

Потенцируя выражение (4), находим зависимость параметра шероховатости поверхности Ra от исследуемых параметров процесса иглофрезерования:

$$Ra = 142,146 \frac{S^{0,013}}{v^{1,026} i^{0,187}} \quad (5)$$

Из анализа уравнения (5) следует, что наибольшее влияние на высоту микронеровностей обработанной поверхности оказывает скорость резания, меньшее — натяг. Зависимость высоты микронеровностей от продольной подачи при встречном иглофрезеровании плоских поверхностей не существенна.

УДК 669.14.018.5.001.4

Г.П.КУЗЬМИЧЕВ, А.М.ГРИГОРЬЕВ,
Е.Л.КЛЕЦКОВ (НПО "Планар"),
В.И.ТУРОМША, канд.техн.наук (БПИ)

АНИЗОТРОПИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ 10895 ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Технология производства изделий из электротехнической стали направлена на создание их изотропной крупнозернистой структуры с минимальным уровнем остаточных напряжений. При изготовлении из листов электротехнической стали сердечников трансформаторов и магнитопроводов электрических машин в результате механической обработки возможно повышение уровня и степени анизотропии остаточных напряжений и снижение магнитных свойств стали [1].

Исследование деформационной (вторичной) анизотропии электротехнической стали 10895 осуществлялось после операций торцового фрезерования плоскости, шлифования плоскости торцом круга и фрезерования пазов в образцах из листовой стали размером $200 \times 200 \times 4$ мм со структурой в соответствии с ГОСТ 11036–75, подвергнутых диффузионному вакуумному отжигу при температуре 1200°C . Степень анизотропии остаточных напряжений определялась по методике [2] с использованием высокочувствительных магнитоупругих датчиков [3] и магнитопроводов на основе магнитной жидкости.

Фрезерование плоскости осуществлялось за один проход с глубиной резания 0,8 мм фрезой диаметром 60 мм. При этом направление продольной подачи принималось параллельным или перпендикулярным к направлению прокатки листа стали.

В исходном состоянии напряжения в деталях составляли 10 МПа. При фрезеровании плоскости в направлении прокатки уровень остаточных напряжений достигал 220 МПа, а при фрезеровании в направлении, перпендикулярном к прокатке, — 70 МПа, т. е. в 3 раза ниже. Остаточные напряжения возрастают также на обратной стороне листа стали, не подвергавшейся механической обработке, и достигают 50 МПа. В направлении, перпендикулярном к продольной

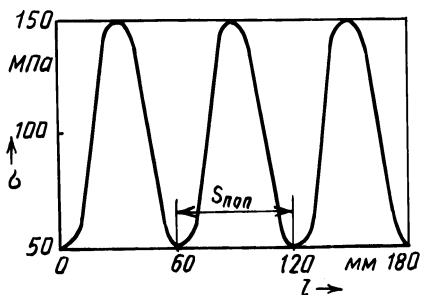


Рис. 1. Изменение уровня остаточных напряжений σ по ширине листа l

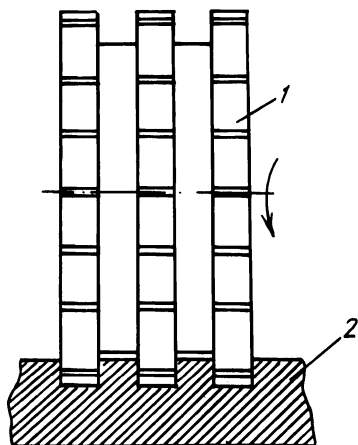


Рис. 2. Схема фрезерования пазов: 1 — фреза; 2 — лист стали

подаче, наблюдается волнообразный характер изменения остаточных напряжений σ в пределах от 150 до 50 МПа с шагом, равным поперечной подаче $S_{\text{поп}}$, которая равнялась диаметру фрезы, т. е. 60 мм/ход (рис. 1).

Шлифование плоскости образцов производилось кругом 24A40HM35K7 при режимах: $v_{\text{кр}} = 30$ м/с, $S_{\text{прод}} = 16...18$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1...1,5$ мм/ход, $t = 0,01$ мм. При съеме припуска до 0,5 мм с предварительно фрезерованной поверхности уровень остаточных напряжений снижается до 30 МПа, что связано с удалением деформированного после фрезерования слоя материала и температурным воздействием, сопровождающимся в отдельных случаях прижогами на обрабатываемой поверхности. Последующее срезание слоя материала на глубину до 0,3 мм вызывает рост уровня напряжений на 20 % и разности их значений в указанных выше направлениях до 40...50 МПа. Шлифование без предварительного фрезерования с припуском на обработку 0,3 мм приводит к росту анизотропии напряжений в такой же степени, как и фрезерование отожженного листа. При этом направление шлифования вдоль прокатки листа и перпендикулярно к ней не оказывает заметного влияния на возникающие напряжения.

Фрезерование пазов (рис. 2) глубиной 0,3 мм, шириной 0,5 мм и шагом 10 мм приводит к росту анизотропии остаточных напряжений. Разница в значениях главных напряжений σ_1 , измеряемых в направлении нарезки пазов и перпендикулярно к ней, составляет 40 МПа. Нарезка пазов в направлении прокатки листа стали обуславливает повышение на 30 % уровня напряжений по сравнению с нарезкой в перпендикулярном направлении. При уменьшении шага пазов до 0,8 мм остаточные напряжения возрастают и достигают 220 МПа, а разность их значений в направлениях, параллельном и перпендикулярном направлению прокатки листа, составляет 140...150 МПа.

Анализ результатов измерений показал, что наибольшие различия в значениях напряжений наблюдаются не в продольных и поперечных направлениях относительно направления прокатки листа стали, а в продольных и диагональ-

ных. Оценка степени анизотропии электростали по соотношению характеристик в продольном и поперечном направлениях недостаточна.

Для повышения надежности оценки напряженного состояния детали по магнитным характеристикам электротехнической стали применена статистическая обработка результатов эксперимента. Ее методика основана на введении интегрального параметра Π напряженного состояния листа электротехнической стали, учитывающего изменение состояния материала на различных уровнях статистического обобщения [2]:

$$\Pi = \sqrt{a^2 + \beta^2 + \gamma^2} ,$$

где a – отношение результатов измерения магнитной упругости контролируемого листа электротехнической стали к среднестатистическим результатам по всей анализируемой совокупности; β – коэффициент, учитывающий изменение напряженного состояния, вызванного последующей операцией механической обработки; γ – отклонение измеряемой максимальной магнитной упругости от среднего значения.

Параметр

$$a = \sqrt{s_1^2} / \sqrt{s_2^2} ,$$

где s_1^2 и s_2^2 – дисперсии результатов измерения соответственно для контролируемого листа стали и для всей анализируемой совокупности.

Дисперсию s^2 определяли по формуле

$$s^2 = [\sum (H_M - \bar{H}_M)^2 m] / m ,$$

где H_M и \bar{H}_M – измеряемая и средняя магнитная упругость; m – количество измерений.

Параметр

$$\beta = \frac{(s/\bar{H}_M)_n - (s/\bar{H}_M)_{n-1}}{K_{n-(n-1)}} ,$$

где индекс $(n - 1)$ соответствует измерениям H_M после выполнения предыдущей операции, n – последующей; коэффициент K определен на основании анализа результатов 64 измерений для 50 листов стали на соответствующих операциях технологического цикла (табл. 1).

Параметр

$$\gamma = \frac{H_{M \max}}{\bar{H}_M} ,$$

где $H_{M \max}$ – максимальное значение H_M для контролируемого листа.

При определении $H_{M \max}$ следует отбрасывать значения, для которых выполняется неравенство [4] $(H_M)_{\max} - \bar{H}_M > 3\sqrt{s}$.

Значения интегрального параметра напряженного состояния должны быть близкими к единице. При $\Pi > 2$ следует откорректировать технологию соответствующей операции для снижения уровня остаточных напряжений.

На основе анализа экспериментальных данных, полученных при измерениях магнитной упругости листов электротехнической стали, была произведена классификация основных типов анизотропии напряженного состояния: I –

Операция	Обозначение	Значение K
Отжиг	K_{2-1}	3,8
Плоское торцовое фрезерование	K_{3-2}	3,4
Плоское шлифование	K_{4-3}	1
Фрезерование пазов	K_{5-4}	0,5

точечная, проявляется в произвольных точках листа в виде отклонений H_M от средних значений; II – угловая, проявляется в виде повышенных значений H_M в одном или нескольких углах листа, может распространяться по диагональной линии листа электротехнической стали; III – Т-образная, характеризуется повышением значений H_M по линиям, близким к середине и краю листа; IV – полосчатая, характеризуется повышением H_M вдоль направлений, параллельных одной из сторон листа электротехнической стали.

После операции фрезерования листов отожженной электротехнической стали наблюдали только полосчатую анизотропию (IV – 100%). Операция шлифования вносит все четыре типа анизотропии: I – 22%, II – 32%, III – 15%, IV – 9%. Из исследуемых листов только 22% были практически изотропны по H_M .

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко Г.И. Магнитно-анизотропные датчики. – М., 1967. – 72 с.
2. Довнар С.А., Клецков Е.Л. Контроль уровня остаточных напряжений молотовых штампов по магнитоупругому эффекту//КШП. – 1982. – № 7. – С. 11-13.
3. А.с. 924526 (СССР). Магнитоупругий датчик/А.М.Григорьев, Е.Л.Клецков, Г.П.Кузьмичев, И.П.Янович.
4. Математическая статистика/Под ред. А.М.Длина. – М., 1975. – 398 с.

УДК 620.179.118

П.С.ЧИСТОСЕРДОВ, канд.техн.наук,
А.И.КРЕЗ (ММИ)

ИЗУЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ КАНАВОК МЕТОДОМ СЛЕПКОВ

При оценке шероховатости поверхности сложной формы и в случае трудного доступа к исследуемой поверхности применяется метод слепков, заключающийся в снятии с поверхностей "негативных" копий, по которым осуществляется измерение микронеровностей. Для снятия копий используются восковые сплавы, масляно-гуттаперчевая масса и другие составы [1]. Однако в случае криволинейной формы исследуемой поверхности применение этих составов не эффективно, так как форма отвердевшего слепка соответствует форме копируемой криволинейной поверхности.