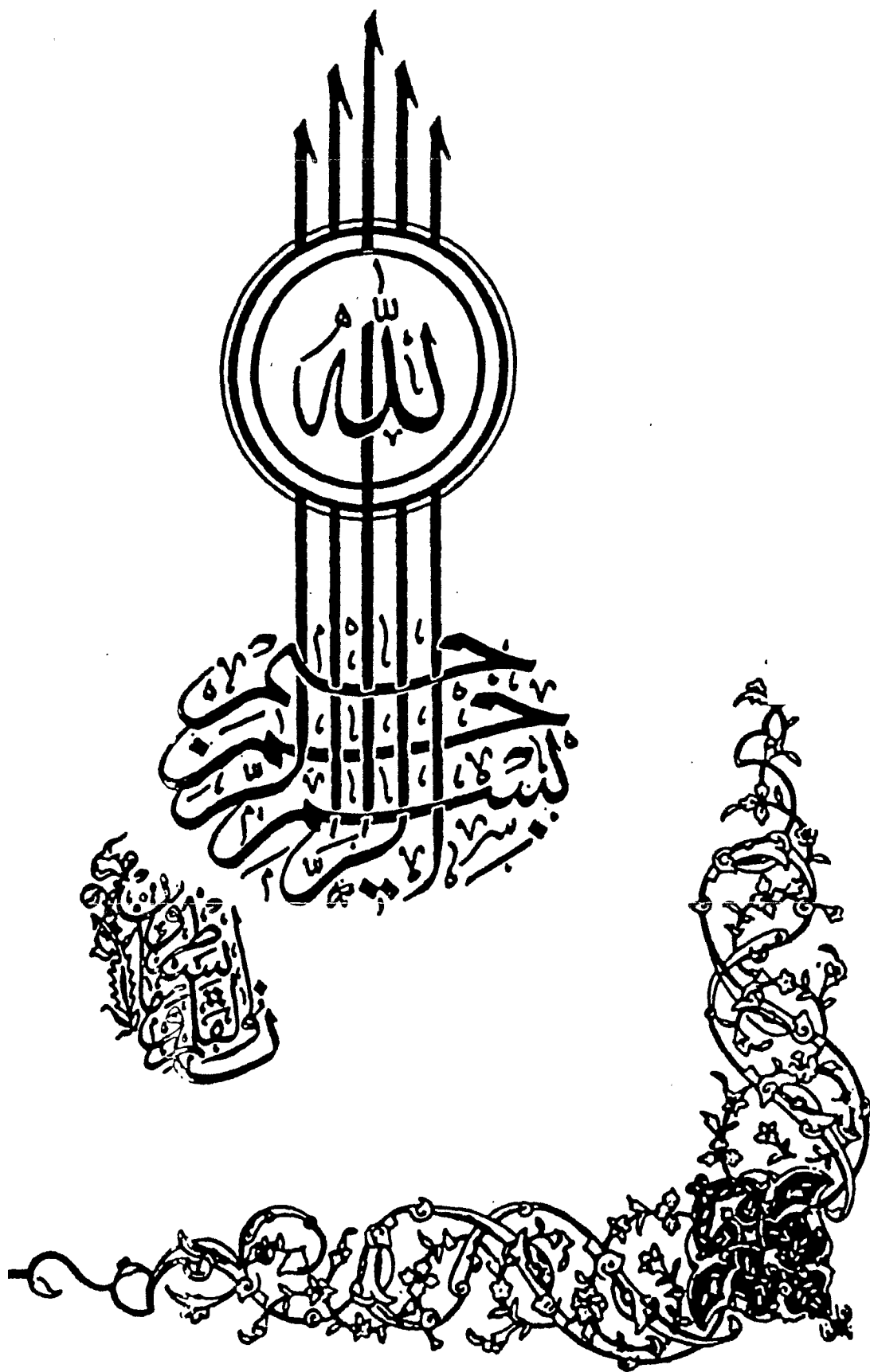






دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک - گروه ساخت و تولید

فن آوری ماشینکاری شیمیایی و فتوشیمیایی برای ساخت قطعات حساس مکانیکی

۱۳۸۲ / ۷ / ۱۰

پایان نامه کارشناسی ارشد ساخت و تولید

احسان ایمانیان

مرکز اطلاعات مدرک علمی ایران
تیمسپار

استاد راهنما

دکتر علیرضا فدایی تهرانی

۴۸۵۷۵

۱۳۸۱



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک - گروه ساخت و تولید

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک ساخت و تولید آقای احسان ایمانیان
تحت عنوان

فن آوری ماشینکاری شیمیایی و فتوشیمیایی
برای ساخت قطعات حساس مکانیکی

در تاریخ ۱۳۸۱/۸/۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

دکتر علیرضا فدایی تهرانی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر جواد زرکوب

۲- استاد مشاور پایان نامه

دکتر محمود فرزین

۳- استاد مشاور پایان نامه

دکتر محمود سلیمی

۴- استاد داور

دکتر حسن خادمی زاده

۵- استاد داور

دکتر احمد رضا پیشه‌ور اصفهانی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

تشکر و قدردانی:

سپاس خدای را که حمد مختص ذات اوست. خدا را شکرگزار هستم که به من توفیق داد تا این دوره را به پایان برسانم. بی شک گذارندن این دوره بدون همکاری و همراهی خانواده، اساتید، دوستان و همکاران ارجمندم امکانپذیر نبود لذا از خداوند متعال موفقیت و بهروزی این عزیزان را خواستارم. لازم می‌دانم از زحمات بی دریغ پدر و مادر و خانواده عزیزم که در دوران تحصیل یار و مشوق بنده بوده‌اند و راه را در این راه هموار نموده‌اند تشکر و قدردانی کنم.

معلمان، دبیران و اساتید تمام دوران تحصیلاتم حقی بزرگ بر من دارند که تا پایان عمر مرا وام دار این عزیزان می‌کند لذا از تمام عزیزانی که در طول این دوران از محضرشان بهره‌مند شده‌ام سپاسگزاری می‌کنم.

از استاد و برادر بزرگوارم، جناب آقای دکتر علیرضا فدایی تهرانی که با رهنمودهایشان نه تنها در طول انجام پایان نامه، بلکه در تمام دوره همراه بنده بوده‌اند قدردانی می‌کنم. همچنین از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید شمس الدین مهاجرزاده، دکتر جواد زرکوب و دکتر محمود فرزین که در طول انجام این پروژه از نعمت مشاوره با ایشان بهره‌مند بوده‌ام تشکر و قدردانی می‌کنم. از اساتید ارجمند، دکتر محمود سلیمی و دکتر حسن خادمی زاده که زحمت داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند متشکرم.

همچنین از اساتید بزرگوار، آقایان دکتر محمود سلیمی، دکتر علیرضا فدایی، دکتر محمود فرزین، دکتر جواد زرکوب، دکتر حسن خادمی زاده و دکتر سید محسن صفوی که در طول این دوره از محضرشان بهره‌مند شده‌ام سپاسگزاری می‌کنم.

لازم میدانم از آقایان بهرام حیدرعلی زاده افشار، علی آذرنوش، محمد علی رسولی، رضابهرام زاده، امین الله محمدی، محمد حسینی، محمود فاضل و بخصوص از برادر عزیزم داوود و سایر دوستانی که در طول انجام پروژه مرا یاری نمودند قدر دانی نمایم.

بر خود لازم می‌دارم از همکاری بی‌دریغ مدیریت واحدهای مختلف مرکز تحقیقات الکترونیک دانشگاه علم و صنعت، آزمایشگاه لایه نازک دانشگاه تهران، آزمایشگاه اندازه‌گیری دقیق صنایع اپتیک اصفهان (صا ایران)، آزمایشگاه SEM, XRD و متالوگرافی و آزمایشگاه سیستمهای اندازه‌گیری دانشگاه صنعتی اصفهان بخصوص از آقایان مهندس جعفر پیشه، مهندس عمادی و مهندس صفری تشکر می‌نمایم.

احسان ایمانیان

مهرماه ۱۳۸۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

با اجازه از

پدر عزیزم،

مادر مهربانم،

خواهران ارجمندم

و برادر بزرگوارم

پایان نامه خود را به آقای

پروفسور فونتانا

پدر علم خردگی، تقدیم می‌کنم.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

شش	فهرست مطالب
۱	چکیده فارسی

فصل اول : پیشگفتار

۲	۱-۱ مقدمه ای بر ماشینکاری شیمیایی
۳	۲-۱ تاریخچه ماشینکاری شیمیایی
۵	۳-۱ کنکاشی بر فعالیت‌های کنونی ماشینکاری شیمیایی
۵	۱-۳-۱ ارائه تکنولوژی تولید قطعات پیچیده به روش اچینگ و فتواچینگ
۵	۲-۳-۱ جایگزینی روش ماشینکاری شیمیایی به جای ماشینکاری‌های سنتی
۵	۳-۳-۱ تلاش در بهبود کیفیت قطعات تولیدی
۵	۴-۳-۱ بکارگیری سایر فرآیندهای تولیدی همراه با ماشینکاری شیمیایی
۶	۵-۳-۱ تلاش در ماشینکاری مواد پیشرفته
۶	۶-۳-۱ اتوماسیون و شبیه سازی فرآیند
۸	۴-۱ مراکز تحقیقاتی ماشینکاری شیمیایی در ایران
۸	۵-۱ لزوم پرداختن به پروژه
۹	۶-۱ آنچه در فصول بعدی به آن پرداخته می‌شود

فصل دوم : ماشینکاری شیمیایی

۱۰	۱-۲ مقدمه: معرفی ماشینکاری شیمیایی
۱۲	۲-۲ روش‌های ماشینکاری شیمیایی بر اساس نوع قطعات تولیدی
۱۲	۱-۲-۲ ماشینکاری یکنواخت
۱۴	۲-۲-۲ ماشینکاری انتخابی قسمت‌هایی از سطح (خوردگی چند مرحله‌ای)
۱۵	۳-۲-۲ بلانکینگ شیمیایی
۱۶	۳-۲ مزایا و معایب روش ماشینکاری شیمیایی CM
۱۶	۱-۳-۲ مزایای روش CM
۱۶	۲-۳-۲ معایب روش CM
۱۸	۴-۲ کاربرد ماشینکاری شیمیایی
۱۹	۵-۲ مثال‌هایی از کاربردهای عملی قطعات ماشینکاری شیمیایی شده

فصل سوم: ماشینکاری فتوشیمیایی PCM

۲۳	۱-۳ مقدمه
۲۴	۲-۳ مراحل انجام عملیات
۲۵	۳-۳ مزایا و معایب ماشینکاری فتوشیمیایی
۲۵	۱-۳-۳ مزایا و قابلیت های ماشینکاری فتوشیمیایی
۲۷	۲-۳-۳ معایب، مشکلات و محدودیت های فرآیند ماشینکاری
۲۷	۴-۳ کاربردهای ماشینکاری فتوشیمیایی
۲۹	۵-۳ مثال هایی از کاربردهای عملی قطعات ماشینکاری فتوشیمیایی شده
۲۹	۱-۵-۳ کاربردهای هنری
۳۰	۲-۵-۳ ساخت وسایل اندازه گیری
۳۱	۳-۵-۳ استرین گیج
۳۱	۴-۵-۳ صنایع بسته بندی
۳۲	۵-۵-۳ صنایع الکترونیک
۳۳	۶-۵-۳ حکاکی
۳۳	۷-۵-۳ صنایع خودرو
۳۴	۸-۵-۳ صنایع شیمیایی
۳۵	۶-۳ مقایسه اقتصادی بلانکینگ فتوشیمیایی و مکانیکی

فصل چهارم: مراحل انجام ماشینکاری شیمیایی و فتوشیمیایی

۳۸	۱-۴ مقدمه
۳۸	۲-۴ انتخاب و آماده سازی قطعه کار
۴۰	۱-۲-۴ تمیز کاری و آماده سازی قطعات
۴۱	۲-۲-۴ خشک کردن قطعه کار
۴۲	۳-۴ مومسا زنی (نهشت مومسا)
۴۳	۱-۳-۴ مومسای معمولی - مومسا مورد استفاده در روش CM
۴۵	۲-۳-۴ مومسای حساس به نور (فوتورزیس ماسک) مورد استفاده در روش PCM
۴۸	۳-۴ خشک کردن (پختن) مومسا:
۴۸	۴-۴ نگاشت طرح بر روی مومسا
۴۸	۱-۴-۴ نگاشت طرح بر روی مومسا در روش CM
۵۱	۲-۴-۴ نگاشت طرح بر روی مومسا در روش PCM
۵۵	۵-۴ حذف مومسا از قسمت ماشینکاری شونده

۵۵	۱-۵-۴ برداشت مومسای از قسمتهای ماشینکاری در روش CM
۵۶	۲-۵-۴ برداشت مومسای از قسمتهای ماشینکاری در روش PCM (مرحله ظهور فتورزیس)
۵۸	۶-۴ پخت نهایی مومسای
۵۸	۱-۶-۴ پخت نهایی در روش CM :
۵۸	۲-۶-۴ پخت نهایی (پس پخت) مومسای فتورزیس
۵۹	۷-۴ اچینگ
۵۹	۱-۷-۴ بررسی مکانیزمهای شیمیایی اچینگ
۵۹	۲-۷-۴ فاکتورهای مؤثر در انتخاب نوع اچنت
۶۰	۳-۷-۴ چگونگی در معرض قرار دهی اچنت ها با قطعه کار
۶۱	۴-۷-۴ محاسبه زمان لازم اچینگ
۶۳	۵-۷-۴ عوامل مؤثر بر سرعت اچینگ (سیتیک شیمیایی)
۷۰	۸-۴ حذف مومسای باقیمانده و تمیزکاری سطح
۷۱	۹-۴ بازرسی و کنترل نهایی
۷۲	۱۰-۴ ماشین اچینگ

فصل پنجم: تغییرات خواص مکانیکی و عیوب هندسی حاصل از ماشینکاری شیمیایی

۷۴	۱-۵ بررسی اثر ماشینکاری شیمیایی بر خواص مکانیکی
۷۵	۱-۱-۵ تغییر مقاومت به خستگی
۷۵	۲-۱-۵ جذب هیدروژن و کاهش مقاومت شکست
۷۶	۳-۱-۵ جمع بندی
۷۶	۲-۵ عیوب هندسی کانتورینگ شیمیایی
۷۷	۱-۲-۵ کاناله شدن
۷۶	۲-۲-۵ کاناله شدن گازی
۷۷	۳-۲-۵ بشقابی شدن
۷۸	۴-۲-۵ چالدار شدن
۷۸	۵-۲-۵ پیش آویز (برجستگی)
۷۸	۶-۲-۵ جزیره ای شدن
۷۹	۷-۲-۵ گرده ماهی شدن
۷۹	۸-۲-۵ شیار گوشه ای
۷۹	۳-۵ صافی سطح
۸۲	۴-۵ معرفی انواع معایب متالورژیکی خوردگی شیمیایی در اچینگ

فصل ششم: طرح ریزی آزمایش‌ها

۸۱	۱-۶ مقدمه
۸۱	۲-۶ انتخاب و آماده سازی قطعه کار
۸۲	۳-۶ مومسای زنی (نهشت مومسا)
۸۳	۴-۶ آماده سازی طرح
۸۳	۵-۶ مرحله نورپردازی
۸۴	۶-۶ مرحله ظهور فتورزیس
۸۵	۷-۶ پخت نهایی (پس پخت) مومسای فتورزیس
۸۵	۸-۶ اچینگ :
۸۵	۹-۶ حذف مومسای باقیمانده و تمیزکاری سطح
۸۶	۱۰-۶ بازرسی و تست و کنترل نهایی

فصل هفتم: مروری بر نتایج ماشینکاری شیمیایی

۹۰	۱-۷ مقدمه
۹۰	۱-۱-۷ بیان خصوصیات فولاد ضد زنگ St 304
۹۱	۲-۱-۷ بیان خصوصیات آلومینیوم AL 1025
۹۱	۲-۷ بررسی اثر تغییر دمای اچنت بر خصوصیات سطح و سرعت ماشینکاری
۹۱	۲-۲-۷ بررسی اثر دمای اچنت بر پارامترهای ماشینکاری St 304
۹۴	۲-۲-۷ بررسی اثر دمای اچنت بر پارامترهای ماشینکاری AL 1025
۹۶	۳-۷ بررسی تغییر غلظت اچنت بر خصوصیات سطح و سرعت ماشینکاری
۹۹	۴-۷ بررسی اثر تغییر نوع اچنت، بر خصوصیات سطح و سرعت ماشینکاری
۹۹	۴-۱-۷ بررسی اثر تغییر ترکیب اچنت بر پارامترهای ماشینکاری St 304
۱۰۴	۴-۲-۷ بررسی اثر تغییر ترکیب اچنت بر پارامترهای ماشینکاری AL 1025

فصل هشتم: نتایج ماشینکاری فوتو شیمیایی

۱۰۸	۱-۸ مقدمه:
۱۰۸	۲-۸ انتخاب جنس قطعه کار
۱۰۸	۳-۸ مراحل آماده سازی قطعه کار
۱۰۹	۴-۸ مومسای زنی (نهشت مومسا)
۱۱۰	۵-۸ خشک کردن (پختن) مومسا
۱۱۰	۶-۸ آماده سازی طرح (مدل)
۱۱۱	۷-۸ مرحله نورپردازی

۸-۸	نتایج بررسی های ظهور مومسا	۱۱۲
۸-۹	عملیات اچنگ	۱۱۳
۸-۱۰	حذف مومسای باقیمانده و تمیزکاری سطح	۱۱۴
۸-۱۱	بازرسی و تست و کنترل نهایی	۱۱۴

فصل نهم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۹-۱	مقدمه	۱۲۰
۹-۲	بررسی نتایج حاصل از ماشینکاری شیمیایی فولاد ضد زنگ St 304	۱۲۰
۹-۲-۱	نتایج تغییرات دمای اچنت	۱۲۰
۹-۲-۲	نتایج تغییرات نوع اچنت	۱۲۱
۹-۳	بررسی نتایج حاصل از ماشینکاری شیمیایی آلومینیوم AL 1025	۱۲۲
۹-۳-۱	نتایج تغییرات دمای اچنت	۱۲۲
۹-۳-۲	نتایج تغییرات غلظت اچنت	۱۲۲
۹-۴	نتایج فعالیتهای فتوشیمیایی	۱۲۴
۹-۵	پیشنهادات برای ادامه کار	۱۲۵
	مراجع	۱۲۷
	چکیده انگلیسی	۱۳۱

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱ مقدمه ای بر ماشینکاری شیمیایی

فرآیند ماشینکاری شیمیایی، در زمره فرآیندهای ماشینکاری غیرسنتی^۱ قرار می‌گیرد که در آن از انرژی شیمیایی، همانند سایر انرژی‌های ماشینکاری، برای جدا کردن قسمتی از مواد ناخواسته استفاده می‌شود. ماشینکاری شیمیایی و کنترل آن قبل از آنکه یک صنعت باشد، یک عمل هنرمندانه است و ماشینکار شیمیایی، هنرمندی صنعتگر است.

با آنکه ماشینکاری شیمیایی یک هنر قدیمی است، بطوریکه می‌توان در موزه‌های باستان‌شناسی، زره‌ها و نشان‌هایی قدیمی یافت که ساخت آنها بجز روش ماشینکاری شیمیایی، روش تولید دیگری نداشته است اما این هنر باستانی، هنوز نیز بر نیزه تیز تکنولوژی مدرن امروزی نقش انداخته و جلوه‌نمایی می‌کند و چتر کاربردی آن بر ریز سازه‌هایی مانند تراشه‌های کوچک الکترونیکی^۲ تا سازه‌های غول‌پیکری همچون بدنه فضاپیماها سایه انداخته است.

1 - Non traditional machining

2 - Micro Integrated Circuit (micro I.C.)

۱-۲ تاریخچه ماشینکاری شیمیایی :

از نخستین سازه‌های ماشینکاری شده به روش شیمیایی که در موزه باستان شناسی رم موجود می‌باشد، می‌توان به سپرها، زره‌های جنگی و مدال‌های تزیینی مربوط به قرن ۱۵ میلادی اشاره کرد. این زره‌ها ابتدا توسط موم‌های گیاهی پوشش داده شده و سپس در محلول‌های خورنده ماشینکاری می‌شدند.

خلاصهٔ عملیات بدین صورت بود که تمام سطح فلز را داخل ظرف حاوی موم مذاب می‌نمودند تا پوشش نازکی از موم روی آن را بپوشاند. بنا به طرح و نقش مورد نیاز، موم را از قسمت‌هایی از سطح فلز که نیاز به خوردگی و ماشینکاری داشت جدا می‌نمودند. سپس کل قطعه را در معرض محلول‌های خورنده قرار می‌دادند. پس از گذشت زمان محدودی، عملیات را قطع کرده و موم را با حرارت دادن از سطح فلز پاک می‌کردند [۱ و ۲ و ۳].

در سال ۱۷۹۶ آلویز سینفلدر^۱ با ایده‌گیری از روش کار باوارین لیمستون^۲، روشی جهت نقش اندازی ماسک روی قطعه کار ابداع کرد. لیمستون توانست تصاویر کاملاً مشابه را بر روی کاغذ منتقل کند. این عملیات را لیتوگرافی^۳ نامیدند. لیتوگرافی کلمه‌ای یونانی بوده و شامل دو کلمه لیتوس^۴ به معنی سنگ و گرافیا^۵ به معنی نوشتن است. آلویز سینفلدر عملیات ماسک‌گذاری را مشابه همین روش روی فلزات انجام داد. هم‌اکنون این روش به صورت چاپ اسکرین^۶ توسعه یافته است [۴].

ماسک‌های حساس به نور در سال ۱۸۲۲ توسط ناپیس^۷ ابداع شد. با توسعه و بهبود مواد حساس به نور، دقت طرح‌های لیتوگرافی تولید شده به طور حیرت‌انگیزی افزایش یافت. این ابداع که ترکیبی از روش پوشش حساس به نور و لیتوگرافی بود، فتولیتوگرافی نامیده شد. این روش به سرعت در ماشینکاری شیمیایی نیز راه پیدا کرد و بکارگیری لیتوگرافی، ماسک‌های حساس نوری^۸ و خوردگی شیمیایی در سال ۱۸۲۷ دقت قطعات تولیدی را به کمتر از ۱mm افزایش داد [۴ و ۳ و ۲].

اولین کاربرد صنعتی این روش، در سال ۱۹۵۳ بود. مانوئل سانز^۹ در نیروی هوایی آمریکا، جهت کاهش وزن بدنه هواپیماهای جنگی، روش ماشینکاری شیمیایی را پیشنهاد کرد. در تولید بدنه هواپیماها عملیات نقش‌اندازی و برداشت پوشش مقاوم محلول خورنده، به صورت دستی انجام می‌شد [۵ و ۶].

1 - Aloys Senefelder

2 - Bavarian limestone

3 - Lithography

4 - Lithos

5 - Graphia

6 - Printe screen

7 - Niepce

8 - Photo Sensitive mask

9 - Manuel C.Sanz

در اوایل دهه ۱۹۵۰ با تکیه بر توانایی‌های فرآیند فتوشیمیایی^۱، لامپ‌های خلاء در وسایل الکترونیکی جای خود را به نیمه هادی‌های سیلیکونی دادند. با توسعه و بهبود فتولیتوگرافی به تدریج دقت‌های ماشینکاری شیمیایی افزایش یافت و در دهه ۱۹۶۰ دقت آن به $5\mu m$ رسید. در آن سال‌ها برای تولید بردهای الکترونیکی، از فتولیتوگرافی و ماشینکاری شیمیایی، استفاده شد [۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳].

تراشه‌های الکترونیکی اولیه، دیسک اینکودرها و سنسورهای حساس نوری، در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ با همین روش تولید شدند.

تمامی فعالیت‌های صورت گرفته تا اوایل دهه ۶۰، فرآیندهایی بود که میزان و سرعت اچ شدن به وضعیت و جهت کریستال‌های تشکیل دهنده مواد بستگی داشت. در دهه ۷۰، دانشمندان با کنترل شرایط اچینگ سیلیکون و استفاده از ترکیب هیدروکسید پتاسیم، آب و یک باز قوی موفق شدند، خوردگی شیمیایی را، مستقل از وضعیت و جهت کریستال‌های تشکیل دهنده ساختار مواد انجام دهند. که به آن ماشینکاری شیمیایی نا همگن (اچینگ آنیزوتروپیک)^۲ گویند. با این کشف ترانزیستورهای گروه U و V تولید شدند [۸ و ۹].

استرین گیج‌ها^۳ و سنسورهای سیلیکونی پیزورزیستیو^۴، در سال ۱۹۶۱ توسط پی فان^۵ ساخته شدند. او این اختراع را با ماشینکاری فتوشیمیایی سیلیکون، ژرمانیم و آلیاژ اینکونل^۶ انجام داد [۱۴].

تافت با همکاری چاپمن^۷، در سال ۱۹۶۲، با بکارگیری فرآیند اچینگ اکسیداسیون سیلیکون توانست، سنسورهای فشار را بسازد [۱۵].

از دیگر سازه‌های تولید شده در دهه‌های اخیر می‌توان به موارد زیر به صورت فهرست وار اشاره کرد:

(الف) ساخت وسایل چاپ دستی در شرکت تجهیزات تگزاس^۸.

(ب) ساخت دستگاه هم امتداد کننده فیبر نوری در شرکت وسترن الکترونیک^۹.

(ج) ساخت نازل جت جوهر^{۱۰} و ساخت بند پرینتر سرعت بالا در ای بی ام.

(د) ساخت صفحات سانتریفوژ شکر و فویل‌های ریش تراش در شرکت استورک وی^{۱۱}.

-
- 1 - Photochemical
 - 2 - Unisotropic Etching
 - 3 - Strain gauge
 - 4 - Piezoresistive
 - 5 - Pfann
 - 6 - Inconel
 - 7 - O.N.Tufte, P.W.Chapman
 - 8 - Texas Instrument
 - 9 - Western Electric
 - 10 - Ink jet nozzles
 - 11 - Sturk Ve Co.

هر چند به علت رده بندی اطلاعات، از تاریخچه رو به رشد بکارگیری روش ماشینکاری شیمیایی در صنایع نظامی اطلاعات کافی در دست نیست، اما آنچه مسلم است آن است که نمی توان نقش عملیات ماشینکاری شیمیایی را در پیشرفت بسیاری از تجهیزات نظامی انکار کرد.

۳-۱ کنکاشی بر فعالیت های کنونی ماشینکاری شیمیایی [۱۶۹۱۷ و ۱۹۵۶].

اهم فعالیت های تمرکز یافته در زمینه اچینگ در دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی و نظامی به صورت زیر فهرست می گردد:

۱-۳-۱ ارائه تکنولوژی تولید قطعات پیچیده به روش اچینگ^۱ و فتواچینگ^۲

از جمله این فعالیت های انجام شده در چند ساله اخیر، دستیابی به تکنولوژی تولید بعضی از قطعات پزشکی، ساخت صفحه سانتریفوژ شکر، نازل جت جوهر پلاتر، ساخت بدنه موشک^۳، بالک هد های کشتی های بزرگ نفت کش و... را می توان نام برد.

۱-۳-۲ جایگزینی روش ماشینکاری شیمیایی به جای ماشینکاری های سنتی

از موارد جایگزین شده می توان به موضوعات زیر اشاره نمود:

الف) بکارگیری روش ماشینکاری فوتو شیمیایی به جای پرس کاری ورق های نازک در تیراژ پائین و در طرح های پیچیده مانند ساخت اینکودر های خطی^۴، دیسک اینکودرها^۵، شابلن های اندازه گیری و گیج های کالیبراسیون و....

ب) جایگزینی ماشینکاری ورق های خیلی نازک به جای نورد.

ج) پلیسه گیری های شیمیایی به جای بکارگیری روش های مکانیکی.

۱-۳-۳ تلاش در بهبود کیفیت قطعات تولیدی

این امر با بررسی اثر پارامترهای مختلف قابل تغییر در فرآیند، بر کیفیت سطوح ماشینکاری شده انجام می گیرد. از جمله این پارامترها: نوع و شرایط اچنت^۶، موسا و مومسای می باشد. که تغییرات آنها روی صافی سطوح، تلرانس ابعادی، خوردگی کناره^۷ و زمان ماشینکاری مؤثر می باشد.

۱-۳-۴ بکارگیری سایر فرآیندهای تولیدی همراه با ماشینکاری شیمیایی

الف) استفاده از لیزر در نوردهی ماسک های حساس به نور و برش مومسای عادی.

ب) بررسی پارامترهای ماشینکاری شیمیایی و ماشینکاری الکتریکی مواد.

1 -Etching

2 -Photo etching

3 -Missile

4 -Linear Encoder

5 -Disk Encoder

6 -Etchant

7 -Eat Back