связано с усиленным выкрашиванием режущей части из-за низкой ударной вязкости минералокерамики.

Б. Ю. Борисовым [18] оптимизирован выбор режимов резания, геометрии и марки материала твердосплавных резцов для точения поверхностей деталей, наплавленных автоматическим электродуговым способом под слоем флюса, в среде углекислого газа и в водяном паре. Однако рекомендации [18] при точении вибродуговой наплавкой могут быть нерациональными вследствие существенного различия физико-механических свойств слоев металла, наплавленного различными способами

Для точения наплавленного слоя высокой твердости геометрические параметры режущей части резцов следует назначать исходя из особенностей физико-механических свойств слоя.

Следовательно, геометрия резцов для точения наплавленного слоя должна обеспечить:

- возможно большую механическую прочность режущих кромок в условиях работы с переменной силой резания;
- хороший отвод тепла из зоны резания;
- уменьшение давления на задние грани.

В соответствии с этим геометрические параметры резцов для точения наплавленного слоя твердостью 40...58 HRC, предлагаемые в [6, 12, 18, 21], имеют следующие значения: $\gamma = -5...-15^\circ$; $\alpha = 8...15^\circ$; $\varphi = 28...45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 5...13^\circ$; $r = 1,0$ мм. Такие геометрические параметры предлагаются при использовании резцов из твердых сплавов (ВК6М, ВК8, Т15К6 и Т30К4) для точения высокотвердых наплавленных поверхностей при следующих режимах резания: $V = 20...40$ м/мин; $S = 0,07...0,12$ мм/об; $t = 0,5...1,5$ мм.

При обработке наплавленного слоя точением твердосплавными и минералокерамическими резцами можно достичь только шероховатости поверхности $Ra = 1,5...2,5$ мкм и обеспечить точность размера не выше 11...12 квалитетов [6]. Поэтому, с целью достижения меньшей шероховатости ($Ra = 0,8...2$ мкм) и большей точности размеров восстанавливаемой детали (6...9 квалитетов), в настоящее время на ремонтных предприятиях чаще всего применяют абразивное шлифование. Однако при шлифовании закаленной и низкоотпущенной стали, а также высокотвердых наплавленных слоев металла, по мнению авторов [22, 23], ухудшается качество поверхностного слоя, что отрицательно сказывается на долговечности обрабатываемых деталей.

В связи с освоением сверхтвердых режущих материалов, таких как эльбор-Р и гексанит-Р, обладающих повышенными твердостью и термостойкостью, а также химической инертностью к углероду, представляет существенный интерес использование резцов из сверхтвердых материалов для точения наплавленных поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мистюк А. П. Устройство и свойства участка детали с наплавленным слоем // Тр. ГОСНИТИ. – Т. 25. – М., 1971. – С. 24–29.
2. Пацкевич Б. Т. Исследование обрабатываемости металлов и производительности резцов методом продольной обточки с непрерывно возрастающей скоростью // Тр. СИМСХ им. М. Н. Калинина. – Вып. VIII. – Саратов, 1949. – С. 16–19.
3. Ульман И. Е., Рыжков Н. А., Авдеев М. В. Опыт вибродуговой наплавки деталей тракторов и сельскохозяйственных машин в Челябинской области // Исследование и применение вибродуговой наплавки. – М.: Машиностроение, 1964. – С. 12–17 с.
4. Кряжков В. М., Смирнов В. Г. Анализ конструктивно-технологических характеристик восстанавливаемых деталей тракторов // Тр. Ленингр. Ордена Тр. Красн. Знамени СХИ. – Т. 157, вып. 2. – Л., 1971. – 165 с.
5. Куликов Г. Д. Современные способы восстановления деталей наплавкой. – Челябинск: Челяб. рабочий, 1974. – С. 22–24.
6. Кудрявцев Ю. Г. Исследование точения твердосплавными и минералокерамическими резцами слоя, наплавленного вибродуговым способом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1967. – 19 с.
7. Галямин В. Д. Исследование электроабразивной обработки наплавленных поверхностей автотракторных деталей при их ремонте: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1973. – 27 с.
8. Васильев Г. А. Техничко-экономические расчеты новой техники. – М.: Машиностроение, 1977. – 200 с.
9. Крагельский Н. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

10. Кудасов Г. Ф. Влияние некоторых параметров характеристики абразивного инструмента на его шлифующую способность. Высокопроизводительное шлифование. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 33–36.
11. Меламед В. И. Об установлении условных единиц эффективности процесса шлифования абразивными шлифкругами // Тр. ЧИМЭСХ. – Вып. 32. – Челябинск, 1968. – С. 25–30 с.
12. Зильберман Г. М., Мальцев Г. М. Вопросы обработки деталей, восстановленных автоматической наплавкой и осталиванием // Тр. ПСХИ, В. О. «Россельхозтехника». – Пермь, 1971. – С. 6–9.
13. Кондратьев А. Б. Результаты исследования и опыт внедрения скоростного шлифования металлов. Основные вопросы высокопроизводительного шлифования. – М.: Машиностроение, 1960. – 96 с.
14. Грозин Б. Д. Структурное состояние внешних слоев металла деталей машин после черного и чистового шлифования. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 176 с.
15. Меламед В. И., Ангелло Г. Н. Обрабатываемость наплавленных поверхностей шлифованием // Тр. ЧИМЭСХ. – Вып. 109. – 1975. – С. 15–21 с.
16. Шальнов В. А. Шлифование и полирование высокопрочных материалов. – М.: Машиностроение, 1972. – 215 с.
17. Яцерицин П. Н. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. – Минск: Вышэйш. шк, 1971. – 212 с.
18. Борисов Ю. Б. Исследование и оптимизация параметров обрабатываемости точением наплавленных деталей, восстанавливаемых в условиях ремонтных предприятий: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1975. – 23 с.
19. Медведев Д. Д. Резцы для обработки наплавленного металла // Станки и инструмент. – 1960. – № 12. – С. 9–11.
20. Николаева Г. С. Исследование обработки деталей железнодорожного подвижного состава резцами новой конструкции: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1966. – 23 с.
21. Шилов П. И., Фролов К. В., Демидович Н. С. Исследование некоторых вопросов вибродуговой наплавки для восстановления изношенных деталей угледобывающих машин. Автоматическая вибродуговая наплавка. – Челябинск: Челяб. рабочий, 1960. – 44 с.
22. Старосельский А. А., Гаркунов Д. Н. Долговечность трущихся деталей машин. – М.: Машиностроение, 1967. – 394 с.
23. Методы повышения долговечности деталей машин / В. Б. Ткачев, Б. М. Фиштейн, В. Д. Власенко, В. А. Уланов. – М.: Машиностроение, 1971. – 270 с.

Статья поступила в редакцию 1.02.2008

SUBSTANTIATION OF THE RATIONAL METHOD OF HIGHLY RIGID SURFACED COAT PROCESSING

G. N. Angello

The features of physical-mechanical properties of the superficial layers received by various methods, including dip-transfer surfacing which brings to higher uncertainty of hardness value and chemical heterogeneity of structure. The analysis of the ways of machining of the layer received by means of dip-transfer surfacing method has shown low efficiency of processing by abrasive grinding in comparison with turning. The application of cutters from superhard materials is of great interest.

Key words: surfaced coat, superhard material turning, composite, elbor, hexanite.

В. А. Мамонтов, О. Н. Синельщикова

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ РЕАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Многие детали машин в процессе работы испытывают действие напряжений, переменных во времени. Процесс постепенного накопления повреждений, вследствие влияния этих напряжений, приводит к изменению свойств, образованию трещин, а затем и разрушению детали. Такое явление получило название усталости металла.

Существенное влияние на сопротивление усталости оказывают многие факторы, в числе которых – шероховатость поверхности деталей. Установлено, что шероховатость поверхности практически не оказывает влияния на прочность деталей, нагружаемых статическими силами. Но при циклических нагрузках шероховатость поверхности значительно влияет на усталостную прочность стали и других металлов, снижая ее. Неровности, образующиеся на поверхности, являются концентраторами напряжений и играют роль очагов возникновения субмикроскопических нарушений сплошности металла поверхностного слоя, его разрушения, становясь первопричиной образования усталостных трещин. Концентрация напряжений, возникающая во впадинах микронеровностей, зависит от высоты, шага и радиуса закругления впадин. Известно, что чем меньше высота микронеровностей поверхности, тем выше усталостная прочность деталей.

Влияние шероховатости поверхности на сопротивление усталости обычно оценивается различными коэффициентами концентрации напряжений, связанными с геометрическими параметрами микронеровностей поверхности. Теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ является характеристикой степени концентрации напряжений в металле. В общем случае этот коэффициент определяется как отношение максимального напряжения σ_{\max} в зоне концентрации к номинальному напряжению σ_n в том же месте:

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}.$$

Номинальные напряжения вычисляются по элементарным формулам сопротивления материалов без учета концентраций напряжений, в то время как нахождение максимального напряжения связано с решением уравнений теории упругости.

Оценка коэффициента концентрации напряжений методом трех функций

Влияние микронеровностей поверхности на усталостную прочность деталей машин предлагают учитывать при помощи теоретического коэффициента концентрации напряжений α_σ , полученного решениями Г. Нейбера. В [1] рассмотрен ряд случаев надрезов (выточек) в пластинке и круглом стержне. Решение представлено в криволинейных (эллиптических) координатах. Для получения наиболее простого хода решения задачи рассматриваются выточки гиперболической формы, поскольку Г. Нейбер считает, что различные формы выточек оказывают малое влияние на коэффициент концентрации напряжения, и, следовательно, выбор для рассмотрения круговой или гиперболической выточек большой роли не играет.

При решении уравнений теории упругости используется метод трех функций, согласно которому компоненты перемещений и напряжений вычисляются через одну пространственную функцию напряжений, которая, в свою очередь, выражена тремя гармоническими составляющими. Для вывода формул коэффициентов концентрации напряжений рассматриваются две задачи: для глубокой и мелкой выточек.

Наибольший интерес представляет вывод формулы коэффициента концентрации напряжений для мелкой выточки, поскольку ее используют для учета влияния шероховатости поверхности на усталостную прочность. Для данного случая Г. Нейбер отмечает, что напряжение меняется только у самой выточки, оставаясь равномерным в остальной части ширины образца, а коэффициент концентрации напряжений зависит только от соотношения глубины выточки и радиуса ее закругления и не зависит от ширины образца.