

Адаптация технологической САПР Project к условиям проектирования структуры техпроцессов механообработки деталей штампов и пресс-форм

САПР технологического проектирования изготовления деталей традиционно строились на основе широкого применения таблиц принятия решений, таблиц соответствия и т.д., отражающих логические связи между свойствами детали и заготовки с одной стороны и свойствами средств технологического оснащения (оборудования, приспособлений, оснастки и т.д.) – с другой [1].

В данной статье излагается иной подход к созданию подсистем САПР ТП, ориентированной на разработку технологий на детали штампов и пресс-форм. На рынке программных продуктов есть САПР ТП, например, Project, TechCard, T-FLEX и другие, содержащие базы данных типа D-Base, Fox Pro, Access и т.п., которые технологам необходимо адаптировать для своего завода. Эта задача трудна для технологов, ибо требуются модели, алгоритмы или принципы адаптации. При адаптации решается задача пополнения базы данных типовыми или групповыми технологиями, оборудованием, оснащением и т.п. В статье в качестве модели адаптации предложены Булевы матрицы, построенные так, что они содержат специально ориентированную информацию на конкретную САПР ТП. Ниже рассмотрены примеры для САПР ТП типа Project.

С целью концентрации технологической информации предложено пользоваться унифицированными технологическими процессами (УТП), содержащими в своем составе несколько типовых техпроцессов (ТПП), т.е. $УТП \subset (ТПП_1, ТПП_2, \dots ТПП_n)$. УТП разрабатывается на комплексную деталь, изготавливаемую в двух (единичном и серийном) производствах из 3-х материалов (стали, чугуна, цветного сплава), двух габаритов (мелких или крупных) с наивысшей точностью размеров, равной 6 качеству, следовательно, согласно сказанному выше рассматриваемый УТП может, содержать от 1 до 12 ТПП. Наибольшее число операций в каждом ТПП определяется 6 качеством (IT6) и количественно постоянно для всех ТПП. Отсутствующие операции в некоторых ТПП замещаются нулями. Наибольшее число ТПП в УТП определяет технолог, например для детали на рис.1 был разработан УТП с учетом только типа производства (единичного и серийного) из одного материала (сталь) и с мелким габаритом ($L / D < 3$), т.е. УТП будет состоять из 2 ТПП.

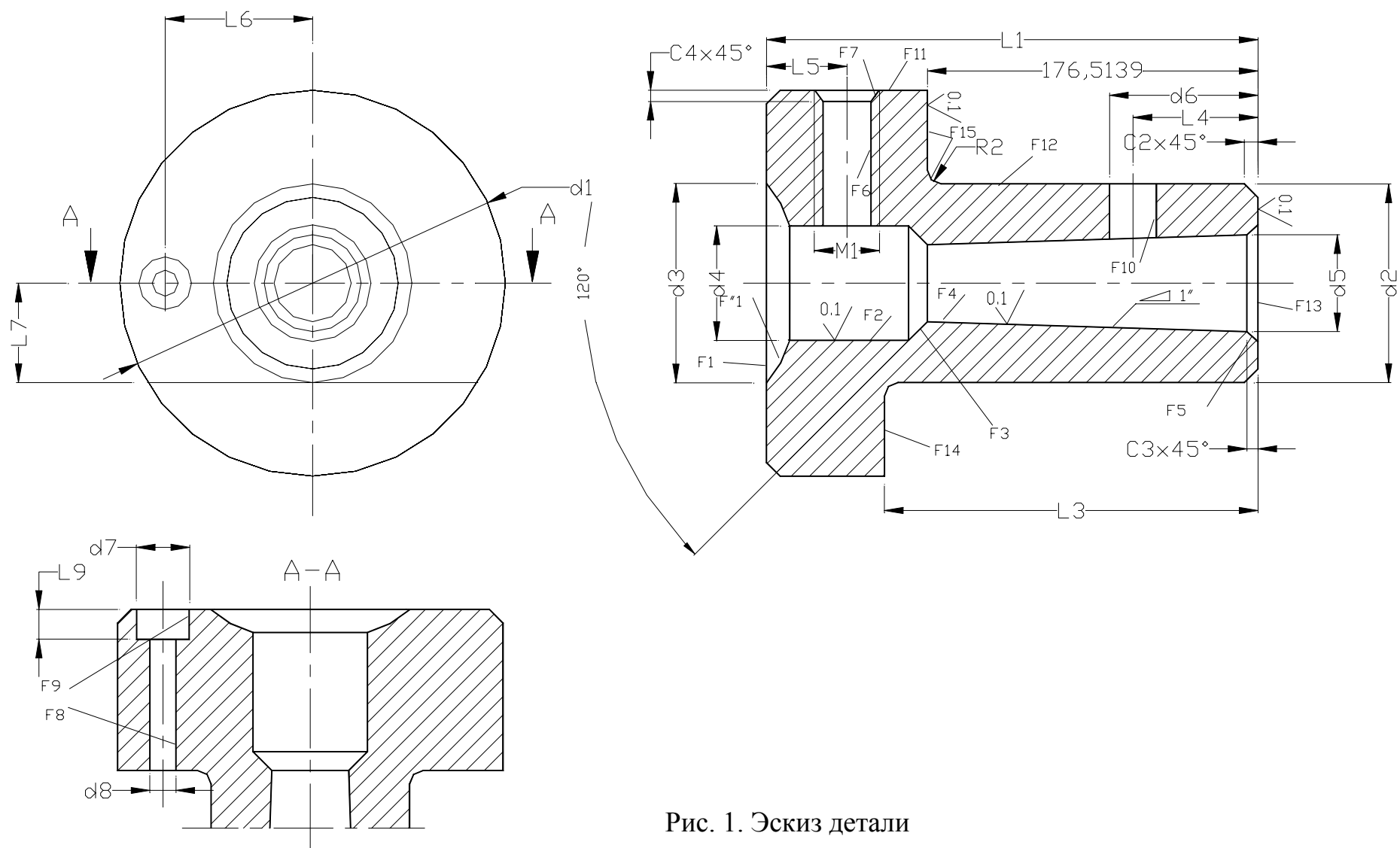


Рис. 1. Эскиз детали

Каждый переход операции описан семью технологическими параметрами, составляющими семь элементов булевой матрицы: код инструментального перехода (требование системы Project), станок, приспособление, поверхности базовые, поверхности закрепления, режущий инструмент, мерительный инструмент. Например:

Точить (F1ΛF11ΛF1¹) + СТ1₁₀ + П1₁₀ + (F12ΛF13) F12 + Рез1 + МИ1₁₀,
где Λ - логический знак “И”.

Для каждого ТТП построены булевы матрицы, соответственно, для инструментальных переходов, станков, приспособлений, поверхностей базовых, поверхностей закрепления, режущих инструментов, мерительных инструментов. Путем сложения булевых матриц (или других операций над матрицами) строится булева матрица для конкретного ТТП и в целом для УТП.

Математическая модель ТТП представлена в виде матрицы (таб.1), в которой каждая строка является технологической операцией ТТП. Внутри каждой операции содержатся переходы изготовления детали. Каждая строка (переход) в матрице представлена как логическая сумма в виде выражения:

$$УТП_{ij} = T_{ij} + Ст_{ij} + П_{ij} + (Б+З)_{ij} + РИ_{ij} + МИ_{ij} = \left| \begin{array}{ccccccc} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{71} & & & \\ & & & & \dots & & \\ & & & & & & \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & & & \end{array} \right|$$

где a_{ij} – элементы булевой матрицы, имеющие значения 0 или 1.

$УТП_{ij}$ – матрица унифицированного технологического процесса изготовления детали, содержащая два типовых ТП для единичного и серийного производства, соответственно;

i – номер строки или число операций : $i = 10$ в УТП;

j – номер столбца ($j = 7$ в рассматриваемом случае) или число технологических факторов, необходимых для проектирования ТП;

T_{ij} – код технологического перехода изготовления детали;

$Ст_{ij}$ – код технологического оборудования;

$П_{ij}$ – код приспособления;

$(Б+З)_{ij}$ – код поверхности заготовки для базирования и закрепления;

$РИ_{ij}$ – код режущего инструмента;

$МИ_{ij}$ – код мерительного инструмента.

Булева матрица вида

$$УТП_{ij} = \left| \begin{array}{ccccccc} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{71} & & & \\ & & & & \dots & & \\ & & & & & & \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & & & \end{array} \right| \cap \left| \begin{array}{ccc} B_{11} & B_{21} & B_{71} \\ & & \\ & & \\ B_{i1} & B_{i2} & \dots & B_{ij} \end{array} \right|$$

представлена в таблице 1, где в столбцах 1-ом и 2 –ом указаны для пояснения матрицы № операций и № переходов, а в столбцах Вариант 1 и вариант 2, соответственно, части матрицы a_{ij} и b_{ij} .

Таблица 1

Матрица унифицированного технологического процесса (УТП)

№ Опе р	№ Пер ход а	Вариант 1: a_{ij}	Вариант 2: b_{ij}
05	1	Фрезеровать (F) + CT ₁₀₅ + П ₁₀₅ + F ₁₁ + F ₁₁ + Фр ₀₅ МИ ₁₀₅	Штамповать(F _{k,r})+ CT ₂₀₅ + П ₂₀₅ + F _{k,r} + F _{k,r} + Штaмп ₀₅ + МИ ₂₀₅
10	1	Точить (F1ΛF11ΛF1 ¹)+ CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ + (F12ΛF13) + F12 + Рез1 + МИ ₁₁₀	Точить(F1ΛF11ΛF1 ¹)+ CT ₂₁₀ + П ₂₁₀ +(F12ΛF13)+ F12+ Рез1+ МИ ₂₁₀
	2	Сверлить(F4ΛF2) + CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ +(F12ΛF13)+ F12 +(Св1ΛСв2ΛЗенк1)+ МИ ₁₁₀	Сверлить(F4ΛF2))+ CT ₂₁₀ + П ₂₁₀ +(F12ΛF13)+ F12 +(Св1ΛСв2ΛЗенк1)+ МИ ₂₁₀
10	3	Точить(F1ΛF11ΛF1 ¹)+ CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ +(F12ΛF13)+ F12 +Рез2+ МИ ₁₁₀	Точить(F1ΛF11ΛF1 ¹)+ CT ₂₁₀ + П ₂₁₀ +(F12ΛF13)+ F12 +Рез2+ МИ ₂₁₀
	4	Сверлить(F8ΛF9) + CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ +(F12ΛF13)+ F12 +(Св3ΛЗенк2)+ МИ ₁₁₀	0
	5	Точить(F13ΛF15ΛF12)+ CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ +(F11ΛF1)+ F11 +Рез1+ МИ ₁₁₀	Точить(F13ΛF15ΛF12)+ CT ₂₁₀ + П ₂₁₀ +(F11ΛF1)+ F11 +Рез1+ МИ ₁₁₀
	6	Точить(F13ΛF15ΛF12)+ CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ +(F11ΛF1)+ F11 +Рез2+ МИ ₁₁₀	Точить(F13ΛF15ΛF12)+ CT ₂₁₀ + П ₂₁₀ +(F11ΛF1)+ F11 +Рез2+ МИ ₁₁₀
	7	Точить(F4ΛF5)+ CT ₁₁₀ + П ₁₁₀ +(F11ΛF1)+ F11 +Рез3+ МИ ₁₁₀	Точить(F4ΛF5)+ CT ₂₁₀ + П ₂₁₀ +(F11ΛF1)+ F11 +Рез3+ МИ ₁₁₀
15	1	Фрезеровать (F14)+ CT ₁₅ + П ₁₅ +(F1ΛF12ΛF6)+F12+	Фрезеровать (F14)+ CT ₁₅ + П ₁₅ +(F1ΛF12ΛF6)+F12+ Фр ₁₅ +

		Фр ₁₅ + МИ ₁₅	МИ ₁₅
20	1	Сверлить(F10ΛF6))+ СТ ₂₀ + П ₂₀ +(F12ΛF13 ΛF14)+F12+(Св4ΛСв5Λ Св6)+ МИ ₂₀	Сверлить(F10ΛF6))+ СТ ₂₀ + П ₂₀ +(F12ΛF13 ΛF14)+F12+(Св4ΛСв5Λ Св6)+ МИ ₂₀
	2	0	Сверлить(F8ΛF9))+ СТ ₂₀ + П ₁₂₀ +(F12ΛF13)+ F12 +(Св3Λзенк2)+ МИ ₂₀
25		Калить (F _{k,r}) СТ ₂₅ + П ₂₅ + F _{k,r} + F _{k,r} + РИ ₂₅ + МИ ₂₅	Калить (F _{k,r}) СТ ₂₅ + П ₂₅ + F _{k,r} + F _{k,r} + РИ ₂₅ + МИ ₂₅
30	1	Шлифовать(F13ΛF15ΛF12)+ СТ ₃₀ + П ₃₀ +(F11ΛF1)+ F11 +ШКр ₁₃₀ + МИ ₃₀	Шлифовать(F13ΛF15ΛF12)+ СТ ₃₀ + П ₃₀ +(F11ΛF1)+ F11 +ШКр ₁₃₀ + МИ ₃₀
	2	Шлифовать(F11ΛF1)+ СТ ₃₀ + П ₃₀ +(F13ΛF12)+ F12 +ШКр ₂₃₀ + МИ ₃₀	Шлифовать(F11ΛF1)+ СТ ₃₀ + П ₃₀ +(F13ΛF12)+ F12 +ШКр ₂₃₀ + МИ ₃₀
35	1	Шлифовать(F2)+ СТ ₃₅ + П ₃₅ +(F13ΛF12)+ F12 +ШКр ₁₃₅ + МИ ₃₅	Шлифовать(F2)+ СТ ₃₅ + П ₃₅ +(F13ΛF12)+ F12 +ШКр ₁₃₅ + МИ ₃₅
	2	Шлифовать(F4)+ СТ ₃₅ + П ₃₅ +(F1ΛF11)+ F11 +ШКр ₂₃₅ + МИ ₃₅	Шлифовать(F4)+ СТ ₃₅ + П ₃₅ +(F1ΛF11)+ F11 +ШКр ₂₃₅ + МИ ₃₅
40	1	Полировать(F1 ¹ ΛF2ΛF3)+ СТ ₄₀ + П ₄₀ +(F13ΛF12)+ F12 +ПКр ₁₄₀ + МИ ₄₀	Полировать(F1 ¹ ΛF2ΛF3)+ СТ ₄₀ + П ₄₀ +(F13ΛF12)+ F12 +ПКр ₁₄₀ + МИ ₄₀
	2	Полировать(F13ΛF5ΛF4)+ СТ ₄₀ + П ₄₀ +(F11ΛF1)+ F11 +ПКр ₂₄₀ + МИ ₄₀	Полировать(F13ΛF5ΛF4)+ СТ ₄₀ + П ₄₀ +(F11ΛF1)+ F11 +ПКр ₂₄₀ + МИ ₄₀
45	1	Мыть (F _{k,r})+ СТ ₄₅ + П ₄₅ + F _{k,r} + F _{k,r} + РИ ₄₅ + МИ ₄₅	Мыть (F _{k,r})+ СТ ₄₅ + П ₄₅ + F _{k,r} + F _{k,r} + РИ ₄₅ + МИ ₄₅
50	1	Контролировать (F _{k,r})+ СТ ₅₀ +П ₅₀ + F _{k,r} + F _{k,r} + РИ ₅₀ + МИ ₅₀	Контролировать (F _{k,r})+ СТ ₅₀ +П ₅₀ + F _{k,r} + F _{k,r} + РИ ₅₀ + МИ ₅₀

Булева матрица (табл.1) используется технологом как информационная модель для заполнения таблицы ВИД при разработке нового техпроцесса на деталь (табл.3) и базы (Fox Pro) данных по оборудованию, оснащению в системе Project. Например, жирным шрифтом в табл.3 выделены параметры, вносимые технологом при заполнении таблицы ВИД. В позиции 33 (код поверхности, табл. 3) вносится код поверхности 2112111, равный коду перехода (точить ($F1 \wedge F11 \wedge F1^1$)) в операции № 10, табл. 1). Поскольку обработке подлежат 3 поверхности ($F1, F11, F1^1$), то заполняют 3 строки ВИД (в табл. 3 указаны 2 строки). В позиции 36 ставится код станка (800), под которым он внесен в базу станков, в позицию 59 – код приспособления (2), в позицию 63 - комплект № 1 базовых поверхностей ($F12 \wedge F13$) + $F12$, а при переустановке – комплект №2 базовых поверхностей ($F11 \wedge F1$) + $F11$ и т. д. Остальные позиции с 25 по 68 (табл.3) не составляют трудности для технолога и заполняются им на основе профессионального опыта. Заполняя на все поверхности комплексной детали таблицы ВИД и передавая эти данные в систему проектирования структуры операций, получают последовательно ТТП1, ТТП2, ТТП3 ... ТТП12 в целом для УТП. Все эти двенадцать ТТП спроектированы для комплексной детали с наивысшими точностью и качеством поверхности. В системе Project имеется программа формирования кода АСУП – много разрядного числа (табл.2), формируемого из ответов технолога в диалоге на вопросы: серийность производства, материал заготовки, габариты и профиль заготовки, твердость материала поверхности, наличие химического покрытия на поверхности детали, наивысшая точность размеров и шероховатость. Код АСУП является номером ТТП, под которым он помещается в базу данных Project. Состав операций ТТП с низкими требованиями к точности размеров и шероховатости поверхности может формироваться в системе Project двумя путями: в ручную технологом путем копирования полного ТТП на деталь наивысшей точности и качества и ручного удаления избыточных операций или автоматически с помощью подпрограммы, использующей логическую функцию γ_N (см. ниже). Эта же подпрограмма используется при разработке на основе выбранного аналога (ТТП) техпроцесса на конкретную деталь.

Пример заполнения заголовка таблицы ВИД (см. табл.3)

Таблица 2

Корректировка реквизитов заголовка документов ВИД									
Обозначение детали		КТИМ 500			Номер документа Вид				900004
Код АСУП Гр.0		Наименование детали (узла) Гр.4				Масса Гр.5		D (В) Гр.6	
72678400000000000000		ВАЛ - ВТУЛКА				5.0		35	
Длина Гр.8	Высота Гр.9	Наименование и обозначение материала Гр.10				Код материала Гр.11			
100.0	0	Сталь 40Х13 ГОСТ 4784-65				103			
Наименование и обозначение заготовки Гр.12				Код Гр.13	D(В) Гр.14	Длина Гр.15		Высота Гр.16	
ПРУТОК КРУГЛЫЙ 45 ГОСТ 21488-76				310	45	110		0	
Кол.дет. Гр.17	Норма. расх. Гр.18	Доп.р-р Гр.19	Пр-ма Гр.20	КС1 и 2 Гр.21	Цех Уч. Гр.22	Разраб. Гр.23	Квал. Гр.27	Шерох. Ra Гр. 28	Прз. компл. Гр.24
1	0.59	0.0	0	0	0	11121	14	12,5	0

Таблица 3

Ведомость исходных данных (ВИД) на поверхности детали

Редактирование строк ВИД										
00	№ строки	1	46	Основ. р-р		00	№ строки	2	46	Основ. р-р
25	Приз. стр.	T	47	Пос-ка		25	Приз. стр.	T	47	Пос-ка
26	№ совок.		48	Код точн.		26	№ совок.		48	Код точн.
27	Код совок.		49	Осн. р-р ВО		27	Код совок.		49	Осн. р-р ВО
28	Кол. совок.		50	Осн. р-р НО		28	Кол. совок.		50	Осн. р-р НО
29	№ комбин.		51	Шероховат.		29	№ комбин.		51	Шероховат.
30	Код комб.		52	Код свар.		30	Код комб.		52	Код свар.
31	Кол. комб.		53	Код станд.		31	Кол. комб.		53	Код станд.
32	№ поверх.		54	Код св. мат.		32	№ поверх.		54	Код св. мат.
33	Код пов.	2112111	55	Ф. св. мат.		33	Код пов.	2112111	55	Ф. св. мат.
34	Кол. пов.		56	Козф. увел.		34	Кол. пов.		56	Козф. увел.
35	Доп. свед.		57	Ст. распол.		35	Доп. свед.		57	Ст. распол.
36	Р-р дл. св.	800	58	Ст. доступ.		36	Р-р дл. св.	800	58	Ст. доступ.
37	Угол град.		59	Код базир.	2	37	Угол град.		59	Код базир.
38	Угол мин.		60	Сп. Инс.		38	Угол мин.		60	Сп. Инс.
39	Угол ВО м		61	Резерв		39	Угол ВО м		61	Резерв
40	Угол НО м		62	Резерв		40	Угол НО м		62	Резерв
41	Тех. треб.		63	№ компл.	1	41	Тех. треб.		63	№ компл.
42	№ пов. отс.		64	Точн. ТУ		42	№ пов. отс.		64	Точн. ТУ
43	Коорд. р-р		65	Шерох. ТУ		43	Коорд. р-р		65	Шерох. ТУ
44	Кр. р-р ВО		66	№ связи		44	Кр. р-р ВО		66	№ связи
45	Кр. р-р НО		67	Длина обр.		45	Кр. р-р НО		67	Длина обр.
			68	Припуск					68	Припуск

Для выбора прототипа или аналога при разработке конкретного техпроцесса на деталь устанавливается определенный состав логических условий (признаков) функционирования каждой операции в маршруте обработки. В данной работе все условия обработки были разделены на следующие группы:

- Конструктивно-технологические признаки деталей общего назначения (точность, шероховатость поверхности, материал заготовки и т. д.).
- Условия, определяющие выбор этапов механической, термической, гальванической и других видов обработки.

На основании этого подхода были разработаны рекомендации по назначению логических условий выбора операций механической, термической, гальванической и другой обработки деталей. Каждое логическое условие может иметь два состояния: да и нет или 1 и 0 [3].

После установления технологом необходимого состава условий, определяющих формирование конкретного ТТП, пишут логическую функцию назначения операции (перехода) - γ_N в виде следующего выражения:

$$\gamma_N = \gamma_{MD} \wedge \gamma_{ГД} \wedge \gamma_F \wedge \gamma_{IT} \wedge \gamma_{Ra} \wedge \gamma_{HRC} \wedge \gamma_{покр.} \wedge \gamma_{серийн.}$$

N - целое число операций (переходов); γ_{MD} -логическое условие выбора материала заготовки; $\gamma_{ГД}$ - логическое условие выбора габарита заготовки; γ_F - логическое условие выбора контура на заготовке; γ_{IT} - логическое условие назначения точности обработки; γ_{Ra} - логическое условие назначения шероховатости поверхности; γ_{HRC} - логическое условие назначения твердости поверхности; $\gamma_{покр.}$ - логическое условие назначения покрытия на поверхности, $\gamma_{серийн.}$ - логическое условие назначения серийности производства и другие.

Для каждого из этих условий (γ_{MD} , $\gamma_{ГД}$, γ_F , γ_{IT} , γ_{Ra} , γ_{HRC} , $\gamma_{покр.}$) существуют такие зависимости: $\gamma = 1$ условие выполняется, $\gamma = 0$ условие не выполняется.

Например: $\gamma_{ГД} = 1$, если $P_{Зар} < P_{Ст}$, где $P_{Зар}$ – габаритные размеры заготовки, $P_{Ст}$ - размеры рабочего пространства станка; $\gamma_{IT} = 1$, если $IT_{Э} < IT_{Д}$, где $IT_{Э}$ – качество точности, который можно получить на данной операции, $IT_{Д}$ – наивысший качество точности размеров детали и т. д.

В зависимости от серийности производства, точности размеров, шероховатости и др. факторов длина структуры техпроцесса может существенно изменяться. На граф модели (рис.2) ТТП показано, что при автоматизированном анализе логических условий – дуг графа возможен выбор ближайшего аналога необходимого при разработке техпроцесса для конкретной детали. Например,

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_{10} = 1,$$

$$ТТП_1 = T_{05} + T_{10} + T_{50}.$$

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_2 \wedge \gamma_{14} \wedge \gamma_9 = 1, \quad \text{ТПП}_2 = T_{05} + T_{10} + T_{15} + T_{45} + T_{50}$$

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_2 \wedge \gamma_{14} \wedge \gamma_9 = 1, \quad \text{ТПП}_3 = T_{05} + T_{10} + T_{15} + T_{45} + T_{50}$$

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_2 \wedge \gamma_3 \wedge \gamma_{15} \wedge \gamma_9 = 1, \quad \text{ТПП}_4 = T_{05} + T_{10} + T_{15} + T_{20} + T_{45} + T_{50}$$

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_{11} \wedge \gamma_{18} \wedge \gamma_8 \wedge \gamma_9 = 1, \quad \text{ТПП}_5 = T_{05} + T_{10} + T_{30} + T_{40} + T_{45} + T_{50}$$

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_{17} \wedge \gamma_5 \wedge \gamma_6 \wedge \gamma_7 \wedge \gamma_8 \wedge \gamma_9 = 1, \\ \text{ТПП}_6 = T_{05} + T_{10} + T_{25} + T_{30} + T_{35} + T_{40} + T_{45} + T_{50} +$$

.....

.....

.....

$$\gamma_N = \gamma_1 \wedge \gamma_2 \wedge \gamma_3 \wedge \gamma_4 \wedge \gamma_5 \wedge \gamma_6 \wedge \gamma_7 \wedge \gamma_8 \wedge \gamma_9 = 1, \\ \text{ТПП}_N = T_{05} + T_{10} + T_{15} + T_{20} + T_{25} + T_{30} + T_{35} + T_{40} + T_{45} + T_{50}$$

Длина индивидуальных маршрутов обработки конкретной детали может быть различной: от $\text{ТПП}_1 = (T_{05}, T_{10}, T_{50})$, состоящего из трех операций: заготовительная, токарная и контрольная, до $\text{ТПП}_N = (T_{05}, T_{10}, T_{15}, \dots, T_{50})$ состоящего из всех операций ТПП.

В заключении следует отметить, что рассмотренная методика моделирования ТПП позволяет автоматизировать процедуру проектирования маршрута обработки деталей штампов и пресс-форм в условиях единичного и серийного производства.

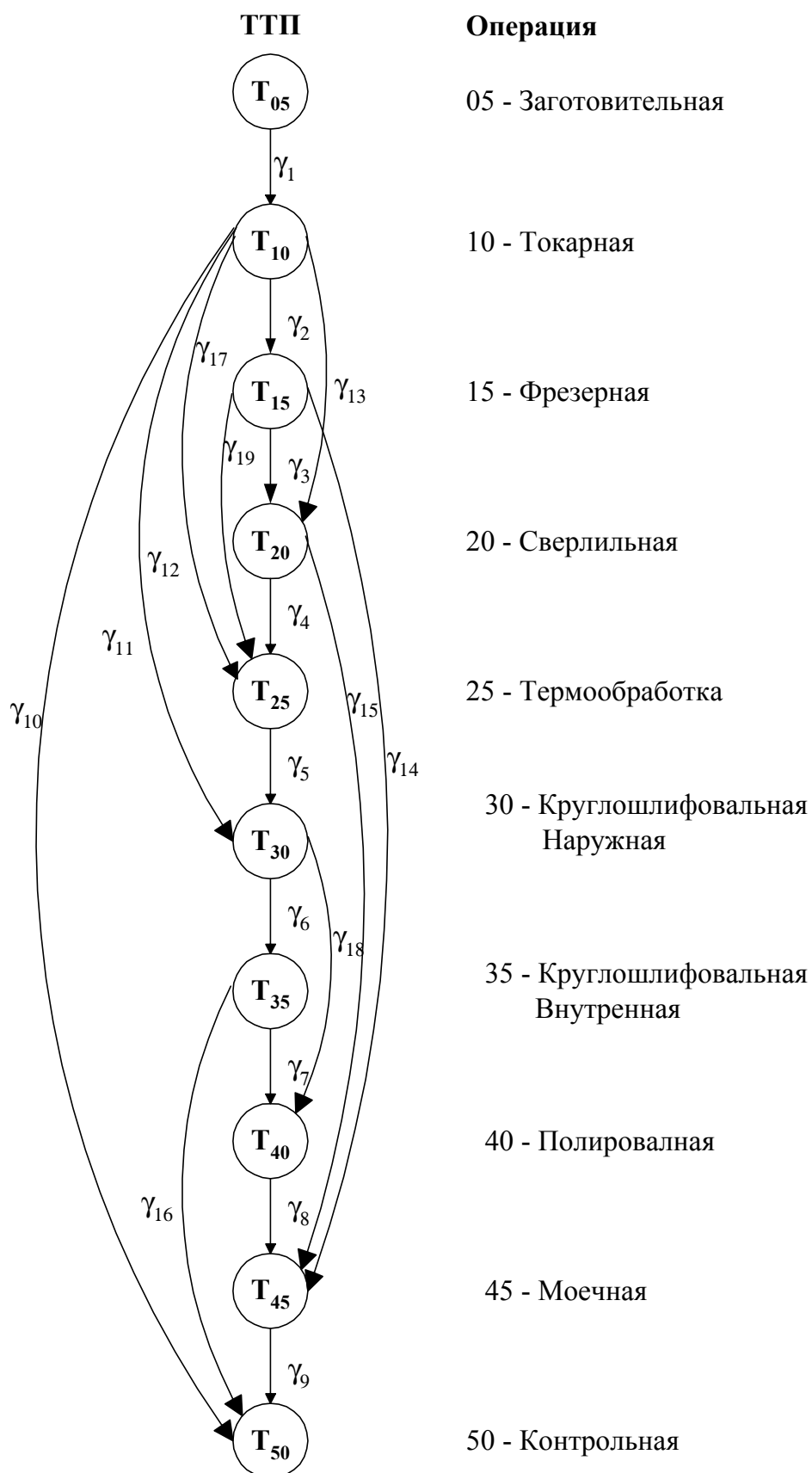


Рис. 2. Граф дерева типового технологического процесса изготовления детали.

Список литературы

1. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении. / Под ред. чл. корр. АН БССР Г.К. Горанского. М.: Машиностроение, 1976. 240с.
2. Комплексная компьютерная производственная система "PROject" / Красиков В.А, Санкт-Петербургский ГТУ, 1999. 273с.
3. Разработка алгоритмов формирования и выбора типовых этапов обработки деталей / В.И Аверченков, В.И Садовой, г. Брянск,
4. Моделирование процесса проектирования технологии механообработки заготовок с использованием автоматнo-токарного оборудования // Информационные технологии. 1997. № 2. С. 40-42.