

УДК 620.178.151.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., Н.А. Лалазарова, доцент, к.т.н.,
И.В. Плотников, студент, ХНАДУ

Аннотация. Приведены результаты комплексного исследования обрабатываемости высокопрочного чугуна с различной микроструктурой.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с шаровидным графитом, усадка стружки, нарост, коэффициент трения, стойкость.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБЛЮВАНOSTІ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ З КУЛЯСТИМ ГРАФІТОМ

Ю.В. Батигін, професор, д.т.н., Н.О. Лалазарова, доцент, к.т.н.,
І.В. Плотніков, студент, ХНАДУ

Анотація. Наведено результати комплексного дослідження оброблюваності високоміцного чавуну з різною мікроструктурою.

Ключові слова: високоміцний чавун із кулястим графітом, усадка стружки, наріст, коефіцієнт тертя, стійкість.

INVESTIGATION OF MACHINABILITY OF HIGH-STRENGTH SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON

Y. Batigin, Doctor of Technical Science, N. Lalazarova, Associate Professor, Candidate
of Technical Science, I. Plotnikov, student, KhNAHU

Abstract. This work presents a complex investigation of ductile cast iron machinability depending on its microstructure.

Key words: high-strength spheroidal graphite (ductile) cast iron, chip shrinkage, build-up, friction coefficient, tool resistance.

Введение

Широкое применение в качестве материала деталей тракторов и комбайнов находит высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ), который сочетает технологичность серого чугуна с комплексом свойств, в ряде случаев более высоких, чем даже у литой и ковальной стали [1].

Внедрение ВЧШГ сдерживается низким уровнем его обрабатываемости резанием.

Анализ публикаций

Обрабатываемость может оцениваться рядом параметров: силой и температурой резания, коэффициентом трения и усадки стружки, скоростью резания (стойкостью инструмента), интенсивностью изнашивания инструмента, объемом стружки, характеристиками качества поверхностного слоя детали и др. [2]. Параметры обрабатываемости зависят от структуры и свойств чугуна, определяемых его маркой, составом исходных материалов, технологией получения, режимом термообработки и другими технологическими факто-

рами. Проводить оценку обрабатываемости только по одному из показателей процесса резания нельзя, так как обработка различных чугунов даже одной твёрдости может характеризоваться различными значениями сил резания или температур. Поэтому оценка обрабатываемости чугуна должна осуществляться комплексом показателей, которые ответственны за выход инструмента из строя.

Цель и постановка задачи

Цель работы – комплексная оценка обрабатываемости высокопрочных чугунов с различной микроструктурой и свойствами. Для достижения цели были проведены исследования усадки стружки, коэффициента трения, стойкости инструмента при обработке чугунов, имеющих различную степень неоднородности микроструктуры.

Методика исследований

Исследовали чугун химического состава: 3,3–3,8 % C; 2,4–3,2 % Si; C + 1/3 Si = 4,25 – 4,35 %; 0,004–0,007 % S; 0,5–0,9 % Mn; 0,045–0,008 % P; 0,05–0,1 % Cr; 0,1–0,15 % Ni; 0,04–0,09 % Mg в литом состоянии (№ 1) и после термической обработки (табл. 1).

Таблица 1 Режимы термической обработки, структура и твёрдость высокопрочного чугуна

Условный номер чугуна	Режим термической обработки	Твёрдость чугуна, HB
1	Литое состояние	210–220
2	Двойная нормализация	260–270
3	Нормализация из МКИ	275–285
4	Закалка и высокий отпуск	330–340
5	Закалка и низкий отпуск	470–480

Структура чугуна: в литом состоянии – крупнопластинчатый перлит и феррит в виде оторочки вокруг графитовых включений; после нормализации из МКИ (межкритический интервал) – перлит и феррит; двойной нормализации – мелкодисперсный перлит и феррит; закалки и высокого отпуска – сорбит отпуска и феррит; закалки и низкого отпуска – мартенсит отпуска, остаточный аустенит и феррит. Исследования обрабатываемости

проводились на цилиндрических образцах диаметром 70 мм. В качестве материала режущих пластин использовали твёрдый сплав марки ВК8.

Обрабатываемость оценивали по коэффициентам усадки стружки, трения, неоднородности чугуна и относительной обрабатываемости, стойкости инструмента.

Характеристикой, которая реагирует на неоднородность чугуна, является динамическая составляющая силы резания [2]. Стойкость режущего инструмента зависит от стабильности процесса обработки, которая находится в прямой зависимости от степени неоднородности чугуна и может быть охарактеризована коэффициентом вариации силы резания [2].

Коэффициент неоднородности чугуна K_n определяли как отношение коэффициента вариации силы резания ВЧШГ ($\gamma_{вч}$) к коэффициенту вариации силы резания при обработке эталона – серого чугуна ($\gamma_{сч}$)

$$K_n = \frac{\gamma_{вч}}{\gamma_{сч}}. \quad (1)$$

Коэффициенты относительной обрабатываемости чугунов после различных режимов термической обработки определяли по отношению к серому чугуну

$$K_o = \frac{K_{осч}}{K_n}, \quad (2)$$

где $K_{осч}$ – коэффициент обрабатываемости серого чугуна, принятый за единицу.

Исследования обрабатываемости чугуна

Процесс стружкообразования влияет на все параметры процесса резания. Высокопрочный чугун по своим свойствам занимает промежуточное положение между сталью и серым чугуном, что подтверждается характером получаемой стружки (рис. 1).

Отдельные элементы трапецевидной формы соединяются вместе и образуют стружку длиной 15–20 мм и более при обработке нормализованного чугуна. Стружка непрочная и легко разрушается при механическом воздействии.

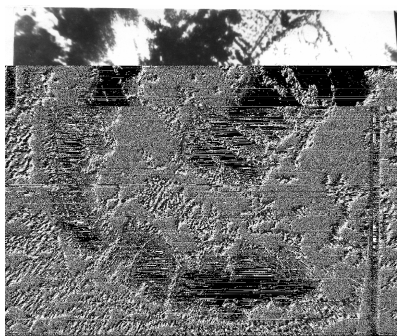


Рис. 1. Стружка при точении чугуна после нормализации из МКИ, $S = 0,07$ мм/об., $t = 0,4$ мм, $\times 25$

В некоторой мере характеризовать величину пластической деформации может коэффициент усадки стружки, который зависит от механических свойств чугуна, геометрии инструмента, параметров режима резания, свойств инструментального материала и определяется параметрами стружки.

Зависимость усадки стружки от скорости резания для чугунов с различной микроструктурой носит экстремальный характер. Экстремум наблюдается при скоростях, соответствующих моменту исчезновения нароста, причём с ростом твёрдости чугуна экстремумы сдвигаются влево – в зону меньших скоростей резания. Это объясняется тем, что с увеличением твёрдости чугуна исчезновение нароста происходит при меньших скоростях резания. В исследуемом диапазоне скоростей резания рост коэффициента усадки стружки объясняется снижением высоты нароста, который уменьшает угол резания. При дальнейшем увеличении скорости резания (в области исчезновения нароста) усадка уменьшается, так как повышается температура на передней поверхности инструмента и снижается коэффициент трения. С увеличением подачи степень влияния скорости резания уменьшается.

Проведенные исследования коэффициента усадки стружки показали, что наибольший коэффициент усадки у чугуна в литом состоянии (№ 1, 210–220 НВ), так как в структуре присутствует значительное количество структурно свободного феррита, а пластическая деформация в перлитно-ферритных чугунах осуществляется, в основном, за счёт деформации участков свободного феррита, а не феррита-перлита (табл. 2).

Таблица 2 Характеристики обрабатываемости чугуна

№ чугуна	Усадка стружки	Коэффициент трения*	Коэффициент относительной обрабатываемости (K_c)	Коэффициент неоднородности (K_n)
1	1,65	0,39	0,6	1,7
2	1,5	0,29	0,8	1,26
3	1,4	0,32	0,73	1,36
4	1,25	0,28	0,56	1,77
5	1,15	0,24	0,5	1,9

Примечание. * Коэффициенты трения измеряли в зависимости от скорости скольжения, и в таблице приведены их минимальные значения.

В пластинчатом перлите (№3, 275–285 НВ) феррит блокирован пластинками цементита, что затрудняет его пластическую деформацию. У чугуна после двойной нормализации, хоть он и имеет практически такую же твёрдость (№2, 260–270 НВ), коэффициент усадки стружки ниже. Эти отличия в усадке стружки нельзя объяснить только разницей в твёрдости чугунов. Объяснение этого явления кроется в различной микроструктуре чугунов (степени её дисперсности и других параметрах микроструктуры).

Высокопрочный чугун, отличающийся достаточной пластичностью и вязкостью, нарушает традиционные представления о чугунах как о хрупких материалах, обработка которых сопровождается образованием стружки надлома, отсутствием наростов и пластической деформации. Наростообразование при обработке ВЧШГ не является таким активным, а нарост – таким прочным, как при обработке стали. Достаточно устойчивый нарост образуется при обработке тех чугунов, в микроструктуре которых есть участки свободного феррита (литая структура). Образование наростов сопровождается процессом точения и термообработанных чугунов, хотя их исчезновение наблюдается при более низких скоростях резания, чем у литого.

Трение инструмента о стружку и поверхность резания оказывают значительное влияние на процесс обработки, являясь главной причиной износа инструмента. Наибольший коэффициент трения наблюдается при контакте с литым чугуном, в структуре которого

много структурно свободного феррита (табл. 2). Свободный феррит чугуна легко заполняет неровности контактной поверхности инструмента и вступает в адгезионное взаимодействие.

Уменьшение количества структурно свободного феррита в чугуне, увеличение степени дисперсности структурных составляющих способствует снижению уровня пластической деформации, площади контакта стружки с передней поверхностью резца, степени упрочнения металла стружки, активности адгезионного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов. А в результате приводит к снижению коэффициента трения (табл. 2).

Если судить об обрабатываемости чугуна по усадке стружки и коэффициенту трения, то наилучшей обрабатываемостью обладает чугун после закалки и низкого отпуска с наибольшей твёрдостью (табл. 1 и 2). Данные характеристики не дают объективного представления об обрабатываемости ВЧШГ. Необходимо проведение стойкостных испытаний, которые бы позволили установить взаимосвязь микроструктуры чугунов и характеристик обрабатываемости.

ВЧШГ в литом состоянии отличается не только значительной структурной неоднородностью, но и ликвацией химических элементов, особенно кремния, который сосредоточен, в основном, в ферритной оторочке вокруг графита, что снижает механические свойства чугуна.

Наибольшей однородностью ($K_n=1,26$) и наилучшей обрабатываемостью ($K_o=0,8$) отличается чугун после двойной нормализации, наименьшей однородностью ($K_n=1,9$) и худшей обрабатываемостью ($K_o=0,5$) – чугун после закалки и низкого отпуска.

Результаты стойкостных испытаний при точении твёрдым сплавом ВК8 ВЧШГ с различной микроструктурой приведены на рис. 2. Из рис. 2 и таблиц 1 и 2 видно, что обрабатываемость чугуна в большей степени зависит не от твёрдости, а от степени неоднородности чугуна.

Поэтому коэффициент неоднородности можно считать комплексной характеристикой

высокопрочного чугуна, определяющей его обрабатываемость резанием.

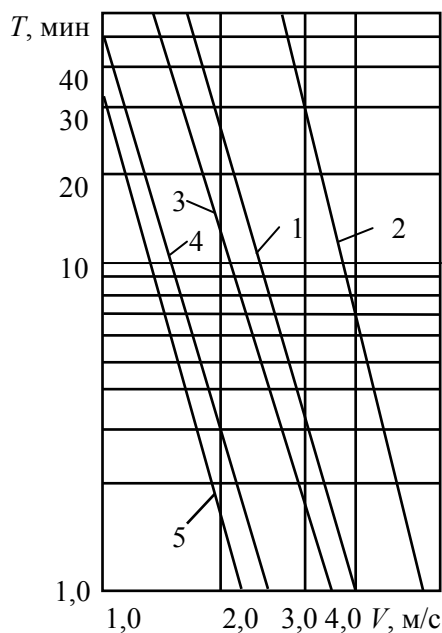


Рис. 2. Влияние коэффициента неоднородности чугуна на стойкость инструмента из ВК8: $S = 0,07$ мм/об.; $t = 0,4$ мм; 1–5 – условный номер чугуна

Выводы

1. Коэффициенты усадки стружки и трения не дают объективного представления об обрабатываемости чугуна.
2. Комплексной характеристикой, определяющей обрабатываемость чугуна, является коэффициент его неоднородности.

Литература

1. Солнцев Л.А. Получение чугунов повышенной прочности / Л.А. Солнцев, А.М. Зайденберг, А.Ф. Малый. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 152 с.
2. Лалазарова Н.А. Влияние неоднородности высокопрочного чугуна на его обрабатываемость резанием / Н.А. Лалазарова // Вестник ХГАДТУ: сб. научн. тр. – 2000. – №12–13. – С. 86–87.

Рецензент: И.П. Гладкий, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 25 июля 2011 г.