

С.В. Тарасов, В.И. Свирщёв, А.В. Шохрин

Пермский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ ЧУГУНА «НИРЕЗИСТ»

Проведены исследования влияния параметров режима резания на функциональные характеристики процесса точения. Получены математические модели, определяющие влияние технологических условий на функциональные и выходные характеристики процесса точения. Даны рекомендации по выбору пластин при обработке чугуна марки «Нирезист».

Ключевые слова: сменные пластины, силы резания, температура, износ.

Развитие научно-технического прогресса и условия конкурентной борьбы на мировом рынке ставят перед современным производством задачу значительного повышения производительности и качества выпускаемой продукции. Улучшение технико-экономических показателей изделий машиностроения за счет изготовления деталей из новых материалов с высокими прочностными характеристиками, жаропрочностью, износостойкостью и др., как правило, приводит к снижению производительности при их изготовлении. Сегодня это наиболее актуально для заводов, занимающихся выпуском насосных установок погружного типа нефтедобывающего оборудования.

ЗАО «Новомет-Пермь» выпускает погружные насосы, которые эксплуатируются, как правило, в агрессивной среде. Поэтому основными материалами, из которых изготавливаются детали, являются коррозионно-стойкие, нержавеющей стали и сплавы. В связи с этим для предприятия становится актуальной проблема поиска пути повышения эффективности процесса точения рабочих ступеней центробежно-вихревых насосов, выполненных из чугуна ЧН16Д7ГХ. Чугун «Нирезист» относится к высоконикелевым антифрикционным чугунам аустенитного класса с шаровидным или пластинчатым графитом со специальными свойствами. Посредством легирования обеспечиваются требуемые эксплуатационные свойства: жаропрочность, жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость, парамагнитность, хладостойкость. Химический состав и физико-механические свойства чугуна «Нирезист» приведены ниже.

Повышение эффективности механической обработки является важнейшей задачей современного машиностроения, включающей в себя достижение наиболее высокой производительности обработки с обеспечением заданного

уровня качества поверхностного слоя деталей. Решение этой задачи для нового, мало исследованного резанием чугуна «Нирезист» может быть достигнуто за счет: выбора наиболее рациональных методов и схемы обработки деталей; обоснования оптимальных параметров режима обработки, обеспечивающих максимальную производительность или минимальную себестоимость; применения современного высокопроизводительного оборудования; выбора наиболее рациональной геометрии и инструментального материала сменных многогранных пластин; выбора эффективной СОТС.

Химический состав чугуна «Нирезист», %

C	Si	Mg	Cr	Ni	Cu	Al	Ca	Nb	B	Ta	S	P	Mn
2,6–3,0	1,2–1,9	0,85–1,5	0,7–3,0	14–17	5–8	≤0,3	≤0,1	≤0,02	0,02	≤0,01	≤0,03	≤0,25	≤0,07

Физико-механические свойства чугуна «Нирезист»

Предел прочности σ_b , кг/мм ²	16
Коэффициент температуропроводности $a \cdot 10^{-6}$, м ² /с	11,30
Удельная объемная теплоемкость c_p , МДж/(м ³ ·°C)	3,52
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	39,8
Твердость обрабатываемого материала по Бринеллю НВ	120–180
Плотность $\rho \cdot 10^{-9}$, кг/мм ³	7000

С целью установления взаимосвязей между параметрами качества поверхностного слоя и технологическими условиями обработки проведены исследования процесса точения чугуна «Нирезист» резцами с многогранными сменными пластинами по следующим характеристикам: составляющие силы резания (P_z , P_y), среднетемпературная температура резания (термоЭДС – E), износ твердосплавных пластин (h), шероховатость обработанной поверхности (R_a).

Кроме того, экспериментальные исследования преследовали цель выявления эффективности применения импортных марок твердого сплава с геометрией разного типа для улучшения параметров качества поверхностного слоя при чистой обработке поверхностей ступеней погружных насосов.

Экспериментальные исследования проводились с помощью измерительного комплекса «Центр диагностики процесса резания–РОС–ПГТУ», на станке 16К20 с изменением параметров режима резания согласно матрице планирования при постановке полного факторного эксперимента [2]. Диапазоны изменения параметров режима точения принимались следующие: скорость резания $V = 150 \dots 250$ м/мин; подача $S = 0,1 \dots 0,3$ мм/об; глубина резания $t = 0,5 \dots 2$ мм. На основании результатов предварительных производственных испытаний в ЗАО «Новомет-Пермь» для проведения исследований и реализации оптимального процесса точения ступеней погружных насосов из чугу-

на марки «Нирезист» выбраны твердосплавные пластины фирм Sandvik-Coromant 3215 с геометрией передней поверхности KR, Iscar – IC 5005 с геометрией передней поверхности GN, Kennametal – KC9320 с геометрией передней поверхности FN.

Геометрические параметры режущей части пластин, применяемых при испытаниях, представлены в таблице.

Геометрические параметры режущей части пластин

Тип пластины	Передний угол γ	Главный α и вспомогательный α_1 задние углы	Главный угол в плане ϕ
CNMG 120408 KR 3215	16°	6°	95°
CNMG 120408 FN KC9320	10°		
CNMG 120408 GN IC5005	7°		
CNMA 120408	0°		

С изменением параметров режима резания в соответствии с матрицей планирования эксперимента производились замеры составляющих силы резания, термоЭДС в зоне контакта, после чего на испытуемых образцах производилось измерение шероховатости поверхности. После проведения каждого испытания измерялся износ по задней поверхности пластины. Измерение фаски износа по задней поверхности выполнялось на стереоскопическом микроскопе МБС-10 с помощью метода измерений системы анализа изображения «ВидеоТест–Мастер 4.0».

Математическое описание исследуемых характеристик процессов проводилось на основании проведения полного факторного эксперимента [1, 2, 3]. Значительное место в экспериментальных исследованиях занимали статистический анализ результатов измерений, расчет на ЭВМ в математическом программном обеспечении Microsoft Excel 2007, MathCAD 14 и построение адекватных математических зависимостей.

На основании предварительных экспериментов и опыта предыдущих исследований для описания зависимости силовых, температурных характеристик, износа твердосплавных пластин и шероховатости поверхности от технологических условий была принята зависимость:

$$P_y, P_z, E, h_3, R_a = cV^\alpha S^\beta t^\gamma, \quad (1)$$

где c, α, β, γ – постоянные коэффициенты.

При получении зависимостей (1) в качестве независимых переменных были приняты управляемые параметры процесса точения: скорость резания V , м/мин; подача S , мм/об; глубина резания t , мм.

Уравнение (1) после логарифмирования и введения членов, учитывающих взаимодействие факторов, примет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3,$$

где y – значение выходного фактора в логарифмическом масштабе; x_1, x_2, x_3 – кодированные значения факторов V, S, t соответственно; $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_{123}$ – коэффициенты уравнения.

В результате проведения полного факторного эксперимента, получены следующие математические модели характеристик процесса точения чугуна марки «Нирезист»:

Для пластины CNMA 120408 IC5005:

$$P_z = \frac{e^{598,08} \cdot S^{128,56} \cdot t^{367,37+119,87 \ln(S)}}{V^{29,19}},$$

$$P_y = \frac{e^{446,237} \cdot S^{142,05-18,05 \ln(V)} \cdot t^{455,72+174,878 \ln(S)-69 \ln(V)-27,80 \ln(V) \cdot \ln(S)}}{V^{47,46}},$$

$$\theta = e^{-0,599} \cdot S^{1,28} \cdot t^{1,24+1,47 \ln(S)+1,48 \ln(V)} \cdot V^{2,01},$$

$$h = e^{-0,14595} \cdot t^{0,18705-0,03552 \ln(V)} \cdot V^{0,0441}.$$

Для пластины CNMA 120408 KC9320:

$$P_z = \frac{e^{594,396} \cdot S^{127,23} \cdot t^{361,21+116,44 \ln(S)}}{V^{28,97}},$$

$$P_y = \frac{e^{434,717} \cdot S^{129,6-15,74 \ln(V)} \cdot t^{175,41+28,95 \ln(S)-15,52 \ln(V)}}{V^{45,34}},$$

$$\theta = e^{-1,423} \cdot V^{2,23} \cdot S^{1,495} \cdot t^{2,45 \ln(V)-4,07+1,22 \ln(S)},$$

$$h = \frac{e^{0,5175} \cdot t^{0,04717 \ln(V)-0,26051+0,05115 \ln(V) \ln(S)-0,2824 \ln(S)} \cdot S^{0,3445-0,0705 \ln(V)}}{V^{0,0944}}.$$

Для пластины CNMA 120408 3215:

$$P_z = \frac{e^{584,10} \cdot S^{129,747} \cdot t^{352,01+112,67 \ln(S)}}{V^{26,07}},$$

$$P_y = \frac{e^{434,06} \cdot S^{131,89-16,09 \ln(V)} \cdot t^{418,47+165,71 \ln(S)-61,85 \ln(V)-26,03 \ln(V) \ln(S)}}{V^{45,24}},$$

$$\theta = e^{-40,11} \cdot V^{9,8} \cdot S^{3,35 \cdot \ln(V) - 15,58} \cdot t^{14,57 \cdot \ln(V) + 5,63 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S) - 65,25 - 27,237 \cdot \ln(S)},$$

$$h = e^{-0,14595} \cdot V^{0,0441} \cdot t^{0,18705 - 0,0352 \cdot \ln(V)}.$$

Для пластины CNMG 120408 GN IC5005:

$$P_z = \frac{e^{523,92} \cdot S^{125,90} \cdot t^{359,75 + 115,37 \ln(S)}}{V^{17,89}},$$

$$P_y = \frac{e^{231,39} \cdot S^{36,43} \cdot t^{47,69 + 7,6 \ln(S)}}{V^{12,51}},$$

$$\theta = e^{-20,65} \cdot V^{4,88} \cdot S^{1,94 \cdot \ln(V) - 9,27} \cdot (Vt)^{3,54 \cdot \ln(V) + 1,53 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S) - 7,43 \cdot \ln(S) - 16,8},$$

$$h = e^{-0,7575} \cdot V^{0,024} \cdot t^{0,6389 + 0,21189 \cdot \ln(S) - 0,11708 \cdot \ln(V) - 0,03838 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S)} \cdot S^{-0,02}.$$

Для пластины CNMG 120408 FN KC9320:

$$P_z = \frac{e^{560,24} \cdot S^{137,79} \cdot t^{356,56 + 112,23 \ln(S)}}{V^{23,422}},$$

$$P_y = \frac{e^{232,61} \cdot S^{31,35} \cdot t^{28,75}}{V^{16,30}},$$

$$\theta = e^{-15,92} \cdot V^{3,62} \cdot S^{0,97 \cdot \ln(V) - 4,48} \cdot t^{3,55 \cdot \ln(V) - 17,34 + 7,15 \cdot \ln(S) + 1,41 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S)},$$

$$h = \frac{e^{0,20308} \cdot S^{0,6624 - 0,00882 \cdot \ln(V)} \cdot (Vt)^{0,08869 \cdot \ln(V) - 0,19884 \cdot \ln(S) + 0,44533 + 0,03838 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S)}}{V^{0,02038}}.$$

Для пластины CNMG 120408 KR 3215:

$$P_z = \frac{e^{522,11} \cdot S^{132,37} \cdot t^{346,82 + 110,43 \ln(S)}}{V^{17,56}},$$

$$P_y = \frac{e^{229,65} \cdot S^{31,55} \cdot t^{29,03}}{V^{16,50}},$$

$$\theta = e^{-11,184} \cdot V^{2,838} \cdot S^{1,058 \cdot \ln(V) - 4,94} \cdot t^{-6,391 + 1,181 \cdot \ln(V) - 2,991 \cdot \ln(S) + 0,511 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S)},$$

$$h = \frac{e^{0,005525} \cdot t^{0,08857 \cdot \ln(V) + 0,03831 \cdot \ln(V) \cdot \ln(S) - 0,44921 - 0,19195 \cdot \ln(S)}}{S^{0,01125}}.$$

Расчет по полученным зависимостям позволил установить, что при точении чугуна марки «Нирезист» пластинами с разной геометрией передней поверхности при увеличении скорости резания V составляющие силы резания

P_z , P_y уменьшаются, а при увеличении подачи S и глубины резания t – увеличиваются, что согласуется с теорией резания [4]. По результатам эксперимента установлено, что при прочих равных условиях в зависимости от типа пластины увеличение подачи S от 0,1 до 0,3 мм/об приводит к увеличению P_y в 1,35–1,93 раза и P_z в 1,57–2,24 раза. Возрастание глубины резания t от 0,5 до 2 мм приводит к увеличению P_y в 1,5–2,1 раза и P_z в 2,5–3,53 раза.

Влияние параметров режима резания на изменение термоЭДС – E при резании: при повышении скорости резания V от 150 до 250 м/мин термоЭДС возрастает в 1,9 раза. Увеличение подачи S и глубины резания t также приводит к росту термоЭДС, что объясняется увеличением параметров сечения среза. Повышение подачи S от 0,1 до 0,3 мм/об приводит к увеличению термоЭДС в 1,75 раза. Возрастание глубины резания t от 0,5 до 2 мм приводит к росту термоЭДС в 4 раза.

Влияние параметров режима резания на величину износа пластин h : увеличение скорости V , подачи S и глубины t резания ведет к увеличению износа пластин по задней поверхности при прочих равных условиях в зависимости от типа пластин: повышение скорости V от 150 до 250 м/мин приводит к увеличению износа h в 0,67–2,5 раза, увеличение подачи S 0,1 до 0,3 мм/об приводит к увеличению h в 0,5–2,5 раза, а повышение глубины t от 0,5 до 2 мм – в 0,78–2,25 раза.

Анализ результатов расчетов по износу режущих пластин показывает, что при прочих равных условиях точения наименьший износ обеспечивают пластины с большими передними углами γ (с геометрией FN и KR).

Список литературы

1. Башков В.М., Кацев П.Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. – М.: Машиностроение, 1985. – 136 с.
2. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1974. – 231 с.
3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.

Получено 20.01.2011