سیستم کامپیوتری طبقه بندی و کدگذاری قطعات صنعتی دوار - بر مبنای تکنولوژی گروهی

سید محمد معطر حسینی
استادیار

سعید منصور
استادیار

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

کدگذاری و طبقه بندی یکی از روش های مؤثر و مناسب جهت گروهبندی قطعات در سیستم های تولیدی مبتنی بر تکنولوژی گروهی می باشد. سیستم های متعددی جهت کدگذاری و طبقه بندی قطعات تاکنون در کشورهای صنعتی ارائه گردیده که هر یك دارای قابلیت ها و محدودیت های مشخصی هستند. در مقاله حاضر ضمن مرور اجمالی بر بعضی سیستم های موجود، ایجاد یك سیستم کدگذاری و طبقه بندی تحت نام ACCS گزارش می شود. این سیستم برای قطعات دوار (بدون انحراف) که با عملیات ماشینکاری قابل تولید می باشند، طراحی شده است. سیستم ACCS به طور عمده متشکل از قسمت های کدگذاری، گروهبندی، تشخیص خانواده قطعات و بعضی قسمت های پشتیبانی می باشد. سیستم دارای قابلیت ارائه مجموعه ای از خصوصیات طرح و ساخت قطعه به اضافه بعضی اطلاعات عمومی قطعه در کد ۱۴ رقمی می باشد. جهت گروهبندی از روش تحلیل خوشه ای با اتصال یگانه استفاده شده است. این روش براساس ضریب تشابه قطعات با رأس گروه مربوط عمل گروهبندی را انجام و در ضمن تشابه قطعات داخل هر گروه را با یکدیگر براساس معیارهای تعریف شده کنترل می کند. عملکرد سیستم ACCS با تعداد کثیری از قطعات صنعتی مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج رضایت بخشی حاصل شده است که در مقاله تحلیل نتایج به اختصار آمده است.

A Computerised Coding and Classification System for Rotational Parts

S. M. Moattar Husseini
Assistant Professor

S. Mansour
Assistant Professor

Industrial Eng. Dept. Amirkabir Univ.

Abstract

Coding and Classification is an effective method of grouping parts in Group Technology. For the purpose of coding and classification of parts several systems have been developed, while each provides particular capabilites and limitations.

In this paper, following a brief review of a number of existing systems, a computerized coding and classification system, named ACCS, which is developed by the authors is described. The system is designed for rotational parts which are produced by machining operations. This system provides a 14 character code for each part, while the code itself consists of three sections, namely: Base code, Form code, and Operations code. For the purpose of grouping, a Cluster Analysis method has been employed in this system. The ACCS has been tested using several industrial components, while reasonable degree of success were achieved.

مقدمه

تولید صنعتی، امروزه ناگزیر به افزایش بهره وری و تأمین شاخص های تولید، به ویژه کیفیت، هزینه، زمان و انعطاف پذیری در حدی مطلوب می باشد. در این راستا سیستم تولید به عنوان بستر و نظام دهنده تولید، عامل تعیین کننده محسوب می شود. سیستم های تولیدی مختلفی در صنعت مورد استفاده قرار گرفته که از آن میان سیستم های تولیدی مبتنی بر تکنولوژی گروهی (Group Technology) و سیستم های تولید سلولی (Cellular Manufacturing System) شرایط خوبی را جهت تأمین معیارهای فوق تأمین می نماید [۴ و ۳ و ۲ و ۱].

در تکنولوژی گروهی، خصوصیات مختلف قطعات مورد توجه قرار گرفته و بر مبنای میزان تشابه، نزدیکی و اشتراک در این خصوصیات گروهبندی قطعه (و یا ماشین) انجام می گیرد و بدین طریق تولید بر مبنای خانواده قطعات (Part Families) و سلول های تولیدی سازماندهی می شود.

کدگذاری و طبقه بندی قطعات یکی از روش های مؤثر و مناسب جهت گروهبندی قطعات می باشد [۲ و ۱]. این روش در چند دهه اخیر توسعه قابل توجهی پیدا نموده و کاربرد صنعتی فراوانی داشته است. سیستم های موجود هر یک دارای قابلیت ها و محدودیت های معینی هستند. اغلب سیستم ها در ویژگی های طراحی و بعضی سیستم ها در ویژگی های ساخت تمرکز یافته اند و بعضی هر دو نوع ویژگی ها را پوشش می دهند.

در مقاله حاضر ضمن مروری اجمالی بر بعضی سیستم های معروف، یک سیستم کامپیوتری کدگذاری و طبقه بندی قطعات تحت عنوان ACCS، که توسط نویسندگان مقاله طی یک پروژه تحقیقاتی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر ایجاد گردیده تشریح می شود. سیستم حاضر دارای قابلیت ارائه توأم ویژگی های طراحی و ساخت قطعات بوده، از روش گروهبندی مؤثری استفاده می کند و از تسهیلات کامپیوتری مناسبی برخوردار است.

کدگذاری و طبقه بندی قطعات

کدگذاری قطعات، فرآیندی است که در آن ویژگی های مختلف هر قطعه (وخصوصیات ساخت آن) توسط نمادهای معنی دار ارائه می شود و مجموعه نمادها کد قطعه را تشکیل می دهد. فرآیند طبقه بندی اقلام (قطعات) را بر حسب وجود و یا عدم وجود ویژگی های مورد نظر دسته بندی می نمایند. در کدگذاری هر چه اطلاعات ریزتری ارائه شود، هویت فنی قطعات و جزئیات ساخت آنها نمایان تر خواهد بود. در مقابل، با افزایش اطلاعات ریز ارائه شده، راندمان بهره گیری از کد ممکن است کاهش پیدا کند. لذا در طراحی سیستم کدگذاری لازم است قبلاً اطلاعاتی که برای کاربرد موردنظر ضروری است تعیین شود. در هر صورت اطلاعات ارائه شده در کد بایستی عاری از ابهام بوده و کامل باشد. همچنین محدودیت طول کد نیز بایستی در نظر گرفته شود. ساختار کد که ارتباط بین ارقام کد را مشخص می کند، به طور کلی در سه نوع سلسله مراتبی (Hierarchical)، زنجیری (Chain) و یا ترکیبی (Hybrid) تقسیم بندی می شود. در ساختار سلسله مراتبی هر رقم از کد توسط رقم قبلی تفسیر می شود، در ساختار زنجیری ارزش ارقام کد مستقل از یکدیگر بوده و ساختار سوم ترکیبی از دو حالت مذکور را شامل می شود. شرح کاملی از ساختارهای کد در منابع مختلف از جمله [۶ و ۵ و ۲ و ۱] آمده است. در انتخاب نوع ساختار کد عوامل متعددی بایستی در نظر گرفته شود. از جمله زمینه کاربردی کد، نوع اطلاعات، میزان دقت و جزئیات مورد نظر، میزان انعطاف پذیری در رابطه با تغییرات، سهولت کاربردی، سهولت تطبیق با نیاز صنایع، سهولت نگهداری و هزینه های مربوط بایستی مدنظر قرار گیرند. جهت ارزش دهی ارقام کد از سیستم های مختلف می توان استفاده نمود که به طور عمده سیستم های بر مبنای ۲، مبنای ۸، مبنای ۱۰، مبنای ۱۶، همچنین سیستم های سمبلیک و الفبایی را می توان نام برد.

سیستم های کدگذاری و طبقه بندی قطعات

سیستم های متعددی جهت کدگذاری و طبقه بندی قطعات تاکنون ارائه گردیده است که مروری بر این سیستم ها در منابع مختلف از جمله [۶ و ۳ و ۱] آمده است. بعضی سیستم ها به لحاظ کاربردی و قابلیت ها مورد استقبال بیشتری قرار گرفته اند که از آن جمله سیستم های OPITZ [۸ و ۷]، KK3 [۵ و ۳]، MICLASS, [۱۱ و ۳] و DCLASS [۵ و ۳] را می توان نام برد. خلاصه ای از ویژگی های این سیستم ها در جدول (۱) مطرح شده است. در سیستم های KK3 و MICLASS

اطلاعات نسبتاً کاملی ارائه می‌شود و طول کد نیز بیشتر است. در این سیستم‌ها تطبیق نیاز صنعت با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد. سیستم OPITZ به طور نسبی در کدی کوتاه‌تر اطلاعات اصلی را ارائه می‌نماید و مشتمل بر دو قسمت کد اولیه و کد ثانویه می‌باشد. سیستم DCLASS با بهره‌گیری بیشتر از ساختار سلسله مراتبی می‌تواند اطلاعات را در کد کوتاهتر ارائه نماید. سیستم CAMAC [۹] نیز در جدول (۱) مطرح شده و یک ویژگی این سیستم بهره‌گیری از امکانات کامپیوتری در حد خوب می‌باشد.

نکات حائز اهمیت در طراحی سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی قطعات

طراحی سیستم کدگذاری و طبقه‌بندی لازم است براساس اهداف و منطقه کاربردی مورد نظر انجام گیرد. همچنین در طراحی، توجه به بعضی نکات حائز اهمیت می‌باشد که از آن جمله موارد زیر را می‌توان ذکر کرد.

(۱) نوع اطلاعات، میزان دقت و ریزتر شدن اطلاعات مشخص شود.

(۲) اطلاعات به نحو مناسبی سازماندهی شود.

(۳) در تعریف ویژگی‌های قطعه و ارزش‌های مربوط به هر ویژگی از استانداردهای مناسب استفاده شود.

(۴) سیستم دارای قابلیت ایجاد کدهای متمایز برای تنوع موجود در قطعات باشد.

(۵) نمادها به نحوی دسته‌بندی شوند تا کل کد در معدودی بخش مثلاً کد اصلی، ثانویه، تقسیم‌بندی شود.

(۶) نیاز کاربر و سهولت استفاده منظور شود.

(۷) اتوماسیون سیستم در مرحله طراحی ساختار کد مدنظر باشد.

(۸) امکان استفاده از این سیستم در ارتباط با سایر سیستم‌ها، از جمله سیستم CAPP پیش‌بینی شود.

(۹) توسعه سیستم جهت کاربرد در صنایع مربوط پیش‌بینی شود.

قابلیت‌ها و ساختار سیستم طراحی شده (سیستم ACCS)

در پروژه تحقیقاتی حاضر، با هدف کدگذاری و طبقه‌بندی قطعات دوار قابل تولید با عملیات ماشینکاری یک سیستم کامپیوتری به نام

(Amirkabir Coding and Classification System) ACCS

طراحی گردیده است (شکل ۲) . قابلیت سیستم حاضر محدود به قطعات دوار بدون انحراف می‌باشد که قابل توسعه برای قطعات دوار با انحراف نیز می‌باشد.

سیستم کد ACCS مشتمل بر ۱۴ رقم می‌باشد و به طوری که در شکل (۱) نشان داده شده در سه بخش کد پایه (Base Code)، کد فرم هندسی (Form Code) و کد عملیات (Operation Code) سازماندهی شده است. در زیر سه بخش مذکور تشریح می‌شود، در ضمن نمونه‌هایی از جدول‌های مربوط به ارقام کد ارائه خواهد شد.

کد پایه از ۵ رقم تشکیل می‌شود که سه رقم اول از حروف الفبا (A-Z) و دو رقم بعدی از اعداد (۹-۰) استفاده می‌نماید. رقم اول کد، دو تقسیم‌بندی را مشخص می‌کند. بدین صورت که هم گروه اصلی قطعه مثلاً دوار بدون انحراف را مشخص نموده و هم فرم ماده اولیه را تعیین می‌کند. رقم دوم خصوصیت عملکردی قطعه، رقم سوم آلیاژ قطعه و رقم‌های چهارم و پنجم ابعاد اصلی قطعه را مشخص می‌کند.

کد فرم هندسی از ۵ رقم تشکیل می‌شود که چهار رقم اول (ارقام ۹ - ۶)از تعاریف هندسی به کار رفته در سیستم Opitz استفاده می‌نماید. بدین ترتیب شکل خارجی ، شکل داخلی، ماشینکاری سطوح تخت، سوراخ‌ها و دندانه‌ها مشخص می‌شوند. در سیستم ACCS همچنین ۲ رقم کد ذخیره جهت تعاریف هندسی خاص هر صنعت پیش‌بینی شده که در این صورت طول کد تا ۱۶ رقم افزایش می‌یابد.

کد عملیاتی (فرآیندی) از ۴ رقم حروف تشکیل می‌شود که هر رقم ۲۶ حالت (A-Z) را طبقه‌بندی می‌نماید. به وسیله این رقم‌ها فرآیندهای اصلی به کار رفته در تولید قطعه به ترتیب مشخص می‌شوند. استفاده از کد فرآیندی قابلیت لازم را جهت بکارگیری سیستم ACCS، در گروهبندی قطعه و نیز گروهبندی ماشینی جهت طراحی سلول‌های تولیدی تأمین می‌نماید.

نمونه‌هایی از جدول‌های کدگذاری سیستم در شکل (۳) ارائه شده است.

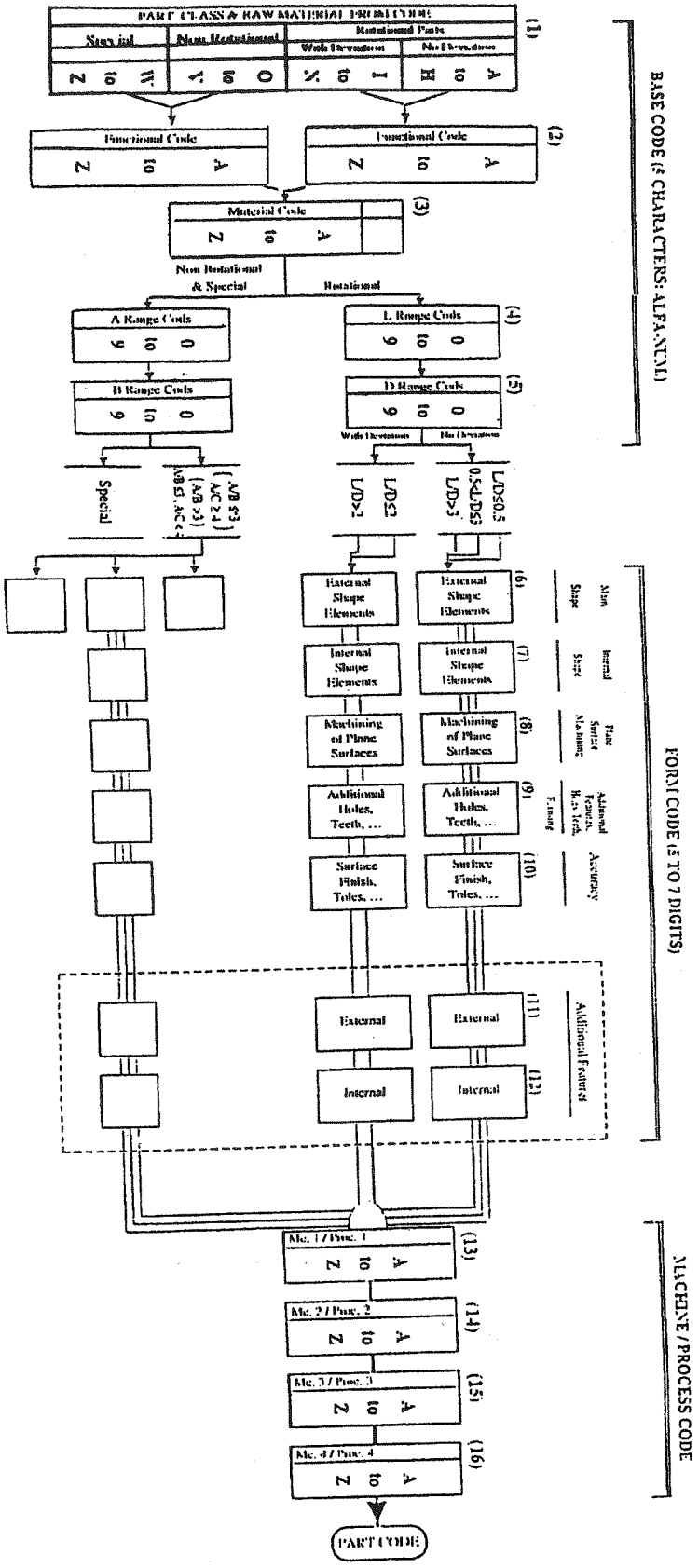
نمونه‌ای از کد ایجاد شده توسط سیستم به قرار زیر می‌باشد:

BDAH	30832	AGH63
کد عملیاتی	کد فرم هندسی	کد پایه

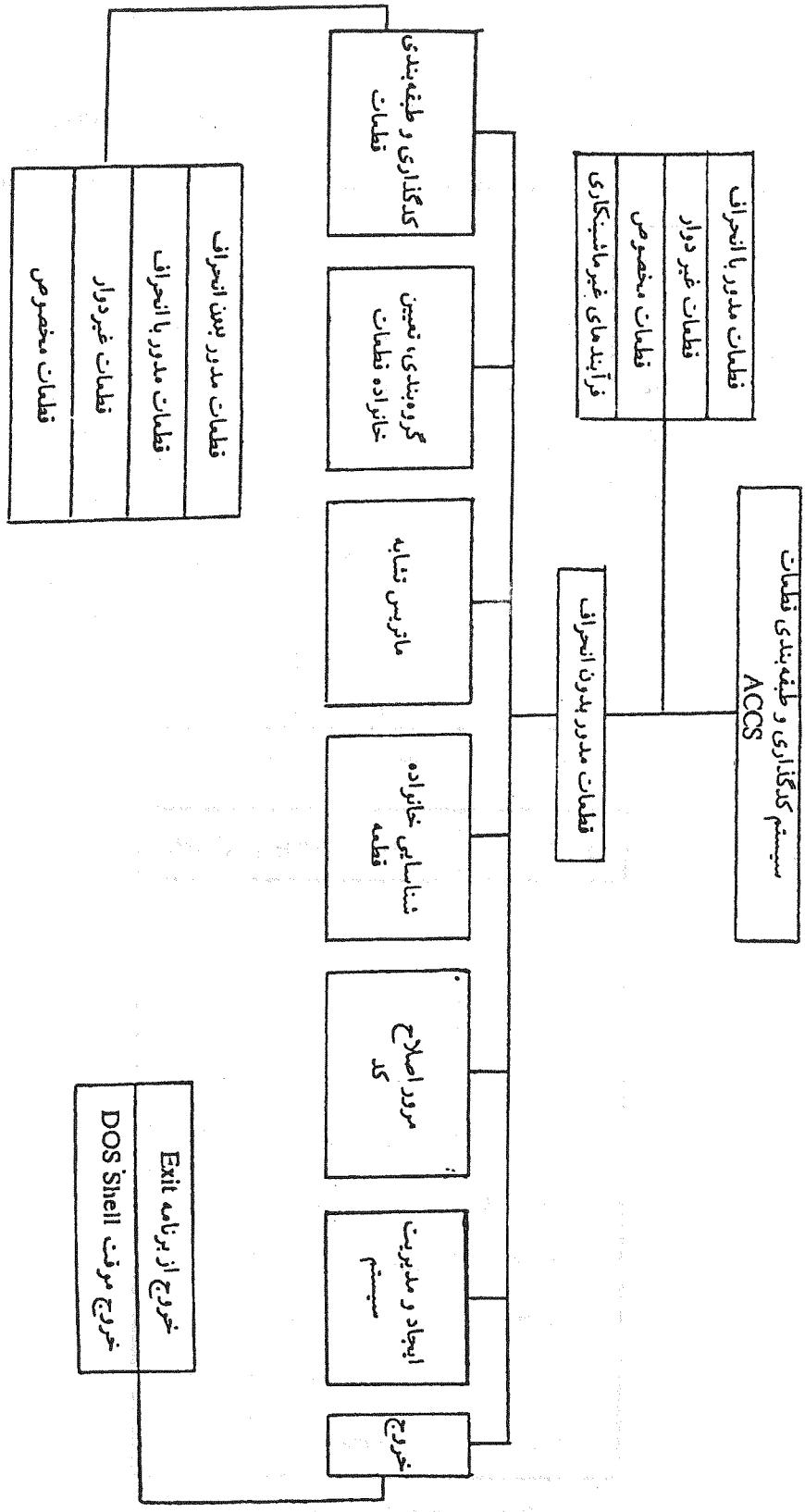
ملاحظه می‌شود که کد ترکیبی از حروف و اعداد می‌باشد. این ترکیب از یک سو برای بالا بردن راندمان کد، جهت ارائه اطلاعات می‌باشد و از سوی دیگر در مقایسه با حالتی که تمام ارقام عددی باشد سهولت بیشتری را برای کاربر تأمین می‌نماید.

جدول (۱) مقایسه مشخصات کلی و سیستم کدگذاری و طبقه بندی قطعات

ردیف	نام سیستم (مؤلف)	مشخصات کلی	مشخصات ساختاری	امکانات کامپیوتری	سایر
۱	BRISCH BIRN تدوین شده توسط فوق‌الذکر در انگلستان حدوداً دهه ۱۹۶۰ (UK)	- با کاربرد عمومی برای شی‌های مختلف مواد، قطعات، قطعات مونتاژی ابزار، تجهیزات - برای هر کاربرد بایستی آماده سازی شود - دارای جداول کدگذاری است	- کدعددی شامل: کداصلی ۶-۴ رقم (طرح) کدثانویه طول متغیر جهت (ساخت) که از نوع عددی است	اخیراً با استفاده Alpha Graphic Systs(TAGS) امکانات کامپیوتری در درکدبندی و در طراحی یا هزینه و ... فراهم آورده	مناسب جهت فراخوانی طرح قطعات و.. توسط شرکت مربوط در صنعت بصورت گسترده بکارگرفته شده است.
۲	OPITZ تدوین شده توسط دانشگاه آخن آلمان یکی از اولین سیستمهای ارائه شده (G)	- بطور گسترده در اروپا و بخصوص آلمان مورد استفاده قرار گرفته - مدارک نسبتاً کافی در مورد سیستم انتشار یافته - قابل استفاده به جهت قطعات ماشینکاری و غیر ماشینکاری	- کلاً ۹ کد در دو قسمت کد اصلی ۵ رقمی بصورت .Ilyb جهت فرم هندسی کد ثانویه از نوع زنجیری ۴ رقمی حاوی اطلاعات ساخت، مواد، تولرانس کد از نوع عددی است	فاقد امکانات نرم‌افزاری	- محدودیتهای کاربردی وجود دارد بلحاظ ارائه جزئیات طرح - جهت ارائه برخی اطلاعات در کد ثانویه گاهاً کارنسبتاً زیادی در مرحله راه اندازی سیستم نیاز است
۳	KK-3 تدوین شده در ۱۹۷۶ توسط انجمن ارتقاء صنعت ماشین ژاپن (J)	- بطور نسبتاً گسترده در ژاپن و سایر کشورهای صنعتی کاربرد داشته، - قابل استفاده جهت قطعات ماشینکاری و غیر ماشینکاری میباشد - قابلیت ارائه اطلاعات نسبتاً کاملی دارد	- کد از ۲۱ رقم تشکیل شده - نام عملکردی قطعه، مشخصات هندسی، تولرانسها، دقت، و برخی مشخصات فرآیندی را مشخص میکند	در ابتدا فاقد امکانات کامپیوتری بوده ولی در ارتباط با وضعیت جدید آن گزارشاتی ملاحظه نشده است.	جهت طبقه بندی قطعات سهولت فراخوانی طرحهای هندسی و بمنظور CAPP از نوع فراخوانی استفاده شده است در مواردیکه جزئیات طرح لازم است ارائه شود مناسب
۴	(MULTICLASS) MICLASS تدوین شده توسط OIR متداولترین سیستم در آمریکا حدوداً ۱۰۰ مورد در صنعت بکارگرفته شده نوع MULTICLASS	سیستم MULTICLASS دارای زیر سیستم های فنی برای هریک از قطعاتی از نوع ماشینکاری وفرم دهی ورق، ابزارالکترونیک و... می‌باشد. ساختار ترکیبی دارد	- ساختار ترکیبی با کد تا ۳۲ رقم - ارقام کد از اعداد تشکیل شده است	نحوه کدگذاری کامپیوتری و بصورت Interact می‌باشد. نرم افزارهای تحلیلی برحسب مورد استفاده میشود	قیمت حدود $100000 می‌باشد (بصورت تجارتی موجود است) قابلیت ارائه جزئیات طرح و ساخت را دارد و البته در مواردی ممکن است طولانی بودن کد مطلوب نباشد
۵	DCLASS در سال ۱۹۸۰ در (USA) تدوین گشته	- هدف ارائه سیستم طبقه‌بندی و دارا بودن حمایتهای تصمیم‌گیری می‌باشد	دارای ساختار درختی (سلسله مراتبی) است. از کد ۸ رقمی استفاده می‌کند. حرفی عددی میباشد	از امکانات کامپیوتری بهره میگیرد	
۶	CAMAC تدوین یافته در دانشگاه بستون (USA) در دهه ۱۹۸۰	- در تعدادی از کارخانجات انگلیس مورد استفاده قرارگرفته در - آموزش دانشگاهی بکارگرفته میشود بلحاظ هزینه آماده سازی مناسب است	از سیستم Binary استفاده می‌کند از انعطاف پذیری نسبتاً خوب و نیز بلحاظ هزینه آماده‌سازی مناسب است.	از امکانات کامپیوتری در حد خوبی برخوردار است. بصورت مرتبط با CAPP و CAD/CAM قابل استفاده است	



شکل (۱) ساختار سیستم کدگذاری ACCS



شکل (۲) ساختار کلی سیستم (نرم افزار) ACCS

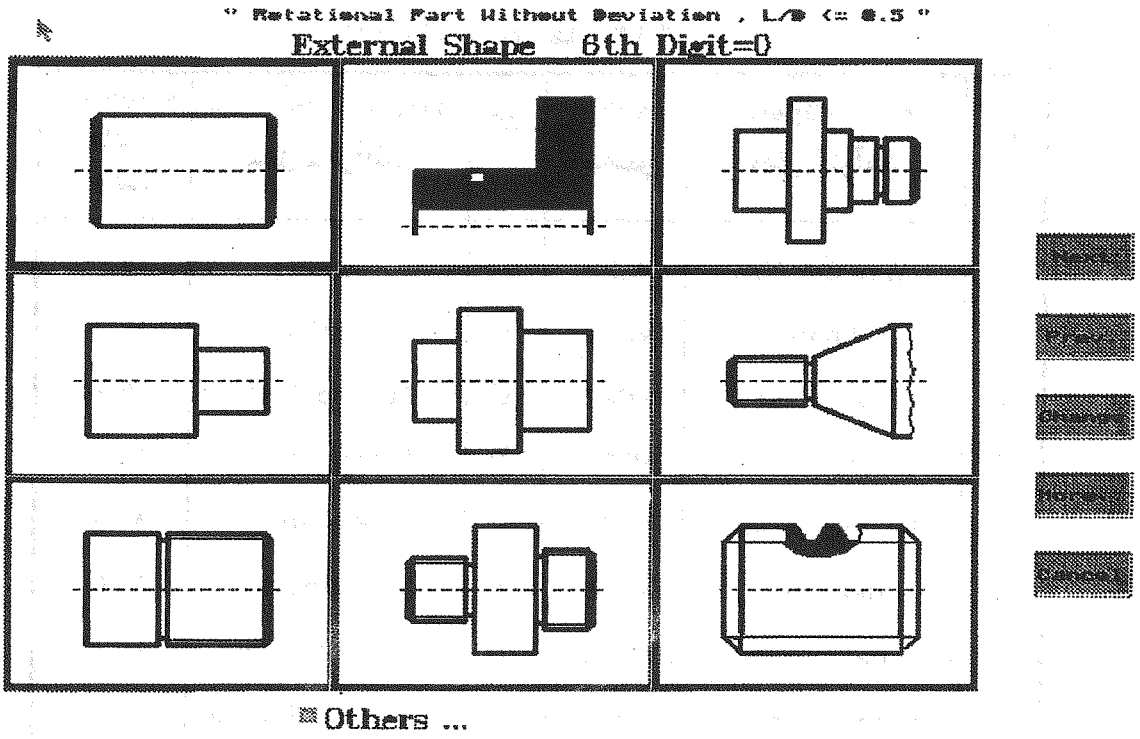
گروه اصلی قطعه ـ فرم مواد اولیه PART CLASS/MATERIAL FORM							
Special		Non. Rotational		Rotational With Dev.		Rotational No Dev.	
قطعات مخصوص		قطعات غیردوار		قطعات دوار ـ با انحراف		قطعات دوار ـ بدون انحراف	
کد	فرم ماده اولیه	کد	فرم ماده اولیه	کد	فرم ماده اولیه	کد	فرم ماده اولیه
W		O	صفحه به ضخامت ti≥	I	میل گرد	A	میل گرد
X		P	صفحه به ضخامت< ti	J	ریختگری شده	B	ریختگری شده
Y		Q	ریختگری شده	K	فورج شده	C	فورج شده
Z		R	میله چند وجهی	L	میله چند وجهی	D	میله چند وجهی
		S	میل گرد	M	لوله ـ بوش	E	لوله ـ بوش
		T	فورج شده	N	صفحه	F	صفحه
		U	جوشکاری شده			G	جوشکاری شده
		V	سایر			H	سایر

شکل (۱ ـ ۳) تقسیم بندی کلی و فرم مواد اولیه

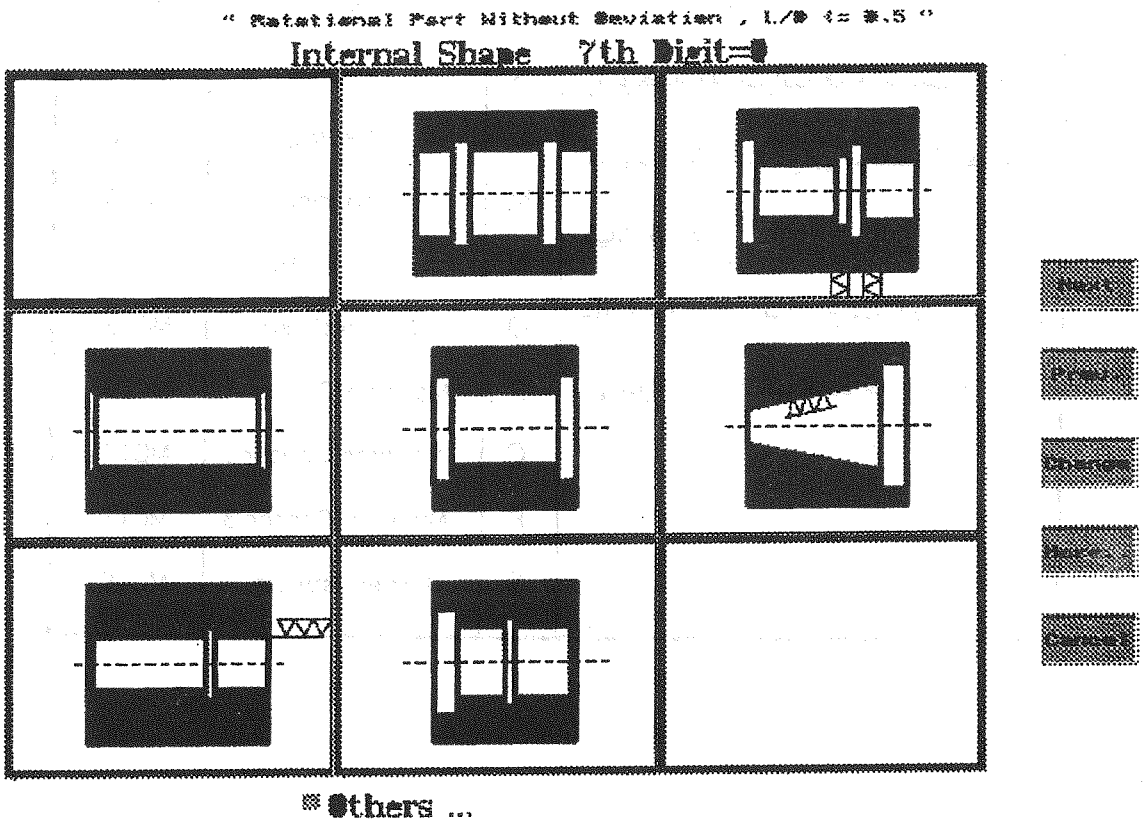
Surface	Tolerance	Code
	0.3 < T	0
∇	0.15 < T < 0.3	1
∇	0.10 < T < 0.15	2
∇∇	0.075 < T < 0.10	3
∇∇	0.050 < T < 0.075	4
∇∇ or ∇∇∇	0.025 < T < 0.050	5
∇∇∇	0.010 < T < 0.025	6
∇∇∇	0.005 < T < 0.010	7
∇∇∇∇	T < 0.005	8
Others ...	Others	9

شکل (۲ ـ ۳) تولرانسها و صافی سطح

شکل (۳) نمونه هایی از جداول طراحی شده جهت کدگذاری در سیستم ACCS



شکل (۳-۳) شکل خارجی قطعه



شکل (۳-۴) شکل داخلی قطعه

کد فرآیندی ستون های ۱۳ الی ۱۶					
Machin ماشین (کد)	Process_ Operation عمل ـ فرآیند	کد	Machin ماشین	Process-Operatin عمل ـ فرآیند	کد
MC1	Sawing	A	MC20	Wire Cut EDM	T
MC2	Boring	B	MC21	Spark	U
MC3	Turning. Lathe	C	MC22	Laser Cut	V
MC4	Turning. turret	D	MC23	Press	W
MC5	Milling I	E	MC24	Heating (Exion)	X
MC6	Milling II	F	MC25	Heat treat	Y
MC7	Grinding Cylind.	G	MC26	Hardenning	Z
MC8	Grinding. Surface	H			
MC9	Grinding. Internal	I			
MC10	Grinding. teeth	J			
MC11	Hobbing	K			
MC12	Shaping	L			
MC13	Deburing	M			
MC14	Drilling Mc	N			
MC15	Drilling2 Mc	O			
MC16	Machine Center 1	P			
MC17	Machine Center2	Q			
MC18	Machine Center 3	R			
MC19	Other, special	S			

* این جدول برای هر کاربرد و باتوجه به فرآیندها و ماشین های مورد استفاده برای تولید، لازم است تهیه گردد.

نام فرآیند یا عمل و یا کد ماشین می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

شکل (۵ ـ ۳) کد فرآیندی / عملیاتی

گروهبندی

جهت گروهبندی قطعات تاکنون روش‌های متعددی ارائه گردیده که مروری براین روش‌ها در منابع مختلف از جمله [۱۰] ارائه شده است. در سیستم ACCS جهت گروهبندی قطعات از تشابهات کد قطعات استفاده شده و برای این منظور روشی تدوین گردیده که در زیر تشریح می‌شود.

روش تدوین یافته براساس «تحلیل خوشه‌ای با اتصال یگانه»(Single Linkage Cluster Analysis-SLC) می‌باشد. در اینجا ابتدا روش SLC به اختصار مطرح می‌شود و سپس روش گروهبندی به کار رفته در ACCS تشریح خواهد شد.

تحلیل خوشه‌ای با اتصال یگانه - SLC

تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) به عنوان یک روش مؤثر برای تحلیل و طبقه‌بندی اطلاعات کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف علوم و مهندسی پیدا کرده است. توضیح کامل این روش و کاربرد آن در منابع مختلف از جمله Everitt [13] -Anderberg [12] آمده است. همچنین کاربرد این روش در گروهبندی قطعه ـ ماشین اولین بار توسط **McAlley [14]** مطرح و پس از آن کاربردهای زیادی گزارش شده است.

اساس تحلیل خوشه‌ای بر این است که N عنصر هر یک در رابطه با P خصوصیت اندازه‌گیری شده و اندازه‌ها به صورت ماتریس تنظیم می‌گردد

$$X = \begin{vmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \\ X_{N1} & X_{N2} & \cdots & X_{Np} \end{vmatrix}$$

در ماتریس فوق X_{ij} امتیاز عنصر i ام را برای خصوصیت j ام نشان می‌دهد.

سپس با استفاده از یکی از تعاریف تشابه (که توضیح داده خواهد شد)، ماتریس تشابه حاصل می‌شود.

$$S = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{22} & S_{22} & \cdots & S_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & \cdots & S_{NN} \end{vmatrix}$$

که S_{kl} میزان تشابه و یا ضریب تشابه دو قطعه k و l می‌باشد.

در تحلیل خوشه‌ای با اتصال یگانه (SLC) ابتدا کلیه قطعات به عنوان عناصر منفرد منظور می‌شوند و سپس با استفاده از دو مرحله زیر گروهبندی انجام می‌گیرد.

مرحله اول: با استفاده از ماتریس تشابه دو عنصر (گروه) با بیشترین تشابه را پیدا کنید. اگر این دو عنصر را P و q بنامیم، ضریب تشابه آنها S_{pq} خواهد بود.

مرحله دوم: با ادغام دو عنصر P و q عنصر و یا گروه جدید حاصل میشود که "t" می‌نامیم و این عنصر جدید جایگزین دو عنصر قبلی در ماتریس عناصر می‌شود و تعداد عناصر از N به N-1 تبدیل می‌شود. سپس ضریب تشابه هر یک از عناصر نسبت به عنصر (گروه) جدید محاسبه شده و ماتریس تشابه اصلاح می‌گردد.

نحوه محاسبه ضریب تشابه در SLC

با داشتن ضریب تشابه هر یک از عناصر منفرد نسبت به هم جهت تعیین ضرایب تشابه یک عنصر با یک گروه، ضریب تشابه عنصر مورد نظر را با هر یک از عناصر گروه تعیین و بزرگترین تشابه موجود معیار تعیین ضریب تشابه قرار می‌گیرد. یعنی ضریب تشابه قطعه r با گروه t (متشکل از P و q) عبارتست از:

$$S_{tr} = \max (S_{pr}, S_{qr})$$

همین طور در تعیین ضریب تشابه دو گروه نسبت به هم، مثلاً اگر u گروهی متشکل از m و n باشد داریم:

$$S_{ut} = \max (S_{mp}, S_{mq}, S_{np}, S_{nq})$$

جهت محاسبه ضریب تشابه دو قطعه باهم، ابتدا لازم است، برای هر رقم از کد ضریب تشابه ارزش‌های مختلف رقم مزبور مشخص شود. در سیستم ACCS برای این منظور جدول‌هایی تنظیم گردیده که هر جدول ضریب تشابه دو بدوی ارزش‌های یک رقم کد را مشخص می‌کند. به عنوان مثال جهت رقم ششم کد یعنی فرم خارجی قطعه که مقادیر 9-0 به آن تعلق می‌گیرد، ضرایب تشابه در جدول (۲) ارائه شده است. این جدول با در نظر گرفتن فرم هندسی، تشابه ابزار و نحوه ماشینکاری تدوین یافته است. جهت سایر ارقام کد نیز جدول‌های مشابهی تدوین و در سیستم گروهبندی منظور شده است.

با در دست داشتن جدول های مذکور، ضریب تشابه قطعات به صورت معدلی از ضرایب تشابه ارقام کد دو قطعه محاسبه می‌شود. یعنی:

$$S_{pq} = \frac{\sum (S_{pqk})}{N}$$

K = 1, 2, ..., N

S_{pq}= ضریب تشابه دو قطعه p و q

S_{pqk} = ضریب تشابه دو قطعه p و q در رقم k ام کد

N = تعداد ارقام کد (و یا تعداد ارقامی که در گروهبندی منظور می‌شوند).

جدول (۲) ضرایب تشابه برای رقم ششم کد

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	1									
1	.75	1								
2	.5	.75	1							
3	.5	.75	.75	1						
4	.5	.75	.75	.75	1					
5	.25	0.5	.75	0.5	0.5	1				
6	.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1			
7	.25	.5	.5	.5	.5	.5	.75	1		
8	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	1	
9	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	1

روش گروهبندی در ACCS

در این روش ابتدا با استفاده از قدم صفر سیستم آماده به کارگیری روش SLC می‌شود و سپس در قدم‌های ۱ و ۲ و ۳ روش SLC انجام می‌گیرد.

قدم صفر: در این قدم ابتدا کلیه قطعات در ماتریس منظور و به هر قطعه (قطعه P) بردار کد (Xp) تخصیص داده می‌شود. ضریب تشابه قطعات به صورت معدلی از ضرایب تشابه دو قطعه برای ارقام کد محاسبه می‌شود.

قدم اول: در اینجا مرحله اول روش SLC انجام می‌گیرد. در ضمن حد مرزی گروهبندی تعریف می‌شود بدین صورت که اگر $S_{pq} > \lambda$ باشد، گروهبندی انجام و در غیر این صورت عناصر مزبور در یک گروه قرار نمی‌گیرند.

قدم دوم: مرحله دوم روش SLC انجام می‌گیرد. در ضمن در الگوریتم حاضر به منظور جلوگیری از پدیده زنجیره شدن (که از مشکلات معمول در SLC می‌باشد). علاوه بر حد مرزی λ، حد دیگری (γ) تعریف شده که مینیمم ضریب تشابه مجاز بین کلیه عناصر یک گروه را مشخص می‌کند. لذا جهت گروهبندی دو عنصر و یا گروه این شرط نیز بایستی تأمین گردد.

باتوجه به وضعیت جدید ماتریس‌های قطعات و ضریب تشابه قدم‌های ۱ و ۲ تکرار می‌شود، تا جایی که یکی از شرایط خروج حاصل شود. قطعاتی که شرایط ورود به یکی از گروه‌ها را دارا نمی‌باشند به صورت قطعات مجزا باقی می‌مانند.

شرایط خروج

الگوریتم در هر یک از حالات زیر به گروهبندی خاتمه می‌دهد:

۱) کلیه قطعات گروهبندی شده باشند.

۲) باتوجه به شرط λ و یا شرط γ ادامه گروهبندی مقدور نباشد.

سیستم نرم‌افزاری ACCS

سیستم نرم‌افزاری ACCS همانطوری که در شکل (۲) نشان داده شده مشتمل بر بخش‌هایی جهت کدگذاری و طبقه‌بندی قطعات، گروهبندی و تعیین خانواده قطعات، شناسایی خانواده قطعات و بعضی بخش‌های پشتیبانی کننده می‌باشد.

جهت کدگذاری از ساختار کد ACCS که قبلاً تشریح گردید استفاده می‌شود. انجام کدگذاری برای هر قطعه به صورت تعاملی (Interactive) بوده و با انتخاب گزینه مربوط از منوی اصلی آغاز می‌شود. به دنبال آن در صفحه بعد با انتخاب گروه اصلی قطعات (دوار بدون انحراف)، سیستم ۱۴ صفحه بعد را به صورت متوالی جهت انتخاب حالت مورد نظر برای هر رقم کد نمایش می‌دهد. با حرکت بر روی ارقام مختلف کد و انتخاب گزینه مورد نظر انتقال از یک صفحه به صفحه بعدی به طور متوالی انجام و در نهایت کدگذاری تکمیل می‌شود.

نمونه هایی از صفحات مختلف مربوط به ارزش های ارقام کد در شکل ۳ نشان داده شده است.

در سیستم ACCS صفحاتی که بر روی پایانه جهت ورود و تعیین کد قطعه مورد استفاده قرار می گیرند به دو صورت تعریف شده اند: در محیط معمولی (Text Mode) و محیط گرافیکی (Graphic Mode). برای رقم های از ۶ الی ۱۰ از محیط گرافیکی و برای بقیه رقم ها از محیط معمولی استفاده شده است.

در صفحه اصلی (منوی اصلی) چنانچه گزینه «گروهبندی و تعیین خانواده قطعه» انتخاب شود، سیستم باتوجه به کد قطعات که قبلاً در سیستم ذخیره شده است، و با استفاده از روش گروهبندی (که قبلاً تشریح شد)، قطعات را گروهبندی مینماید. بدین طریق خانواده قطعات مشخص می شود.

در گزینه «شناسایی خانواده قطعه» کاربر می تواند با وارد کردن شماره نقشه هر قطعه، خانواده قطعه مربوط، به اضافه قطعات نزدیک به آن قطعه را (که در محدوده مرزی تشابه قرار دارند) شناسایی کند.

گزینه مدیریت سیستم تغییر حدود مرزی λ و γ را مقدور می سازد. کاربر می تواند با تغییر مقادیر این پارامترها حالت های مختلف گروهبندی را مقایسه و در نهایت مناسبترین را انتخاب نماید. گزینه مرور و اصلاح کد هر گونه تجدیدنظر در اطلاعات ورودی برای قطعات را مقدور می سازد.

در سیستم ACCS علاوه بر امکانات فوق، یک ویرایشگر گرافیکی نیز منظور شده است و بدین طریق کاربر می تواند برحسب نیاز فرم ها و شکل های تعریف شده جهت ارقام کد را اصلاح نماید. این گزینه به طور عمده در مرحله تطبیق سیستم به یک واحد صنعتی خاص قابل استفاده است.

بررسی عملکرد سیستم ACCS

عملکرد سیستم ACCS در چند مرحله و با دهها قطعه صنعتی مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج منطقی و مطابق با اهداف سیستم بوده است. در اینجا نتیجه یک آزمایش (آزمایش شماره ۱)، که در آن ۸ قطعه توسط سیستم کدگذاری گروهبندی شده است بررسی می شود. بعضی مشخصات عمده این قطعات در جدول ۳ ارائه گردیده همچنین نقشه های قطعات در شکل ۴ نشان داده شده است.

ابتدا بازاء $\lambda = 0.8$ و $\gamma = 0.5$ گروهبندی را انجام و نتیجه در جدول (۴) ارائه شده است. ملاحظه می شود ابتدا دو قطعه A1007 و A1008 که بالاترین تشابه یعنی 0.93 را دارا هستند گروهبندی می شوند. سپس گروه شماره ۲ با ضریب تشابه 0.89 و گروه شماره ۳ با ضریب تشابه 0.88 تشکیل می شود. قطعات شماره A1101 و F1010 به جهت اینکه با هیچ قطعه دیگری دارای ضریب تشابه، بزرگتر یا مساوی 0.8 نمی باشند مجزا می مانند. جهت بررسی بیشتر نتیجه گروهبندی به جدول ضریب تشابه (جدول شماره ۵) که توسط سیستم ارائه شده می توان مراجعه نمود. به عنوان مثال ملاحظه می شود قطعه شماره A1008 (که با شماره 7 در جدول ضریب تشابه مشخص شده) با خودش دارای ضریب تشابه 1.00 بوده و با قطعه A1007 (شماره 5 در جدول) ضریب تشابه 0.93 و با بقیه قطعات دارای ضریب تشابه کمتر می باشد. لذا گروهبندی از این بعد نیز منطقی می باشد. همچنین قطعات A1101 و F1010 ملاحظه می شود و با هیچ قطعه ای قابل گروهبندی بازاء $\lambda = 0.8$ نمی باشند.

حال گروهبندی را بازاء $\lambda = 0.7$ در نظر می گیریم که نتیجه آن در جدول (۶) نشان داده شده است. ملاحظه می شود قطعه A1101 که با A1003 دارای ضریب تشابه 0.73 می باشد، در گروه شماره ۲ قرار می گیرد. البته قطعه F1010 هنوز مجزا می باشد.

با کاهش مقدار λ به 0.6 هـ انطوری که در جدول (۷) نشان داده شده قطعه F1010 که با A1007 دارای ضریب تشابه 0.62 می باشد، در گروه شماره ۱ قرار می گیرد.

در ضمن توجه شود که در گروهبندی های فوق شرط $\lambda = 0.5$ حداقل ضریب تشابه بین قطعات هرگروه نیز رعایت شده است. البته حد λ بایستی طوری انتخاب شود که $\lambda > \delta$ باشد.

همانطوری که قبلاً اشاره شد، سیستم قابلیت مشخص نمودن خانواده قطعه و نیز قطعات نزدیک به هر قطعه را دارد. به عنوان مثال جدول شماره (۸) خانواده قطعه (قطعات نزدیک) را برای تعدادی از قطعات نشان می دهد که نتایج نشان داده شده در این جداول با نتایج گروهبندی مطابقت نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری

کدگذاری و طبقه بندی قطعات یکی از روش های مؤثر و مناسب جهت گروهبندی قطعات به شمار می رود. سیستم های متعددی برای کدگذاری و طبقه بندی قطعات تاکنون طراحی و گزارش شده که بعضی کاربرد صنعتی

به نسبت وسیعی نیز پیدا نموده است. این سیستم به لحاظ قابلیت ارائه ویژگی های طرح و ساخت قطعات و نیز معیارهایی از قبیل قابلیت ارائه خصوصیات کاربردی قطعات، مواد اولیه و آلیاژ قطعه، سهولت تطبیق با نیاز صنعت و انعطاف پذیری در مقابل تغییر طرح و ساخت دارای تفاوت هایی می باشند، در کار حاضر ضمن مرور مقایسه ای بر تعدادی از سیستم های موجود و بررسی قابلیت ها و محدودیت های هریک، بعضی از سیستم با دقت بیشتری مطالعه شد. در این میان از اصول به کار رفته در دو سیستم OPIT2 و KK3 در ایجاد سیستم جدید بهره گیری به عمل آمد.

سیستم کدگذاری و طبقه بندی ارائه شده در مقاله به نام ACCS نامگذاری شده و جهت قطعات دوار (بدون انحراف) قابل تولید با عملیات ماشینکاری طراحی شده است. این سیستم علاوه بر اطلاعات فرم هندسی، دارای قابلیت ارائه ویژگی های عملکردی قطعه جنس واطلاعات ساخت و تولرانس ها می باشد. ساختار کد این سیستم مشتمل بر ۱۴ رقم در سه گروه کد پایه، کد فرم هندسی، و کد عملیاتی می باشد. کد ارائه شده ترکیبی از حروف و اعداد است. چنین ترکیبی اولاً ارائه اطلاعات را به صورت فشرده تر مقدور می سازد، ثانیاً موجب سهولت استفاده از کد توسط کاربر می باشد.

سیستم ACCS در کل دارای قابلیت کدگذاری قطعات، گروهبندی قطعات، شناسایی خانواده قطعات، ارائه ماتریس تشابه می باشد. علاوه بر این مرور و اصلاح کد و حذف قطعه ای از لیست، مدیریت سیستم، تغییر پارامترهای گروهبندی و چاپ گزارش ها را مقدور می سازد.

جهت گروهبندی از روش Single - Linkage Cluster-ing - SLC استفاده شده است. در این سیستم حد λ جهت تأمین حداقل ضریب تشابه هر قطعه با رأس گروه مربوط و حد γ برای کنترل حداقل ضریب تشابه موجود بین هر دو قطعه از یک خانواده استفاده گردیده است. بدین طریق کاربر می تواند با انتخاب مقادیر مختلف حالت های گروهبندی را بررسی و بهترین حالت را انتخاب نماید.

جدول (۳) مشخصات قطعات منظور شده در آزمایش (۱)

ردیف	شماره نقشه قطعه	فرم ماده اولیه	جنس و آلیاژ مواد	ماشینهای (عملیات) اصلی مربوط به تولید قطعه				کد قطعه
				(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	
۱	A11001	بوش	فولاد کربن داده شده	MC1	L2	ML1	DB	EVH01-12304-PCEA
۲	A1003	ریختگی	فولاد ریختگی	L1	L2	ML1	PL	BVE02-02304-CCEM
۳	D1004	میل گرد	برنج	P-Fg	L1	L1	ML1	AZQ20-99194-WCCE
۴	A1006	ریختگی	فولاد ریختگی	TL1	TI1	SH1	DB	BVE02-12004-DDEM
۵	A1007	میله شش وجهی	برنج	TL1	TL1	ML1	DB	DVQ01-12004-DDEM
۶	A1008	میله شش وجهی	برنج	TL1	TL1	ML1	DB	DVQ01-1203-DDEM
۷	D1009	میل گرد	برنج	P-Fg	TL1	TL1	ML1	AYQ21-99194-WDDE
۸	F1010	میل گرد	فولاد آلیاژی (کرم، نیکل)	TL1	TL1	ML1	GR	AQM11-77905-DDEI

L1 ماشین تراش معمولی (شماره ۱) ، SH1: ماشین صفحه تراش (شماره ۱)، GR: ماشین سنگ زنی، MC1: مرکز ماشین کاری (شماره ۱)،

PL: پرداخت کاری، TL1: ماشین تراش با ابزار گیر چرخان (شماره ۱)، ML1: ماشین فرز (شماره ۱)،

جدول (۴) گروهبندی قطعات بازاء $\lambda = 0.8$

گروه های قطعات					
0.93	(5)	A1007	Nut-G	DVQ0112004-DDEM	1
0.93	(7)	A1008	Nut-sg	DVQ0112103-DDCM	1
0.89	(2)	A1003	Nut-ch	BVE0202304-CCEM	2
0.89	(4)	A1006	shaft-nut	BVE0212404-DDLM	2
0.88	(3)	D1004	Nut (seebak)	AZQ2099194-WCCE	3
0.88	(8)	D1009	Nut - sibak2	AYQ2199194-WDDE	3
-	(1)	A11001	Pinion Nut	EVH0112304-PCEA	4
-	(6)	F1010	Knitting-part	AQM1177905-DDEI	5

جدول (۵) ضریب تشابه قطعات

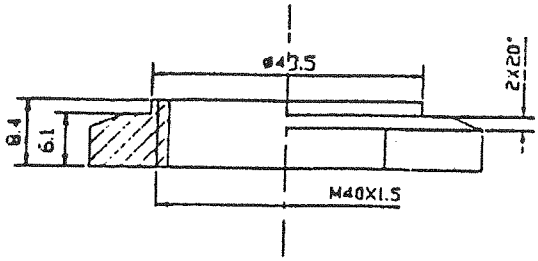
قطعه	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.00	0.73	0.43	0.70	0.71	0.50	0.71	0.43
2	0.73	1.00	0.45	0.89	0.79	0.55	0.77	0.43
3	0.43	0.45	1.00	0.41	0.52	0.43	0.54	0.88
4	0.70	0.89	0.41	1.00	0.80	0.61	0.79	0.46
5	0.71	0.79	0.52	0.80	1.00	0.62	0.93	0.57
6	0.50	0.55	0.43	0.61	0.62	1.00	0.57	0.48
7	0.71	0.77	0.54	0.79	0.93	0.57	1.00	0.55
8	0.43	0.43	0.88	0.46	0.57	0.48	0.55	1.00

جدول (۶) گروهبندی قطعات بازاء $\lambda = 0.7$

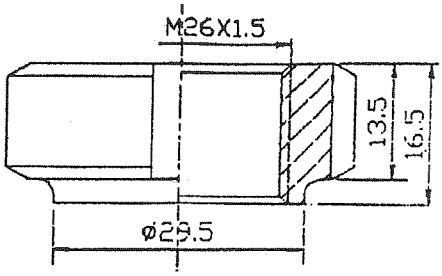
گروه های قطعات					
0.93	(5)	A1007	Nut-G	DVQ0112004-DDEM	1
0.93	(7)	A1008	Nut-sg	DVQ0112103-DDCM	1
0.89	(2)	A1003	Nut-ch	BVE0202304-CCEM	2
0.89	(4)	A1006	shaft-nut	BVE0212404-DDLM	2
0.73	(1)	A11001	Pinion Nut	EVH0112304-PCEA	2
0.88	(3)	D1004	Nut - (seebak)	AZQ2099194-WCCE	3
0.88	(8)	D1009	Nut-sibak2	AYQ2199194-WDDE	3
-	(6)	F1010	knitting-part	AQM1177905-DDEI	4

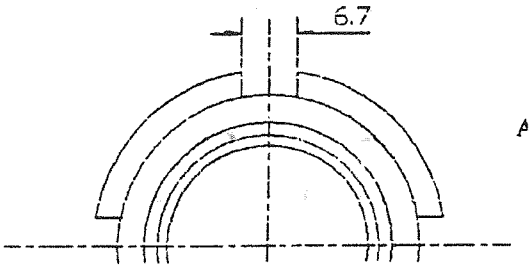
جدول (۷) گروهبندی قطعات بازاء $\lambda = 0.6$

گروه های قطعات					
0.93	(5)	A1007	Nut-G	DVQ0112004-DDEM	1
0.93	(7)	A1008	Nut-sg	DVQ0112103-DDCM	1
0.62	(6)	F1010	Knitting-part	AQM1177905-DDEI	1
0.89	(2)	A1003	Nut-ch	BVE0202304-CCEM	2
0.89	(4)	A1006	shaft-nut	BVE0212404-DDLM	2
0.73	(1)	A11001	Pinion Nut	EVH0112304-PCEA	2
0.88	(3)	D1004	Nut - (seebak)	AZQ2099194-WCCE	3
0.88	(8)	D1009	Nut-sibak2	AYQ2199194-WDDE	3

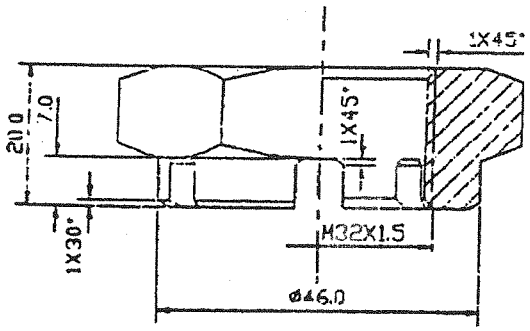


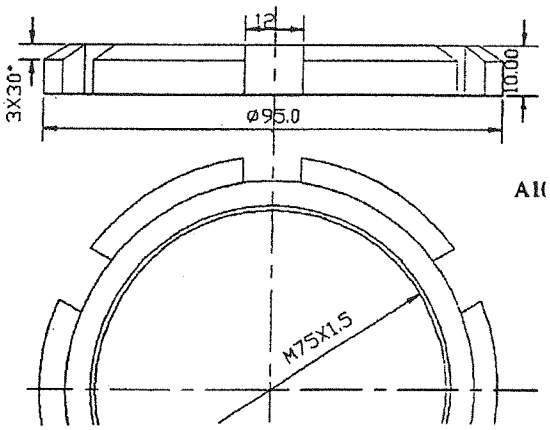
قطعه به شماره نقشه A1006



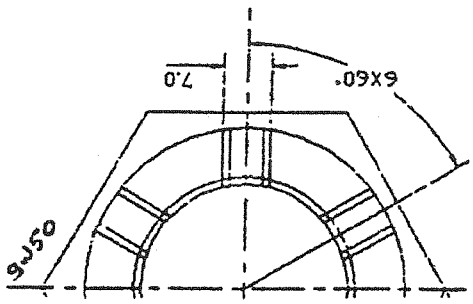


قطعه به شماره نقشه A11001

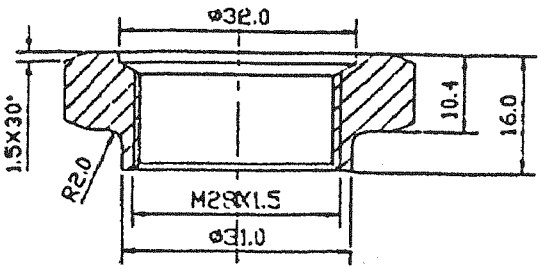




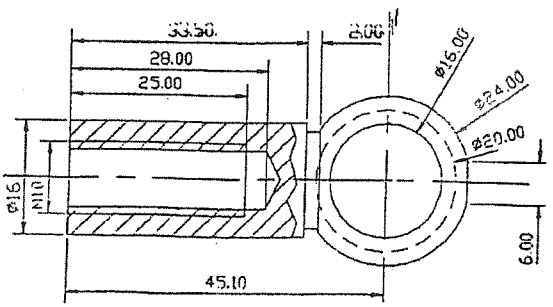
قطعه به شماره نقشه A1003



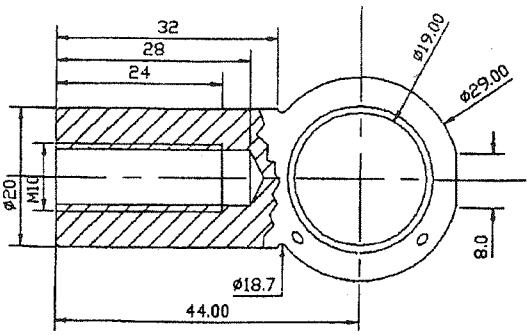
قطعه به شماره نقشه A1007



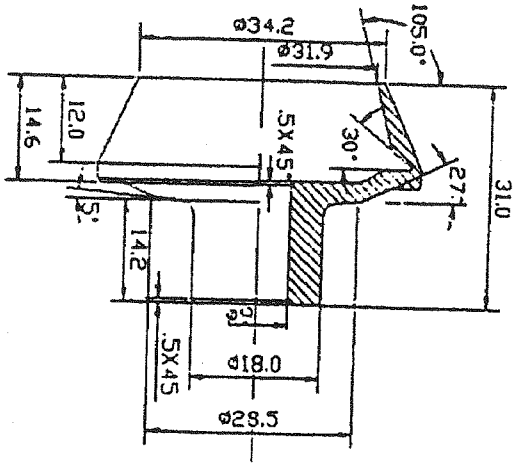
قطعه به شماره نقشه A1008



قطعه به شماره نقشه D1004



قطعه به شماره نقشه D1009



قطعه به شماره نقشه F1010

سیستم طی آزمایش های مختلف جهت کدگذاری و گروهبندی قطعات صنعتی مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج رضایت بخشی به دست آمده است که در مقاله حاضر نتایج یکی از آزمایش ها بحث گردید، همانطوری که از این آزمایش مشخص می باشد، سیستم علاوه بر ویژگی های طرح هندسی قطعه، عملیات اصلی ساخت قطعه و نیز بعضی خصوصیات عمومی قطعه از قبیل عملکرد قطعه، جنس و نوع ماده اولیه را در کد منظور می نماید. لذا قطعات انتخاب شده در یک گروه مجموعه ای از تشابهات خصوصیات عمومی قطعه، خصوصیات طرح و خصوصیات ساخت را دارا هستند.

در سیستم ACCS با بکارگیری پارامتر γ تشابه کلیه قطعات یک گروه، علاوه بر کنترل تشابه هر قطعه رأس گروه با همدیگر کنترل می شود. بدین طریق گروهبندی را می توان با میانگین تشابه بالاتری انجام داد. همچنین از پدیده Chaining در گروهبندی تا حد زیادی جلوگیری می شود . البته لازم به توضیح است که روش SLC همواره جواب بهینه را تضمین نمی کند بلکه جواب نزدیک به بهینه را می دهد.

باتوجه به اینکه طراحی سیستم ACCS به صورت مادیولی می باشد، می توان برای گروهبندی، روش های مختلفی را در نظر گرفت و به عنوان مثال روش هایی از قبیل Complete Linkage, Average - Linkage به طوری که در منابع مربوط [۱۲ و ۱۳] آمده، می توان استفاده نمود. همچنین می توان از روش های نوین از قبیل Multi-Objective Clustering, [16 , 17] Fuzzy Mathematic و Neural Network Systems [۱۸] بهره گرفت.

سیستم ACCS همانطوری که ملاحظه شد قادر است لیست قطعات هم خانواده و قطعات نزدیک به هر قطعه، منتخب را ارائه نماید. سیستم در مجموع جهت طراحی سیستم تولید سلولی قابل استفاده می باشد. همچنین کاربرد مهم این سیستم این است که می تواند در ارتباط با سیستم برنامه ریزی فرآیند به صورت اتوماتیک (سیستم CAPP از نوع فراخوانی) باشد. برای این منظور به سهولت می توان سیستم ACCS را به طور مرتبط با سیستم CAPP به کار گرفت. سیستم ACCS در حال حاضر به صورت یک سیستم عمومی طراحی شده و تعاریف به کار رفته جهت ارقام کد حالت کلی و عمومی دارد. لذا جهت تطبیق به هر صنعت خاص لازم است بعضی تعاریف تطبیق داده شود. ضمن اینکه در سیستم امکان تطبیق و تغییر در تعاریف مورد نظر پیش بینی شده و می توان جداول را تغییر داد. در توسعه های آتی سیستم ممکن است از روش Knowledge Based Systems (سیستم های مبتنی بر دانش) استفاده نمود که این روش تطبیق با نیازهای کاربردی را به طریق کاملاً اصولی مقدور می سازد.

تشکر

طراحی سیستم ACCS و مطالعات مربوط، با تصویب و حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام یافته، و در این فرصت از حمایت های به عمل آمده تشکر می شود. همچنین از همکاران طرح از جمله آقای مهندس موقتیان که در برنامه نویسی سیستم ACCS و نیز آقای علی باباپور که در قسمت دیگری از طرح همکاری نموده اند قدردانی می شود.

نزدیکترین به A1003

شماره نقشه	ضریب شباهت
A1006	0.893
A1007	0.786
A1008	0.768
A11001	0.732

نزدیکترین به A1007

شماره نقشه	ضریب شباهت
A1008	0.929
A1006	0.804
A1003	0.786
A11001	0.714

نزدیکترین به D1004

شماره نقشه	ضریب شباهت
D1009	0.875
A1008	0.536
A1007	0.518
A1003	0.446

جدول (۸) قطعات نزدیک (یا هم خانواده) با هر یک از قطعات انتخاب شده (با شماره نقشه های D1004, A1003, A1007)

مراجع

[1] Gallagher, C.C. and Knight, W. A. 1973, Group Technology, London, Butterworth.

[2] Groover, M. P. 1987, Automation, Production Systems and Computer Intergrated Manufacturing, New Jersey, Prentice Hall.

[3] Hyer, N. L. (1987), Capabilities of Group Technology, Published by SME/Dearborn, Michigan.

[4] Black, J. T. 1991, The Design of the Factory with a furure, McGrowHill.

[5] Chang. T.C. et al. / 1991/Computer Aided Manufacturing New Jersey, Prentic Hall.

[۶] م . معطر حسینی، س منصور، «گزارش طرح تحقیقاتی طراحی و ایجاد سیستم کامپیوتری کلاسه بندی و کدگذاری قطعات صنعتی دوار - بر مبنای تکنولوژی گروهی» دانشگاه صنعتی امیرکبیر - ، تهران، خرداد ماه ۱۳۷۵ .

[7] Opitz, H. 1970 A Classification System to Describe workpieces, Pergamon Peress, Oxford.

[8] Houtzeel, A., 1975, "MICLASS, a Classification system based on Group Technology", SME Technical paper MS7-721, SME, Dearborn, Michigan.

[9] D. M. Love, 1985, The Design of a computerised Component Coding and Classification System for production Application, Department of Mech & Prod. Aston University, Birmingham, UK.

[10] Kusiak, A., 1990, Intelligent Manufacturing Systems, New Jersey Prentice Hall.

[11] Ivanov, E.K (1968), Group Production Organisation and Technology, Business Publications.

[12] Anderberg, M. R. (1973), Cluster Analysis for Applications, New hork, Academic Press.

[13] Everitt, B. (1977), Cluster Analysis, London , Heinemann.

[14] McAuley, J. "Machine grouping for efficient production", Production Engineer, 51, 53-57.

[15] Chingping Han, Inyong Ham, Multiobjective cluster Analysis for Part Family Formation, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 5/No. 4.

[16] Haiping, Xu. et al. 1989, Part Family Formation for GT Application Based on Fuzzy Mathematics, Int. J. Prod. Res., Vol. 27, No. 9, 1637-1651.

[17] Jiankang, L., et al., 1988, Fuzzy Cluster Analysis and Fuzzy rmation of Part Families (NAMRC), Society of Manufacturing Engineering, 558563.

[18] Shashidhar, K. and Nallan C. Suresh, A Neural Network System for Shape-Based Classification and Coding of Rotational Parts, Int. J. of Prod. Res. Vol. 29, No. 9, 1771-1784.

[19] Burbidge, J.L., 1975. The Introduction of Group Technology, London, Heinemann.