

МЕТОДИКА И ПРОГРАММА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ИГЛ*О. В. Божкова*

Швейная игла, несмотря на ее малые размеры и массу, является главным элементом процесса шитья, без нее процесс шитья состояться не может. Кроме того, от качества швейной иглы зависит качество шва и, в конечном счете, качество швейного изделия. Поэтому повышению качества швейных игл большое внимание уделяют ведущие европейские и азиатские фирмы-производители швейных игл. Однако вместе с повышением качества швейных игл этих фирм повышается и их цена. Иглы, производимые в России, которыми в основном снабжаются швейные предприятия Белоруссии, отличаются невысокой ценой и низким качеством. Для высокоскоростных зарубежных швейных машин эти иглы практически не пригодны. В связи с этим стоит задача улучшения качества российских игл при незначительном их удорожании.

Качество швейной иглы зависит от материала, из которого она изготовлена и технологии изготовления, в особенности от окончательных отделочных операций. Материал российских игл практически мало отличается от материала, применяемого зарубежными фирмами, а вот в технологии окончательной обработки имеются существенные отличия.

Анализ существующих различных видов окончательной обработки деталей привел к убеждению применения для швейных игл магнитно-абразивной обработки, а более точно магнитно-абразивного полирования (МАП).

В процессе МАП магнитное поле объединяет в себе функции силового источника и упругой связки, то есть оно является источником нормальных и касательных сил, действующих на абразивные частицы.

Эффективность силового воздействия абразивных частиц на поверхность иглы определяется магнитными свойствами абразивных частиц и среды, в которой они работают.

Пропорционально размерам абразивных зерен и их расположению в рабочем пространстве дифференцируются силы магнитного поля. На абразивные частицы, непосредственно контактирующие с обрабатываемой поверхностью, действуют суммарные силы, приложенные ко всему объему частиц, находящихся в рабочем пространстве между полюсами магнита.

Абразивные частицы могут занимать относительно обрабатываемой поверхности в магнитном поле различное пространственное положение. На их положение оказывает существенное влияние соседние частицы. Поэтому всю массу абразивных частиц в рабочем пространстве действия магнитного поля можно представить как постоянно меняющееся упругое тело.

Критерий качества швейной иглы

Качество швейной иглы должно быть таким, чтобы обеспечить качественный шов. Какими же свойствами должна обладать игла, чтобы выполнить это требование?

В рабочей части иглы имеется отверстие, так называемое ушко, через которое продета нить. Игла вместе с нитью прокалывает материал и образует петлю. Поэтому нить постоянно передвигается в отверстии. Если края отверстия острые, с заусенцами, то нить разрыхляется и рвется. Снятие заусенцев — это проблема не только для игл, но и для многих других деталей [21]. Если в России иглы поставляются заказчикам с не весьма качественно обработанными краями отверстий ушка игл и каждую иглу приходится дорабатывать самим покупателям с помощью нити, смазанной пастой ГОИ, то в Германии, например, процесс снятия заусенцев несколько механизирован. Вместо снятия заусенцев у одной иглы снимаются заусенцы одновременно у нескольких игл, закрепленных в одном ряду в многопозиционном иглодержателе. Через отверстия просовывается калибрующая проволока, которая снимает заусенцы у игл.

Так что, как видно, одним из основных требований к игле является отсутствие заусенцев в отверстии иглы и закругленные края отверстия, что представляет собой один из главных критериев качества иглы.

Вторым, несомненно, важным требованием к качеству иглы является округлая форма вершины иглы, не очень заостренная и не тупая.

Обычная технология изготовления иглы предусматривает калибрование из специальной игольной проволоки стержня иглы с постепенным конусообразным уменьшением сечения в направлении вершины иглы. Окончательной технологической операцией является заострение вершины иглы, при этом образуется конусообразная фаска. Для улучшения качества иглы некоторые производители проводят еще дополнительное шлифование рабочей части иглы. При этом фаска исчезает, и тело иглы, постепенно уменьшаясь в сечении, плавно переходит к вершине иглы без каких-либо конусных фасок. Представим процесс образования шва. Игла, двигаясь вниз, прошивает ткань насквозь и просовывает нить к челноку, образуя петлю будущего шва. Весьма интересно проанализировать процесс прошивания ткани иглой. Ткань, как известно, представляет собой полотно, изготовленное на ткацком или трикотажном станке, полученное различным переплетением нитей (основных и уточных). При прошивании ткани игла может попасть непосредственно на одну из нитей переплетения. В этом случае она должна преодолеть сопротивление нити, которое равно прочности нити и силам трения поверхности иглы о волокна прошиваемой нити. И самый неблагоприятный случай, когда игле приходится при прокалывании отверстия наткнуться на нити дважды, а то и трижды. Более благоприятным моментом является тот, когда игла попадает в промежуток между нитями переплетения. В этом случае на вершину иглы действуют лишь силы трения о волокна нитей. Как часто игла может попасть на саму нить или же в промежуток между нитями? Нужно рассмотреть два случая:

а) для иглы с конусной фаской;

б) для шлифованной иглы без фаски. В первом случае конусная поверхность фаски, соприкасаясь с поверхностью нити, испытывает давление, равное прочности и жесткости нити. Ввиду того, что угол заострения вершины иглы достаточно велик, клинового режущего действия не происходит. Нить под действием движущей силы иглы натягивается и рвется, пропуская иглу.

Значительно лучшим является случай, когда игла не попадает в центральную плоскость нити. В этом случае за счет того, что игла обладает определенной упругостью, происходит соскальзывание иглы с поверхности нити, и она попадает в промежуток между нитями. Но так как игла имеет сравнительно большую поверхность конусной фаски, то вполне возможно, что при больших скоростях игла будет попадать в центральные плоскости нитей и при ударе их рвать.

При работе со шлифованной иглой без конусной фаски процесс будет происходить примерно так же, но прошивание нити в случае попадания иглы в центральную плоскость происходит значительно легче, так как здесь проявляется эффект режущего клина. Нить не будет порвана, а будет прошита. Если же игла не находится в центральной плоскости нити, то она легко соскальзывает в промежуток между нитями переплетения.

Таким образом, наиболее качественный шов будет выполнен иглой, у которой вершина иглы закруглена и отсутствует фаска. Поэтому следующим важным критерием является радиус закругления вершины иглы и отсутствие фаски.

Очень большое влияние на качество шва оказывает шероховатость рабочей поверхности иглы, т.е. той части, которая участвует в процессе шитья. В настоящее время в швейной промышленности используются быстроходные швейные машины с частотой проколов иглы в минуту до 10 000—12 000. При такой скорости очень большое значение приобретают факторы (которые при низких частотах проколов практически не влияли), влияющие на качество иглы и ее работоспособность. Применение обычных способов шлифования здесь довольно сложно, т.к. слишком малы размеры иглы. Для обработки игл могут быть использованы электрофизические методы обработки, например, электрополирование, ультразвуковая обработка и т. п. Эти способы используют западные фирмы.

Таким образом, еще одним из важных критериев является состояние поверхности рабочей части иглы, которая обычно характеризуется шероховатостью поверхности.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что критерий качества швейной иглы это комплексный показатель, состоящий из нескольких критериев, причем каждый из них имеет определенный вес.

Если обозначим обобщенный критерий качества швейной иглы K_{Σ} , то с учетом вышеизложенного он может быть выражен следующей зависимостью:

$$K_{\Sigma} = a_z K_z + a_{or} K_{or} + a_f K_f + a_R K_R + a_s K_s = \sum a_i K_i, \quad (1)$$

где a_i — весовые коэффициенты при частных критериях качества. Определение весовых коэффициентов производится в большинстве случаев экспертными методами или опытным путем. Имеется стандарт [1], в котором описана методика получения экспертных оценок качества продукции. Были определены весовые коэффициенты при частных критериях, которые получились равными: $\alpha_z = 1$, $\alpha_{or} = 1$, $\alpha_f = 0,8$, $\alpha_R = 0,9$, $\alpha_s = 0,75$.

K_i — частные критерии качества;

K_z — критерий наличия заусенцев;

K_{or} — критерий радиуса закругления краев отверстия;

K_f — критерий наличия фаски на вершине иглы;

K_R — критерий радиуса закругления вершины иглы;

K_s — критерий шероховатости рабочей поверхности иглы.

Частные критерии качества определяются по следующим формулам.

Критерий наличия заусенцев в отверстии (ушке) иглы

$$K_z = 1 - \frac{z_i}{z_{\max}}, \quad (2)$$

где z_i , z_{\max} — соответственно измеренное и максимальное значения величин заусенцев, мм. При отсутствии заусенцев $K_z = 1$. При наличии заусенцев K_z будет иметь определенное значение, но меньше 1, причем, чем больше значение заусенца, тем будет меньше значение критерия K_z .

Критерий радиуса закругления краев отверстия определяется по формуле:

$$K_{or} = \frac{1 + or_i}{1 - or_{\min}}, \quad (3)$$

где or_i — соответственно измеренное и минимальное значения радиусов закругления краев отверстия (ушка) иглы, мм. Если $or_{\min} = 0$, то $K_{or} > 1$. Чем больше значение or_i , тем больше величина частного критерия K_{or} .

Критерий наличия фаски на вершине иглы определяется по формуле:

$$K_f = 1 - \frac{f_i}{f_{\max}}, \quad (4)$$

где f_i , f_{\max} — соответственно измеренное и максимальное значения диаметров фаски при переходе тела иглы к вершине, мм. При $f_i = f_{\max}$ частный критерий наличия фаски $K_f = 0$, при $f_i < f_{\max}$ критерий $K_f < 1$, при отсутствии фаски $K_f = 1$.

Частный критерий радиуса закругления вершины иглы K_R определяется по формуле:

$$K_R = 1 - \frac{R_i}{R_{\max}}, \quad (5)$$

где R_i , R_{\max} — соответственно измеренное и максимальное значения радиусов закругления вершины иглы, мм. Некоторые иглы на вершине иглы имеют плоскую площадку, в этом случае радиус закругления будет равен $R_i = \infty$, и тогда при $R_{\max} = \infty$ коэффициент K_R будет равен 0. При очень малых значениях R_i коэффициент радиуса закругления вершины иглы будет близок к 1, поэтому, чтобы не вносить больших погрешностей при определении этого частного критерия при отсутствии плоской площадки на вершине иглы во всех других случаях в качестве R_{\max} принимается половина среднего диаметра вершины иглы. Тогда наиболее качественная игла по данному критерию будет иметь величину, близкую к 1.

Частный критерий шероховатости поверхности рабочей части иглы определяется по следующей формуле:

$$K_s = 1 - \frac{S_i}{S_n}, \quad (6)$$

где S_i , S_n — соответственно измеренное и нормированное значения шероховатостей поверхности рабочей части иглы, мкм. За величину нормированного значения шероховатости поверхности иглы берется паспортное значение (если оно указано в документе) или же среднее значение исходной шероховатости по измерениям не менее 10 игл перед испытаниями. Если измеренные значения шероховатости будут совпадать с нормированными значениями, то частный критерий K_s будет равен 0, т.е. никакого улучшения шероховатости не произошло. При улучшении шероховатости поверхности иглы критерий K_s будет стремиться к 1.

Для иглы наивысшего качества после обработки максимальное значение обобщенного критерия качества K_{Σ} будет равно:

$$K_{\Sigma} = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 0,8 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1 + 0,75 \cdot 1 = 4,45; \quad (7)$$

Планирование экспериментов

Магнитно-абразивное полирование деталей является одним из эффективнейших современных методов повышения качества поверхности. Как и в любом технологическом процессе, при магнитно-абразивной обработке можно выделить ряд факторов, оказывающих определяющее влияние на эффективность обработки. К числу таких факторов можно отнести: характеристики абразивного зерна (величина, форма, концентрация зерен в рабочей жидкости (РЖ), твердость, прочность, магнитные свойства), характеристики РЖ (нейтральность,

смачиваемость, вязкость, плотность), мощность магнитного потока, направление и комбинации относительных движений детали и абразивного зерна [23, 7А]: вертикального, поступательного, скорости и амплитуды; время обработки. Совершенно понятно, что исследовать одновременно влияние всех перечисленных факторов на эффективность магнитно-абразивной обработки весьма трудно. Поэтому необходимо выбрать из всего этого перечня факторов наиболее важные, а затем уже строить план экспериментов путем регулирования величин этих важнейших факторов. Эксперимент получается не очень громоздким, если количество этих факторов не более четырех [2].

При наличии нескольких управляемых факторов эксперимент называется многофакторным [2]. Многофакторный эксперимент является весьма эффективным, так как позволяет существенно сократить затраты труда и средств на выполнение исследований.

Геометрический образ, соответствующий функции отклика, в теории планирования экспериментов принято называть поверхностью отклика. При этом если число факторов более двух, то вместо термина поверхность употребляют термин гиперповерхность. Необходимое число опытов N при полном факторном эксперименте (ПФЭ) определяется по формуле:

$$N = I^k, \quad (8)$$

где I — число уровней;

k — число факторов.

Если эксперимент проводится только на двух уровнях, то постановка опытов по такому плану называется ПФЭ типа 2^k . Для правильной организации проведения экспериментов составляется матрица планирования экспериментов [2], которая включает в себя координаты уровней изменения величин факторов, функции отклика, то есть соответствующие этим величинам параметры оптимизации и их дисперсии. Полные факторные планы позволяют выявить влияние на функцию отклика не только каждого фактора в отдельности, но и совместное влияние их комбинаций, то есть исследовать так называемый эффект взаимодействия. При определении коэффициентов уравнения регрессии экспериментально находят значения y в N точках факторного пространства (при двухъярусной системе изменения факторов $N \leq 2^k$), причем опыты в каждой точке дублируют k раз (y', y'', y'''). Любой коэффициент регрессии определяется скалярным произведением столбца y на соответствующий столбец x_i , деленным на число опытов в матрице планирования N :

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} y_i. \quad (9)$$

При планировании экспериментов на первом этапе планирования всегда есть стремление получить наиболее простую линейную модель. Однако нет гарантии, что в выбранных интервалах варьирования процесс будет описываться линейной моделью. На практике приходится прибегать к более сложным зависимостям ПФЭ, которые позволяют количественно оценить эффекты взаимодействия, для чего надо, пользуясь правилом перемножения столбцов, получить столбец произведения факторов. При вычислении коэффициента, соответствующего эффекту взаимодействия, с новым вектор-столбцом любого фактора надо обращаться так же, как и с вектор-столбцом любого фактора. Очень важно, что при добавлении столбцов эффектов взаимодействий все рассмотренные свойства матриц планирования сохраняются. Модель для ПФЭ типа 2^4 будет выглядеть следующим образом:

$$\bar{y} = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_1 b_2 x_1 x_2 + b_1 b_3 x_1 x_3 + b_2 b_3 x_2 x_3 + b_1 b_2 b_3 x_1 x_2 x_3, \quad (10)$$

Согласно требованиям регрессионного анализа правильная обработка и использование результатов экспериментальных исследований возможны только в том случае, когда дисперсия измерений функции отклика в каждой точке опыта одинаковы. Такое свойство называется однородностью дисперсий. Поскольку теоретические значения дисперсий неизвестны, то производится проверка однородности на основе статистических оценок этих моментов [36].

Значения некоторых коэффициентов могут быть равны нулю. Возможность этого обстоятельства устанавливается с помощью коэффициентов регрессии путем проверки значимости коэффициентов b_i . Проверка значимости коэффициентов линейной регрессии выполняется с помощью критерия Стьюдента [36].

Методика проведения экспериментов

При проведении МАП при всех экспериментах должно присутствовать магнитное поле вместе с магнитно-абразивным материалом. Спроектированная для МАП швейных игл установка [3] имеет магнитное поле

постоянной мощности. Кроме того, установка позволяет совершать планетарное движение иглам в абразивном материале, вертикальные колебания игл и продольное возвратно-поступательное движение кюветы с абразивным материалом в магнитном поле. Таким образом, мы имеем 3 управляемых фактора:

x_1 — планетарное движение иглы,

x_2 — вертикальное возвратно-поступательное колебание иглы,

x_3 — горизонтальное продольное возвратно-поступательное движение кюветы с абразивным материалом.

В связи с тем, что магнитное поле с абразивным материалом должно при всех испытаниях оставаться неизменным, получается трехфакторный эксперимент, и тогда количество испытаний будет равно $N = 2^3 = 8$.

Управляемые факторы могут иметь лишь два положения: включено или выключено. Это значительно упрощает эксперименты, т.к. производится не оптимизация режимов обработки, а лишь оценка влияния каждого управляемого фактора на качество обработки игл.

Испытания игл проводятся в следующей последовательности:

— перед испытаниями все иглы соответственно помечаются и проходят измерения на микроскопе с целью определения исходного их качества (возможно также фотографирование вершин игл),

— длительность испытаний игл следующая: 1 мин, 2 мин, 3 мин и 5 мин. После каждого испытания иглы снова измеряются на микроскопе (фотографируются).

— результаты испытаний сводятся в таблицу для последующей математической обработки с целью определения коэффициентов уравнения регрессии (10).

Для определения влияния других факторов, например, таких как состав абразивного материала, его состояния, концентрации и т.п. проводятся последующие испытания при оптимальном соотношении управляемых факторов и их длительности, полученных по результатам многофакторного эксперимента.

Список источников

1. ГОСТ23554.1—79. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Организация и проведение экспертной оценки качества продукции.
2. *Налимов В. В.* Теория эксперимента. — М.: Наука, 1971. — 208 с.
3. *Благодарный В. М., Божкова О. В.* Установка для магнитно-абразивной обработки швейных игл / Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин : темат. сб. Вып. 2. — Новополюк, 1995. — С. 16—17.