

บทที่ 4

ผลการทดลองและข้อวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองครกขชนิดขึ้นเดียว

ครกขซึ่งสร้างด้วยเหล็กทำเครื่องมือ AISI D3 (ASSAB XW-5) บันทึกผลการทดลองจำนวนรวม 30 อัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงผลการทดลอง เฉพาะครกขที่สามารถให้อายุการใช้งานได้เกิน 100 พลอก เท่านั้น

ครกขซึ่งสร้างด้วยเหล็กทำเครื่องมือ AISI D2 (ASSAB XW-41) บันทึกผลการทดลองจำนวนรวม 15 อัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงผลการทดลอง เฉพาะครกขที่สามารถให้อายุการใช้งานได้เกิน 100 พลอก เท่านั้น เช่นกัน

ในการทดลอง ได้แปรค่าความแข็งของครกขเป็นกลุ่มโดยประมาณ ที่ความแข็ง 3 ช่วง คือ 59.7 ± 0.2 HRC. , 59.2 ± 0.2 HRC. และ 58.7 ± 0.2 HRC. ด้วยเหตุที่เราไม่สามารถแปรค่าความแข็งของครกข ให้มีช่วงกว้าง ๆ ได้ (เนื่องจากกระทำได้ยากในทางปฏิบัติ) ดังนั้นผลของความแข็งของครกข ซึ่งแสดงผลออกมาไม่ชัดเจนนัก ทำให้ไม่สามารถสรุปผลในเรื่องนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ความแข็งของครกขยิ่งมาก ยิ่งจะทำให้โอกาสที่ผิวใช้งานภายในครกขเป็นรอยได้ยากขึ้น

จากการทดลองได้บันทึกค่า δ_1 ซึ่งทำให้สามารถคำนวณค่า σ_{29} ได้ โดยใช้สูตรในบทที่ 2 ซึ่งเป็นค่า Residual Stress ณ ตำแหน่งผิวภายในของครกข ($D_1 \cong 29$ มม.) จะพบว่าค่า σ_{29} ยิ่งมาก (นั่นคือเป็นการ Prestress มากขึ้นให้แก่ผิวภายในของครกข) อายุการใช้งานของครกขก็จะมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 17 และ 18 แสดงผลการทดลองการใช้งานของครกข ซึ่งสร้างด้วยเหล็กทำเครื่องมือ AISI D3 และ AISI D2 ตามลำดับ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของครกขเทียบกับ δ_1 จะเห็นได้ว่า ค่า δ_1 ยิ่งมาก (หรือจะถือเอาค่า I_1 ก็ได้ เนื่องจากจากว่า δ_1 แปรผันโดยตรงโดยประมาณกับ I_1) อายุการใช้งานของครกขจะมากขึ้นตาม

รูปที่ 19 , 20 และ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของครกฯ เทียบกับ δ_1 โดยเปรียบเทียบกันระหว่างครกฯที่สร้างด้วยเหล็กทำเครื่องมือ AISI D3 กับ AISI D2 ซึ่งเทียบกันที่ความแข็งกลุ่มเดียวกัน คือกลุ่ม 59.7 ± 0.2 HRC. , 59.2 ± 0.2 HRC. และ 58.7 ± 0.2 HRC. ตามลำดับ จากกราฟพบว่าที่ความแข็งหนึ่ง ๆ ครกฯที่สร้างด้วย AISI D3 จะมีอายุการใช้งานมากกว่าครกฯที่สร้างด้วย AISI D2 ซึ่งเป็นความจริง เนื่องจากว่า AISI D3 มี Ultimate Strength สูงกว่า AISI D2

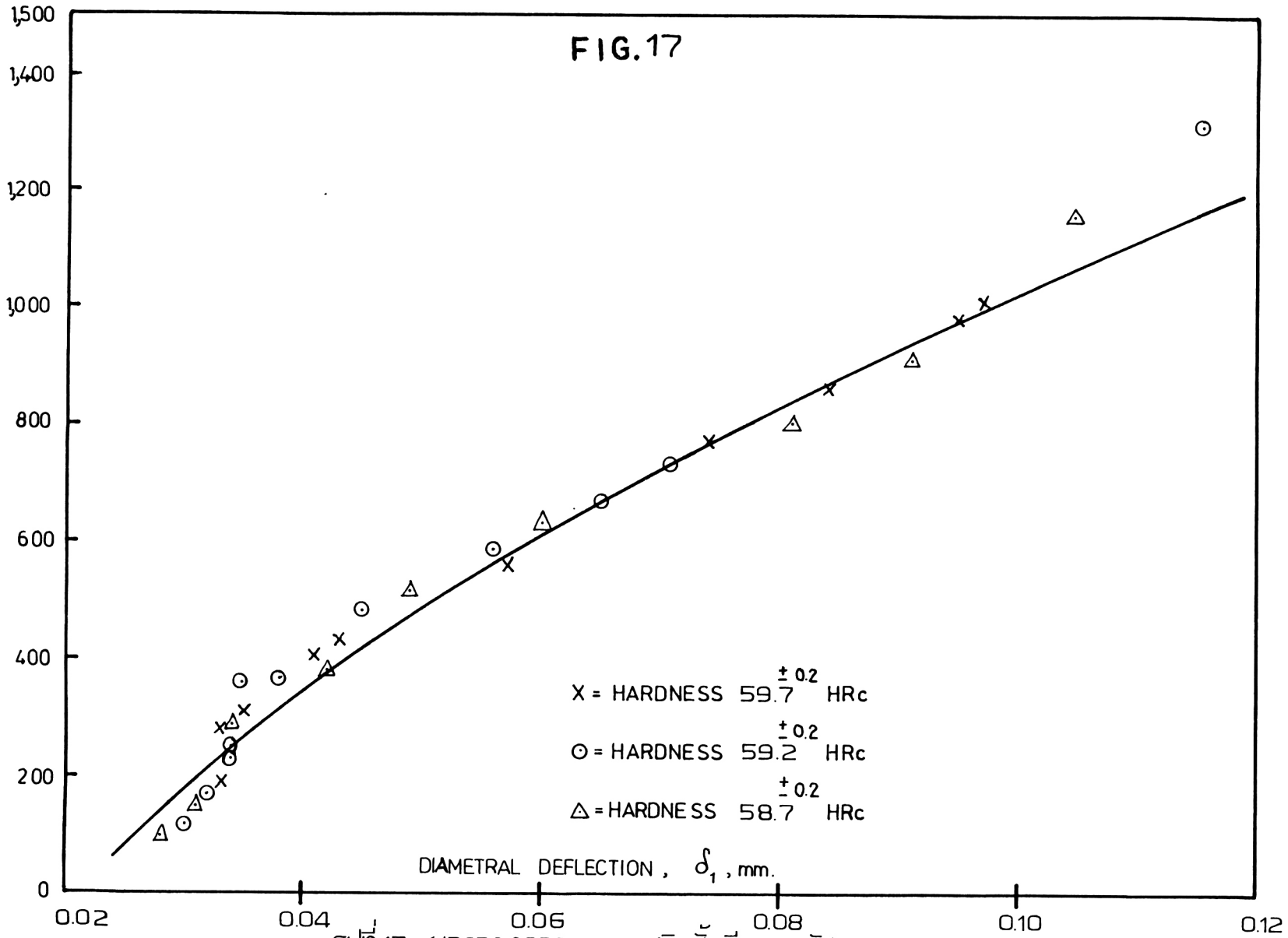
อย่างไรก็ตาม ครกฯชนิดอื่นเดี่ยวก็ไม่สามารถให้อายุการใช้งานได้นานเพียงพอได้ สรุปรวิธินี้ไม่สามารถทำให้ให้อายุการใช้งานของครกฯได้มากจนพอกำค่าได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่า เราไม่สามารถทำให้ได้รับค่า δ_1 ได้มาก ๆ ได้ (I_1 ยิ่งมาก ยิ่งทำให้ δ_1 มากขึ้นตาม) เนื่องจากขีดจำกัดในการสวมของครกฯสำหรับทางปฏิบัติ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความทนทานที่อุณหภูมิห้อง ทำด้วยเหล็ก AISI D3

การชำรุดของทุกตัวอย่าง เป็นการแตกร้าว

DIE No.	HARDNESS HRC	δ_1	RESIDUAL STRESS σ_{29} -KSI	LIFE CYCLE	DIE No.	HARDNESS HRC	δ_1	RESIDUAL STRESS σ_{29} -KSI	LIFE CYCLE
1	59.2	0.115	111.245	1,315	16	59.7	0.043	41.596	432
2	58.6	0.104	100.604	1,160	17	59.6	0.041	39.661	406
3	60.0	0.097	93.832	1,008	18	58.6	0.042	40.628	378
4	59.6	0.095	91.398	980	19	59.3	0.038	36.759	365
5	58.7	0.091	88.028	913	20	59.1	0.035	33.857	357
6	59.7	0.084	81.257	865	21	59.7	0.035	33.857	314
7	58.5	0.081	78.355	807	22	58.8	0.034	32.890	296
8	59.9	0.074	71.584	772	23	59.5	0.033	31.922	283
9	59.0	0.071	68.682	736	24	59.2	0.034	32.890	251
10	59.2	0.065	62.877	670	25	59.4	0.034	32.890	228
11	58.7	0.060	58.040	633	26	59.6	0.033	31.922	192
12	59.6	0.057	55.138	558	27	59.1	0.032	30.955	167
13	59.4	0.056	54.171	590	28	58.9	0.031	29.988	150
14	58.7	0.049	47.400	515	29	59.3	0.030	29.020	126
15	59.2	0.045	43.530	479	30	58.5	0.028	27.086	102

CYCLE USED LIFE VS. SHRINK FIT , MATERIAL AISI D3 (ASSAB XW-5)

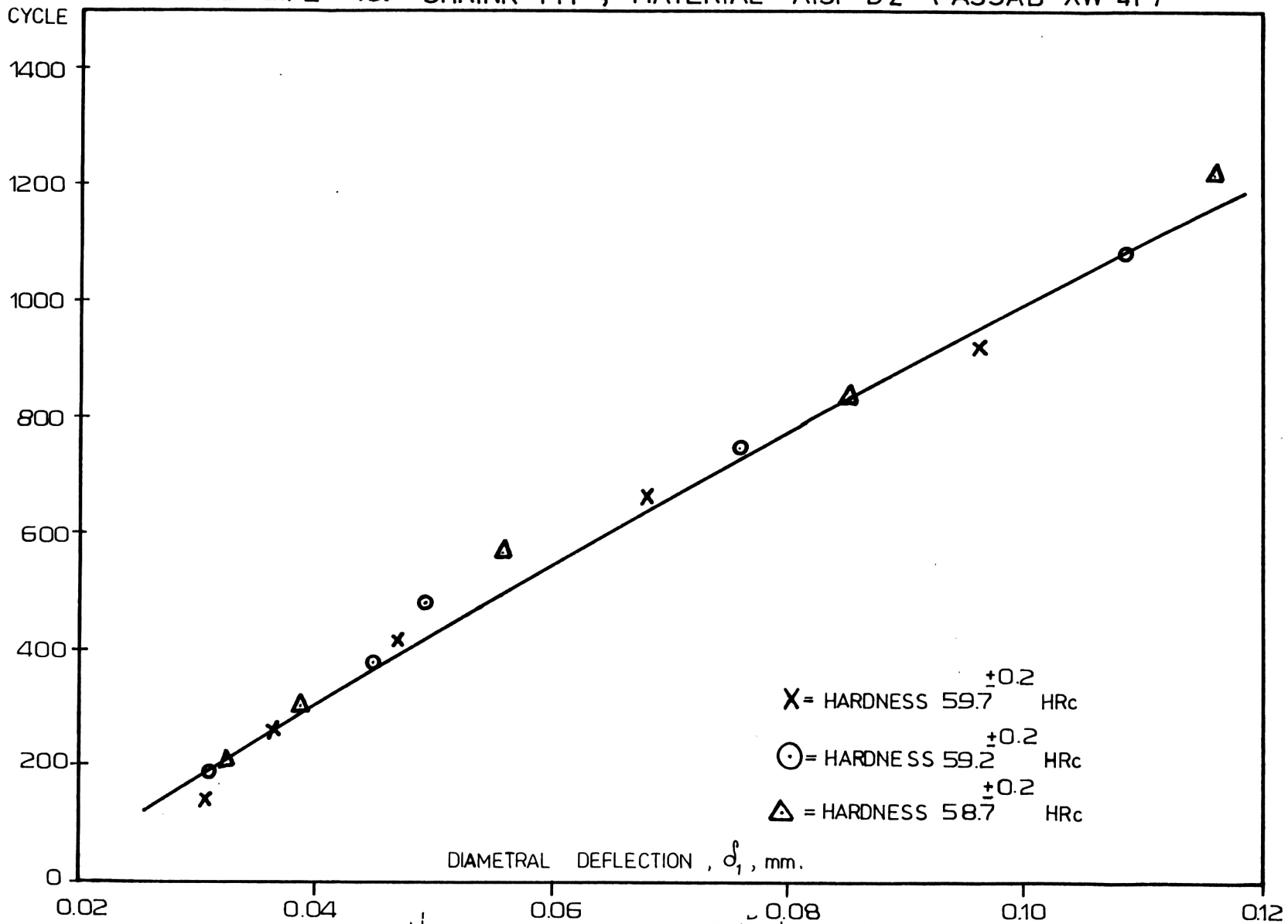


รูปที่ 17 ผลการทดลองครากชนิดเส้นเดียว วัสดุ AISI D3

ตาราง 3 ผลการทดสอบครากาชนิดขึ้นเดียว ทำด้วยเหล็ก AISI D2
การชำรุดของทุกตัวอย่างเป็นการแตกร้าว

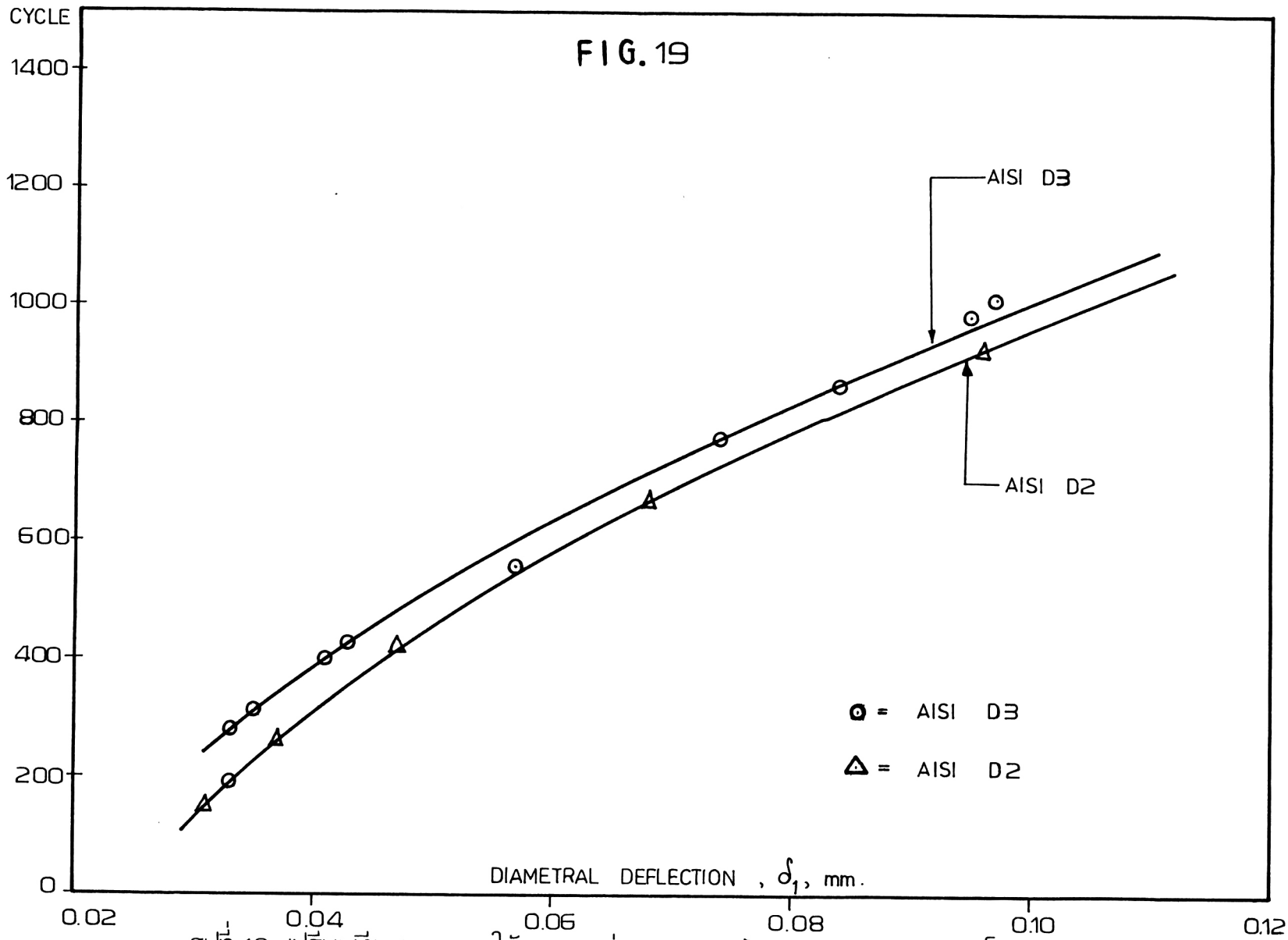
DIE No.	HARDNESS HRC	δ_1	RESIDUAL STRESS σ_{129} -KSI	LIFE CYCLE
1	58.7	0.116	111.732	1,226
2	59.2	0.108	104.026	1,085
3	59.7	0.096	92.468	924
4	58.6	0.085	81.873	840
5	59.3	0.076	73.204	751
6	59.6	0.068	65.498	669
7	58.7	0.056	53.940	572
8	59.2	0.049	47.197	481
9	59.6	0.047	45.271	420
10	59.1	0.045	43.344	375
11	58.8	0.039	37.565	306
12	59.7	0.037	35.639	264
13	58.9	0.033	31.786	205
14	59.0	0.031	29.859	189
15	59.5	0.031	29.859	143

FIG.18 USED LIFE VS. SHRINK FIT , MATERIAL AISI D2 (ASSAB XW-41)



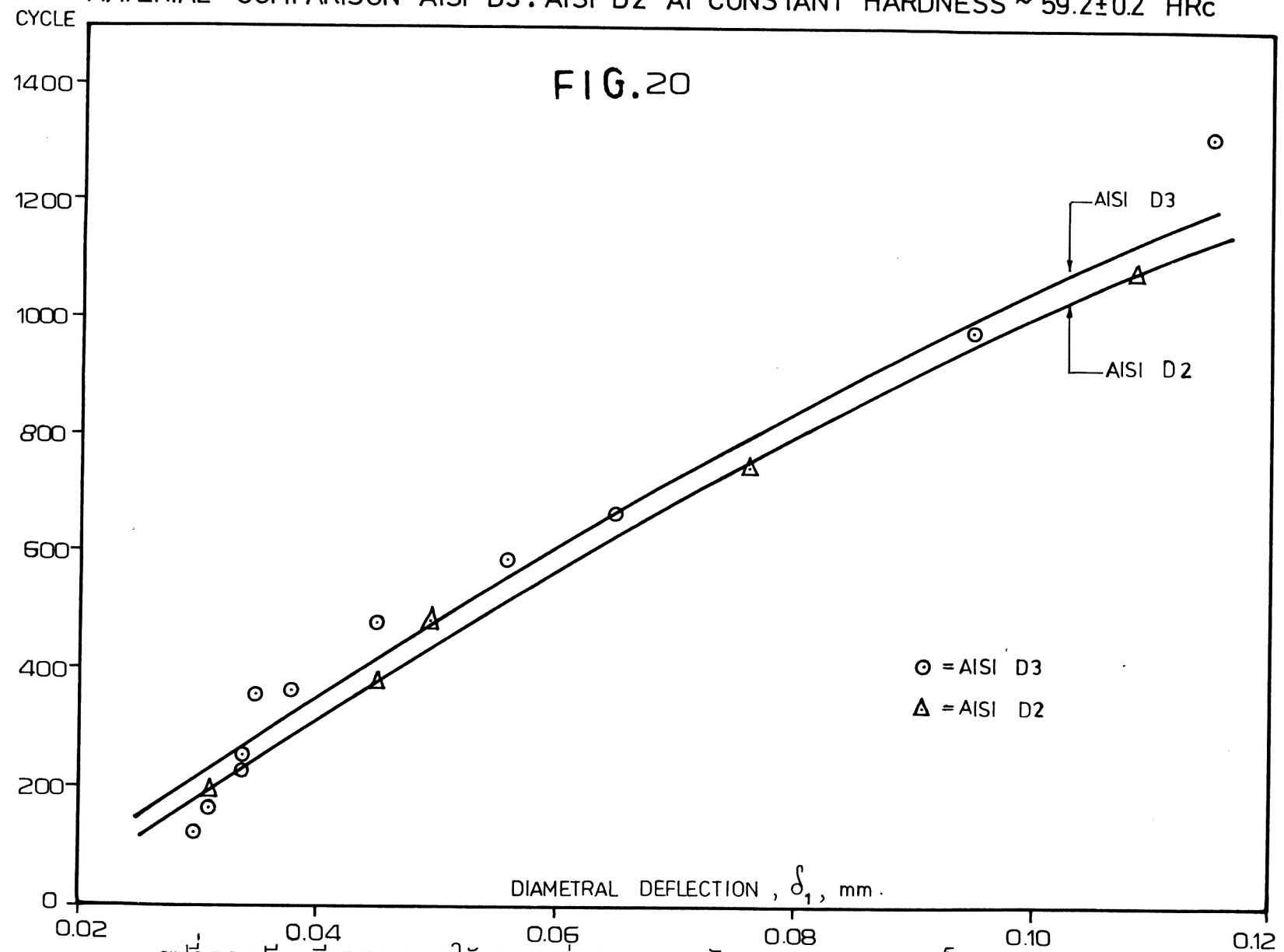
รูปที่ 18 ผลการทดลองกราฟชนิดเส้นเดียว วัสดุ AISI D2

MATERIAL COMPARISON AISI D3 : AISI D2 AT CONSTANT HARDNESS ~ 59.7 ± 0.2 HRC



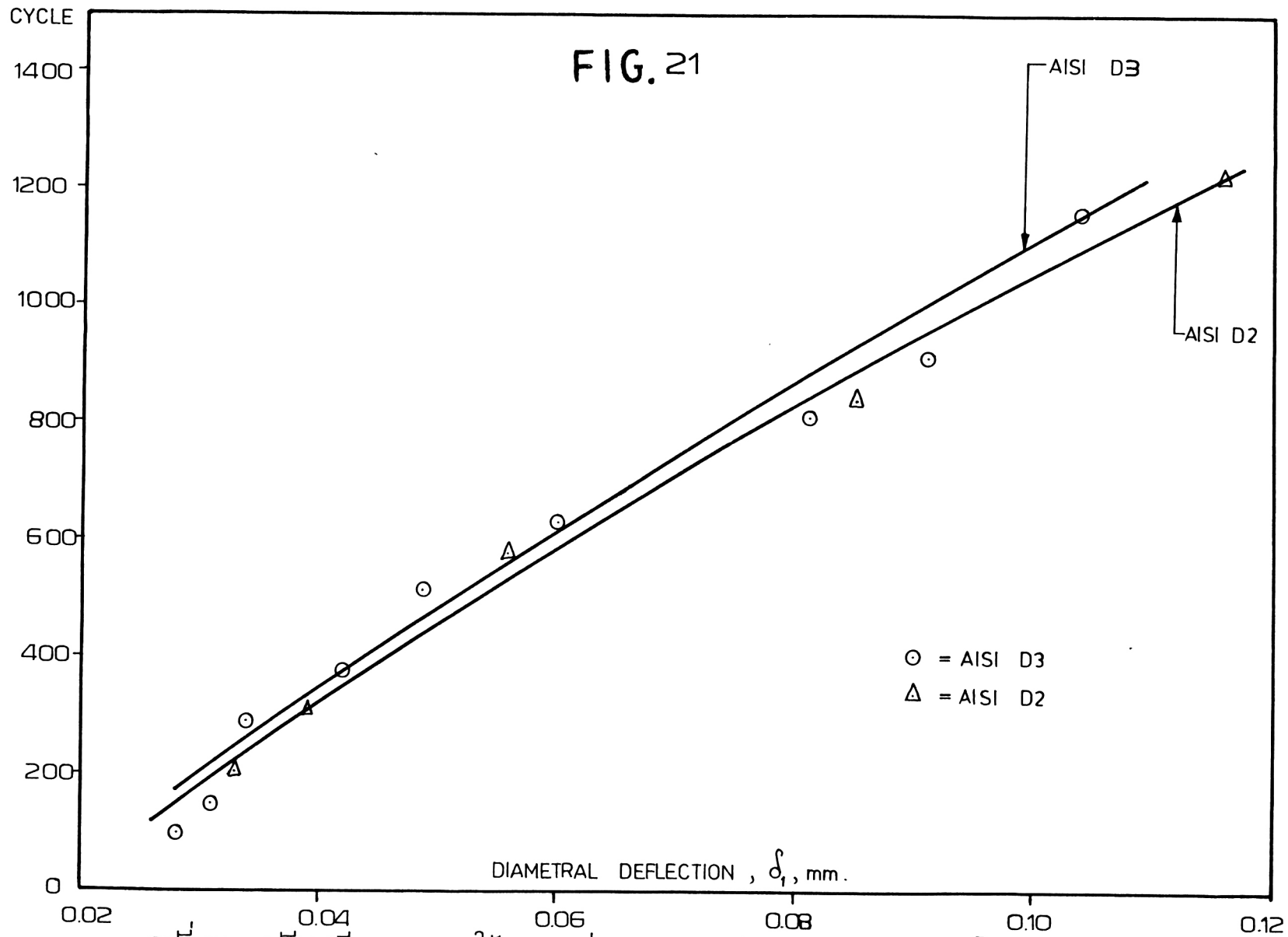
รูปที่ 19 เปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่าง AISI D3 กับ AISI D2 ณ ความแข็ง 59.7 ± 0.2 HRC.

MATERIAL COMPARISON AISI D3 : AISI D2 AT CONSTANT HARDNESS $\sim 59.2 \pm 0.2$ HRC



รูปที่ 20 เปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่าง AISI D3 กับ AISI D2 ณ ความแข็ง 59.2 ± 0.2 HRC,

MATERIAL COMPARISON AISI D3 : AISI D2 AT CONSTANT HARDNESS ~ 58.7± 0.2 HRc



รูปที่ 21 เปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่าง AISI D3 กับ AISI D2 ณ ความแข็ง 58.7 ± 0.2 HRc.

4.2 ผลการทดลองครกฯ ชนิดสองชั้น

ในการวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองใช้งานครกฯ จำนวนรวม 20 อัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม โดยถือเอาค่าเฉลี่ยของ I_2 เป็นเกณฑ์โดยประมาณ ดังนี้คือ $I_2 \cong 0.350$ มม. , 0.310 มม. , 0.235 มม. , 0.185 มม. และ 0.125 มม. ข้อมูลและผลการทดลอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ

ในการทดลองพบว่าครกฯ แต่ละอัน มักจะไม่แตกร้าวในตัวรองรับชุดหนึ่ง ๆ แต่เมื่อใช้งานแล้วมักจะเกิดเป็นรอยขีดข่วนเสียก่อน ดังนั้นเมื่อชุดลบรอยแผลขีดข่วนเรียบร้อยดีแล้ว หาก D_i ของครกฯ เกินขนาดที่กำหนดคือ $\phi 29.025$ มม. ก็จำเป็นต้องถอดครกฯ อันนั้น เพื่อมาสวมกับตัวรองรับชุดใหม่ (ซึ่งจะต้องให้ค่า I_1 ที่มากขึ้น จนกระทั่งได้ค่า δ_1 ที่เหมาะสม) เพื่อให้ D_i ของครกฯ มีขนาดเล็กลงจนได้ตามกำหนด คือ $\phi 29.000 \begin{matrix} + 0.025 \\ - 0.010 \end{matrix}$ มม. จากธรรมชาติของการใช้งานเช่นนี้ รายงานการวิจัยจึงมักจะปรากฏว่า ค่า I_1 มีหลายค่า สำหรับครกฯ อันหนึ่ง ๆ

เนื่องจากผลการทดลองครกฯ ชนิดสองชั้นรวม 20 อันนี้ ได้อายุการใช้งานของครกฯ ที่มีอายุมากที่สุดเท่ากับ 16,183 ปลอก และครกฯ ที่มีอายุรองลงมาตามลำดับดังนี้คือ 10,209 ปลอก , 10,155 ปลอก , 9,005 ปลอก , 8,247 ปลอก , 7,871 ปลอก , 7,330 ปลอก , 6,066 ปลอก , 5,522 ปลอก , 5,030 ปลอก ฯลฯ

รูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของครกฯ เทียบกับ I_2 ซึ่งได้ผลมาจากการทดลองตามตารางที่ 4, 5, 6, 7 และ 8

ตารางที่ 9 และรูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า δ_1 กับ I_1 ซึ่งจะเห็นว่าค่าอัตราส่วน $\frac{\delta_1}{I_1}$ โดยเฉลี่ยทางเลขคณิต ได้ประมาณ 0.545 และสังเกตได้ว่า การแปรค่าของข้อมูลค่อนข้างลุ่มล่าช้า ไม่เพียงเบนกันมากนัก จึงสามารถอนุมานได้ว่าเป็นกราฟเส้นตรงได้ นั่นคือ δ_1 แปรผันโดยตรงกับ I_1

ตารางที่ 10 และรูปที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า δ_2 กับ I_2 ซึ่งจะเห็นว่าค่าอัตราส่วน $\frac{\delta_2}{I_2}$ โดยเฉลี่ยทางเลขคณิต ได้ประมาณ 0.734 และจะพบว่า การแปรค่าของข้อมูลค่อนข้างลุ่มล่าช้า ไม่เพียงเบนกันมากนัก จึงสามารถอนุมานได้ว่าเป็นกราฟเส้นตรงได้เช่นกัน นั่นคือ δ_2 แปรผันโดยตรงกับ I_2

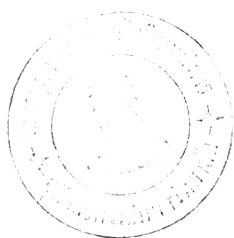
ตารางที่ 11 แสดงผลการคำนวณค่า Residual Stress ซึ่งได้ผลมาจากการทดลอง ประกอบด้วย σ_1 อันเป็นผลเนื่องมาจากการลวมกันระหว่างครกกับตัวรองรับ และ σ_2 อันเป็นผลเนื่องมาจากครกชั้นในลวมกับครกชั้นนอก กับผลลัพธ์ (Resultant Residual Tangential Stress , σ_R) ซึ่งเป็นผลรวมของ σ_1 และ σ_2 สำหรับ σ_R จะพิจารณาเฉพาะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 แห่ง คือที่ ϕ 29 มม. ซึ่งเป็นผิวในของครกชั้นใน และที่ ϕ 35 มม. ซึ่งเป็นผิวในของครกชั้นนอก

รูปที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของครก และลักษณะของการชำรุดของครก เทียบกับ σ_R ในกรณีนี้ลักษณะของการชำรุดของครก จะแบ่งออกเป็น 2 สาเหตุ คือ ชำรุดเพราะแตกร้าว (Crack) ซึ่งจะบอกด้วยว่า แตกร้าวที่ผิวในของครกชั้นใน หรือที่ผิวในของครกชั้นนอก กับชำรุดเพราะสึกหรอ (Wear) จนใช้งานอีกไม่ได้

รูปที่ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของครก และลักษณะของการชำรุดของครกชั้นใน เทียบกับ σ_{R29} จะเห็นได้ว่าครกชั้นในจะเริ่มมีความคงทนไม่แตกร้าวเมื่อมีค่า $\sigma_{R29} \leq -225 \text{ ksi. } (-158.2 \text{ kg/mm}^2)$ นั่นคือหากว่า σ_{R29} มีค่าผลลัพธ์เป็น Compressive Stress น้อยกว่า 225 ksi. (158.2 kg/mm^2) แล้ว จะทำให้ครกชำรุดแตกร้าวที่ครกชั้นใน ดังนั้นในทางปฏิบัติ เราจึงต้อง Prestress ให้แก่ครกชั้นใน จนเพียงพอ

รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของครก และลักษณะของการชำรุดของครกชั้นนอก เทียบกับ σ_{R35} จะพบว่า ครกชั้นนอกจะเริ่มมีความคงทนไม่แตกร้าวเมื่อมีค่า $\sigma_{R35} \leq +15 \text{ ksi. } (+10.6 \text{ kg/mm}^2)$ นั่นคือหากว่า σ_{R35} มีค่าผลลัพธ์เป็น Tensile Stress มากกว่า 15 ksi. (10.6 kg/mm^2) แล้ว จะทำให้ครกชำรุดแตกร้าวที่ครกชั้นนอก ดังนั้นในทางปฏิบัติ เราจึงต้องไม่ Prestress ให้แก่ครกชั้นในจนมากเกินไป เพราะจะทำให้ครกชั้นนอกรับ Residual Stress เป็นชนิด Tensile Stress มากเกินไปด้วย

หนึ่งจากรูปที่ 27 นี้ จะเห็นว่ามียู่ 2 จุดที่น่าสนใจ จุดแรก คือ พิกัดตำแหน่งที่ $\sigma_{R_{35}} = + 15.057 \text{ ksi}$. และอายุการใช้งาน = 8,247 ปลอก (ครกหมายเลข 10 ขำรุด เพราะเหตุสึกหรอ) ซึ่งจะเห็นได้ว่า $\sigma_{R_{35}}$ มีค่าเกินกว่า + 15 ksi. เพียงเล็กน้อย แสดงว่าหากถือเอาเส้นแนวปลอดภัยเพียงที่ + 15 ksi. แล้ว จะยังทำให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ส่วนอีกจุดหนึ่ง คือ พิกัดตำแหน่งที่ $\sigma_{R_{35}} = + 9.966 \text{ ksi}$. และอายุการใช้งาน = 10,155 ปลอก (ครกหมายเลข 6 ขำรุดเพราะเหตุครกชั้นนอกแตกร้าว) ซึ่งจะเห็นได้ว่า $\sigma_{R_{35}}$ แม้ว่าจะมีค่าน้อยกว่า + 15 ksi. ก็ตาม แต่ครกก็ยังขำรุดแตกร้าวที่ครกชั้นนอกอยู่ อันเป็นการแสดงถึงการกระจายของข้อมูล ที่เป็นสิ่งธรรมดาทั่วไปสำหรับชิ้นงานที่เสียหายเนื่องจากความล้า ซึ่งมักจะต้องอาศัยสถิติจากการทดลอง เป็นแนวทางในการกำหนดเกณฑ์ของการออกแบบ แต่อย่างไรก็ตาม นับได้ว่าครกหมายเลข 6 นี้ มีความคงทนและคุ้มค่ามาก ซึ่งอาจจะอนุโลมให้ลัดอยู่ในประเภท ขำรุดเพราะเหตุสึกหรอ ได้



ตารางที่ 4 ผลการทดสอบครากาชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 1 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.350$ mm.

DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	I_1 mm.	δ_1 mm.	LIFE cycle	FAILURE
1	.360	.253	.098	.050	16	CRACK, O.D.
			.101	.055	6	
			.116	.062	156	
			.129	.066	8	
			.136	.071	1,220	
			AV. δ_1 0.0697	TOTAL	1,406	
2	.340	.245	.137	.081	2,820	CRACK, O.D.

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกราฟนิคสองชั้น กลุ่มที่ 2 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.310$ mm.

DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	I_1 mm.	δ_1 mm.	LIFE cycle	FAILURE
3	.315	.230	.138 .185 .333	.077 .096 .195 AV. δ_1 0.1078	2,520 5,986 1,703 TOTAL 10,209	WEAR
4	.314	.229	.064 .067 .075 .151	.037 .039 .041 .083 AV. δ_1 0.0813	42 122 4 4,290 TOTAL 4,458	CRACK, O.D.
5	.312	.228	.084 .147 .163 .189 .198 .297	.044 .083 .096 .109 .111 .153 AV. δ_1 0.1023	302 1,096 222 2,637 987 278 TOTAL 5,522	WEAR

CONTINUE

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการขาดสองชั้น กลุ่มที่ 2 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.310$ mm.
(ต่อ)

DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	I_1 mm.	δ_1 mm.	LIFE cycle	FAILURE
6	.304	.225	.154	.083	1,981	CRACK, O.D.
			.173	.092	8,174	
			AV. δ_1	TOTAL		
			0.0902	10,155		
7	.303	.215	.131	.073	537	WEAR
			.154	.082	3,908	
			.240	.130	5	
			.276	.160	3,444	
			.322	.187	8,289	
			AV. δ_1	TOTAL		
0.1521	16,183					

ตารางที่ 6 ผลการทดลองกราฟชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 3 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.235$ mm.

DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	I_1 mm.	δ_1 mm.	LIFE cycle	FAILURE
8	.239	.177	.094 .111 .112	.049 .059 .064 AV. δ_1 0.0615	433 2,646 4,792 TOTAL 7,871	CRACK, O.D.
9	.237	.176	.108 .116 .130 .243	.057 .062 .068 .146 AV. δ_1 0.0833	1,700 172 2,749 1,445 TOTAL 6,066	WEAR
10	.235	.175	.057 .093 .112 .123	.030 .047 .062 .070 AV. δ_1 0.0612	258 721 5,733 1,535 TOTAL 8,247	WEAR
11	.233	.173	.089	.047	1,959 1,743 TOTAL=3,702	CRACK, O.D. CRACK, I.D.
12	.231	.169	.073 .108	.039 .058 AV. δ_1 0.0566	330 4,204 TOTAL 4,534	CRACK, O.D.

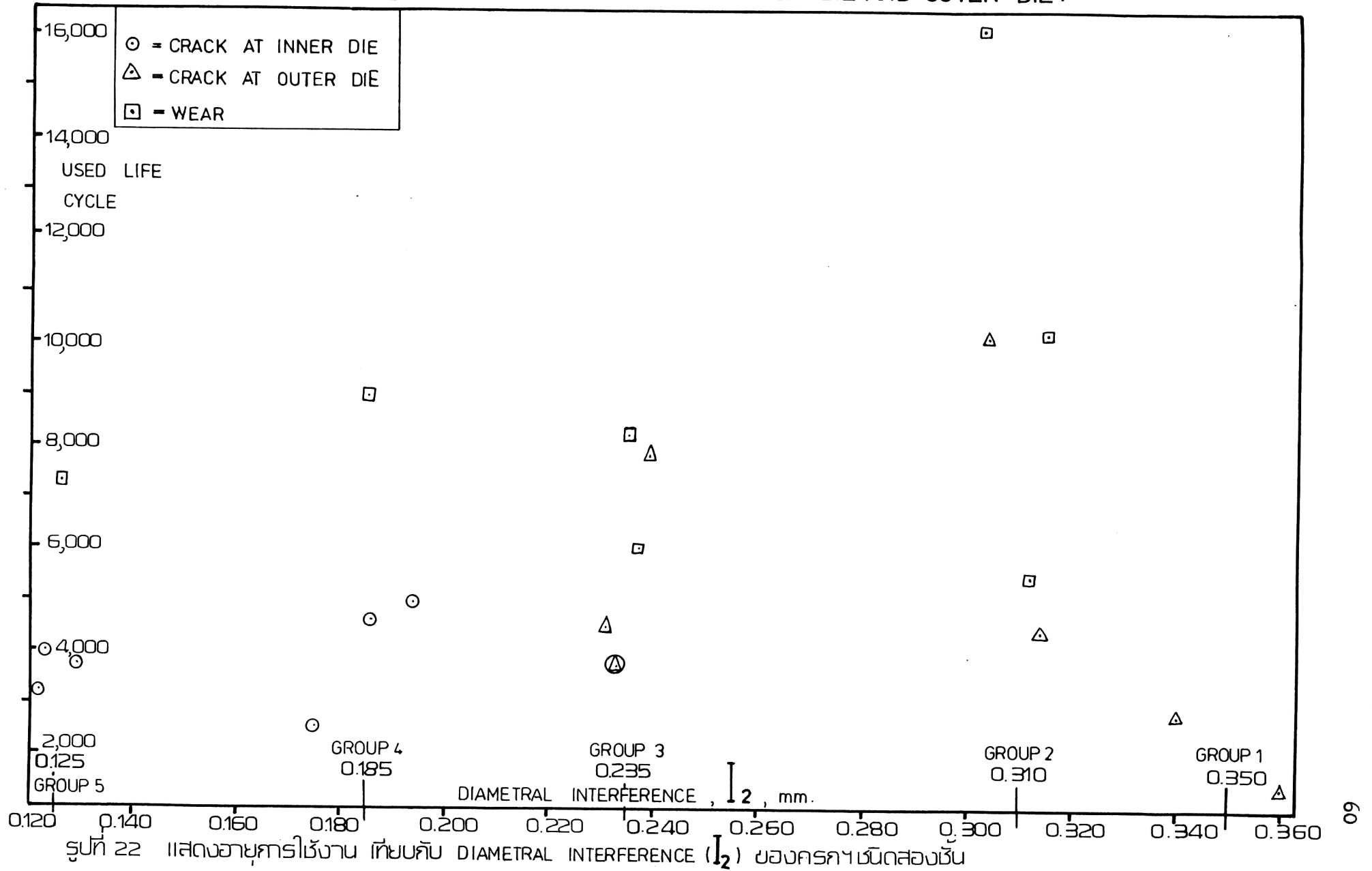
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการขาดของชิ้นงานกลุ่มที่ 4 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.185$ mm.

DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	I_1 mm.	δ_1 mm.	LIFE cycle	FAILURE
13	.194	.143	.119 .148 .170	.060 .077 .088 AV. δ_1 0.0806	615 1,807 2,608 TOTAL 5,030	CRACK, I.D.
14	.186	.138	.062 .098 .127 .143 .156	.032 .055 .070 .081 .089 AV. δ_1 0.0803	47 540 553 1,056 2,424 TOTAL 4,620	CRACK, I.D.
15	.185	.132	.079 .116 .171	.047 .067 .097 AV. δ_1 0.0959	29 282 8,694 TOTAL 9,005	WEAR
16	.175	.125	.101	.052	2,564	CRACK, I.D.

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบครากาชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 5 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.125$ mm.

DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	I_1 mm.	δ_1 mm.	LIFE cycle	FAILURE
17	.129	.099	.099 .131 .164 .186 .232 .262	.050 .073 .087 .097 .133 .148 AV. δ_1 0.1181	35 150 318 1,092 1,498 656 TOTAL 3,749	CRACK, I. D.
18	.126	.095	.119 .141 .172 .184 .222 .285 .315 .332 .367	.061 .075 .088 .101 .115 .168 .180 .190 .198 AV. δ_1 0.1500	110 1,121 16 553 5 4,586 126 381 432 TOTAL 7,330	WEAR
19	.123	.092	.088 .114 .151 .197 .370	.045 .061 .080 .115 .211 AV. δ_1 0.1352	341 1,316 20 499 1,841 TOTAL 4,017	CRACK, I. D.
20	.122	.090	.175	.091	3,264	CRACK, I. D.

FIG. 22 USED LIFE VS. I_2 (INTERFERENCE BETWEEN INNER DIE AND OUTER DIE)

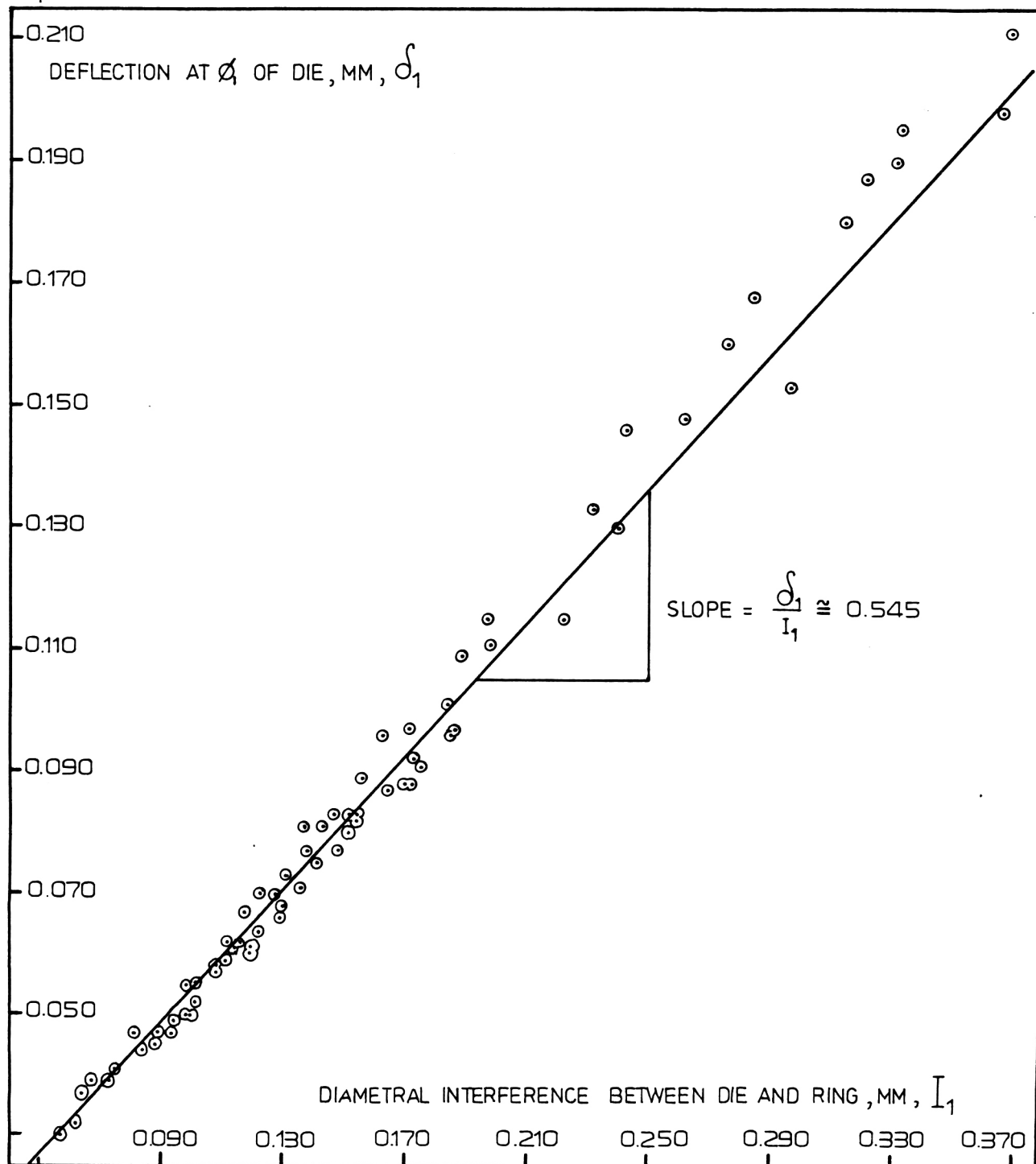


รูปที่ 22 แสดงอายุการใช้งาน ที่ขึ้นกับ DIAMETRAL INTERFERENCE (I_2) ของครกขึงสองชั้น

รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครก (δ_1) กับ
DIAMETRAL INTERFERENCE ระหว่างครกและตัวรองรับ (I_1)

FIG. 23

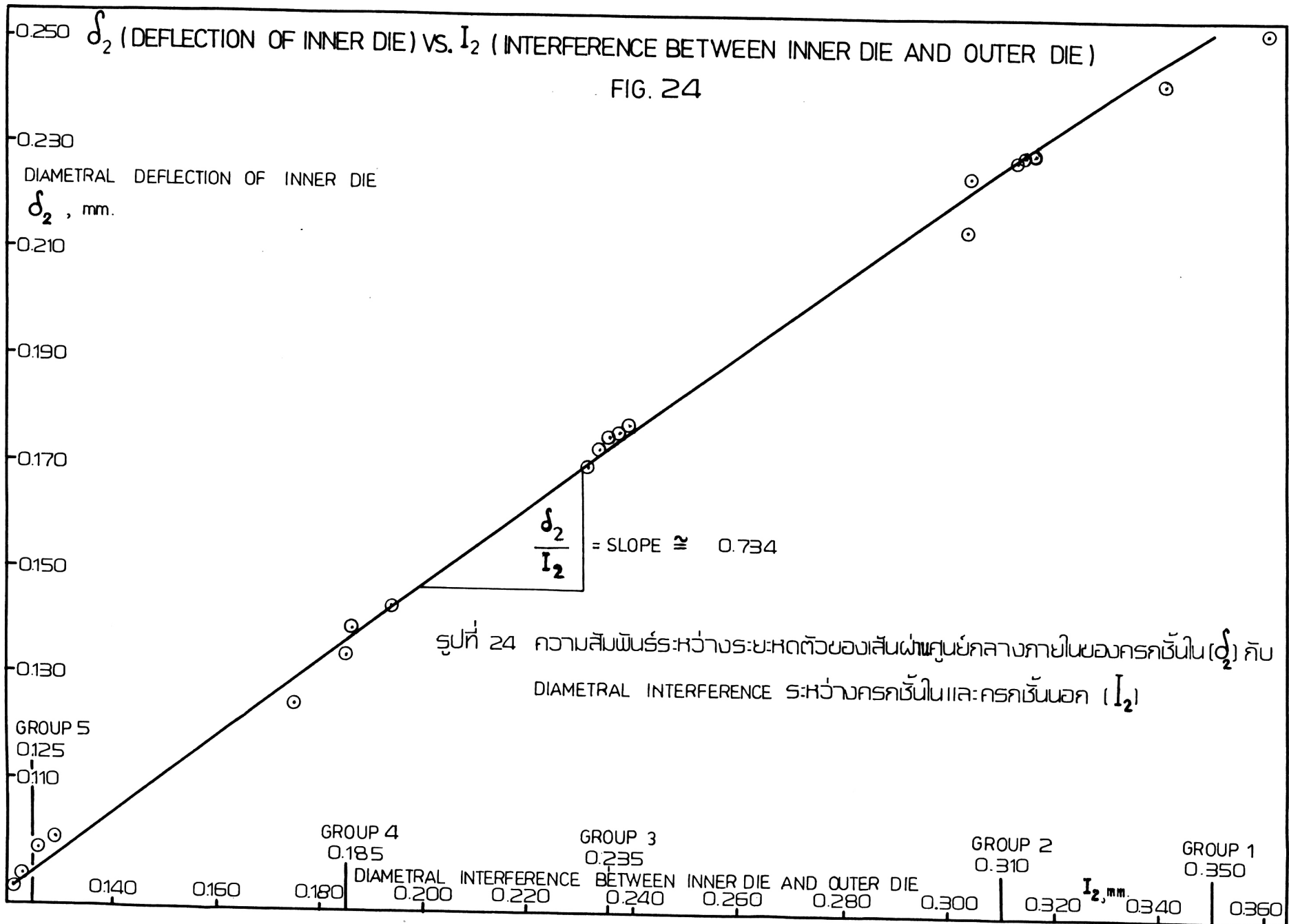
δ_1 (DEFLECTION AT ϕ_1 OF DIE) VS. I_1 (INTERFERENCE BET. DIE AND RING)



ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง δ_2 กับ I_2

GROUP	DIE No.	I_2 mm.	δ_2 mm.	$\frac{\delta_2}{I_2}$ %
1 $I_2 \cong .350$	1	.360	.253	70.28
	2	.340	.245	72.06
2 $I_2 \cong .315$	3	.315	.230	73.02
	4	.314	.229	72.93
	5	.312	.228	73.08
	6	.304	.225	74.01
	7	.303	.215	70.96
3 $I_2 \cong .235$	8	.239	.177	74.06
	9	.237	.176	74.26
	10	.235	.175	74.47
	11	.233	.173	74.29
	12	.231	.169	73.16
4 $I_2 \cong .185$	13	.194	.143	73.71
	14	.186	.138	74.19
	15	.185	.132	71.35
	16	.175	.125	71.43
5 $I_2 \cong .125$	17	.129	.099	76.74
	18	.126	.095	75.40
	19	.123	.092	74.80
	20	.122	.090	73.77

$$\text{AVERAGE } \frac{\delta_2}{I_2} \cong 0.7340$$

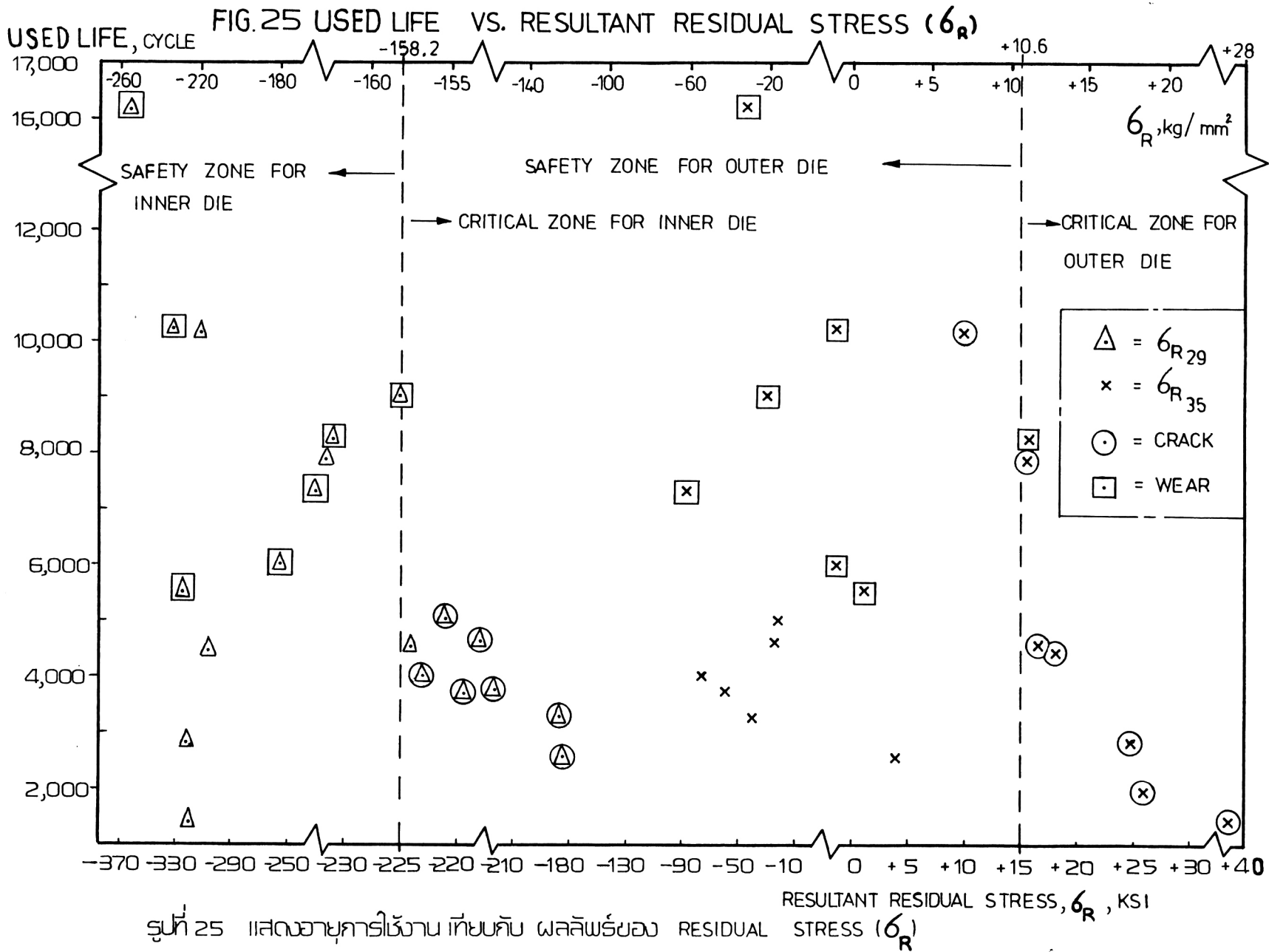


รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของครกชั้นใน (δ_2) กับ DIAMETRICAL INTERFERENCE ระหว่างครกชั้นในและครกชั้นนอก (I_2)

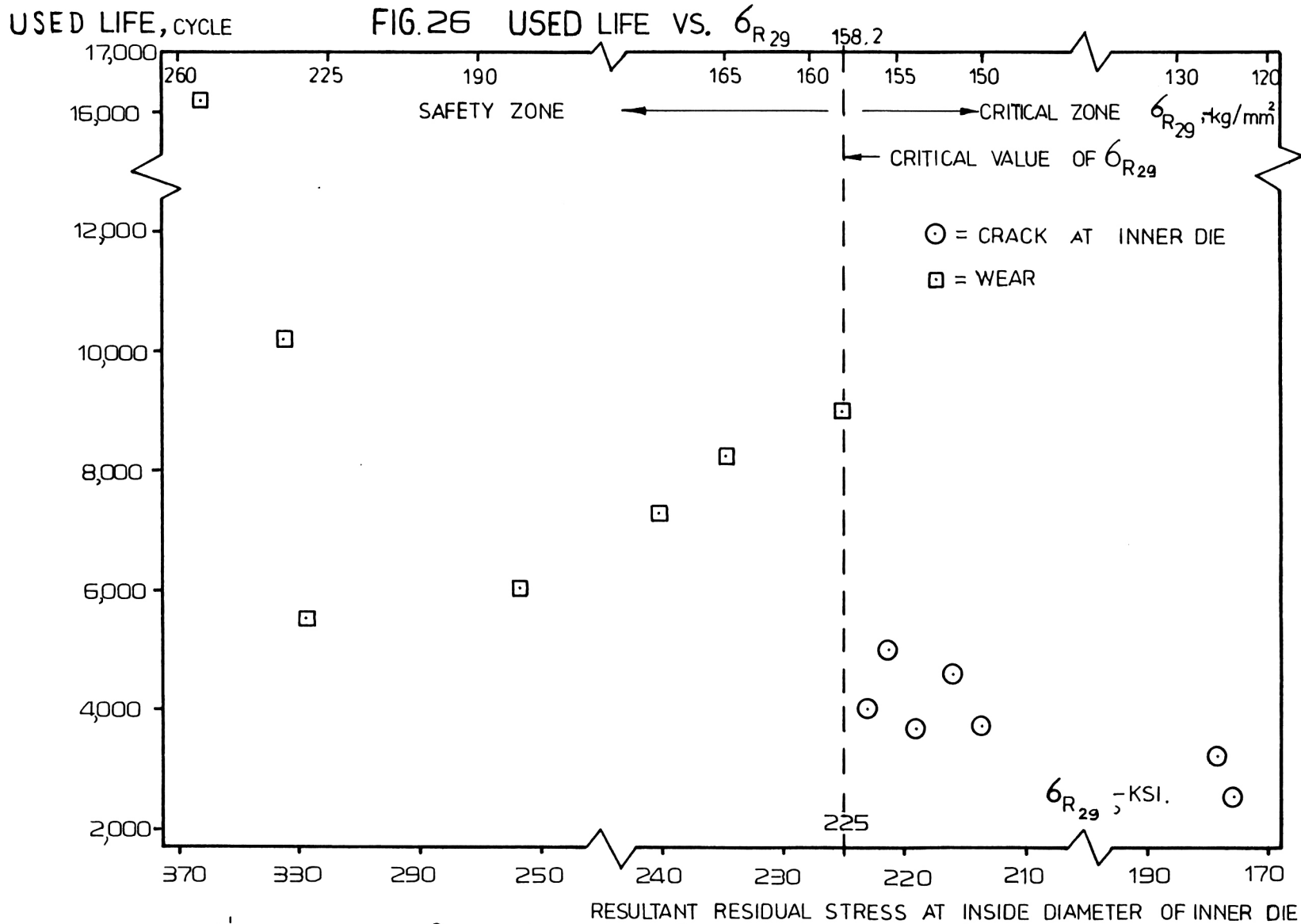
ตารางที่ 11 ความเค้นในครกาทนสองชั้น อันเนื่องมาจากการ Press Fit

GROUP	DIE No.	DUE TO INNER & OUTER DIE				DUE TO DIE & RING			RESULTANT RESIDUAL STRESS		TOTAL LIFE cycle	FAIL-URE
		I ₂ mm.	δ ₂ mm.	σ ₂₂₉ - ksi	σ ₃₃₅ + ksi	AV. δ ₁ mm.	σ ₂₉ - ksi	σ ₃₅ - ksi	σ _{R29} - ksi	σ _{R35} ksi		
1 I ₂ ≈ .350	1	.360	.253	253.857	93.944	.0697	67.424	56.858	321.281	37.086	1,406	OD.
	2	.340	.245	245.830	90.973	.081	78.355	66.076	324.185	24.897	2,820	OD.
2 I ₂ ≈ .310	3	.315	.230	230.779	85.404	.1078	104.280	87.938	335.059	- 2.534	10,209	WEAR
	4	.314	.229	229.776	85.032	.0813	78.645	66.321	308.421	18.711	4,458	OD.
	5	.312	.228	228.772	84.661	.1023	98.960	83.452	327.732	1.209	5,522	WEAR
	6	.304	.225	225.762	83.547	.0902	87.255	73.581	313.017	9.966	10,155	OD.
	7	.303	.215	215.728	79.834	.1521	147.133	124.076	362.861	-44.242	16,183	WEAR
3 I ₂ ≈ .235	8	.239	.177	177.600	65.724	.0615	59.492	50.169	237.092	15.555	7,871	OD.
	9	.237	.176	176.596	65.352	.0833	80.580	67.952	257.176	- 2.600	6,066	WEAR
	10	.235	.175	175.593	64.981	.0612	59.202	49.924	234.795	15.057	8,247	WEAR
	11	.233	.173	173.586	64.238	.047	45.465	38.340	219.051	25.898	1,959+1,743 = 3,702	OD., ID.
	12	.231	.169	169.573	62.753	.0566	54.752	46.172	224.325	16.581	4,534	OD.
4 I ₂ ≈ .185	13	.194	.143	143.484	53.099	.0806	77.968	65.750	221.452	-12.651	5,030	ID.
	14	.186	.138	138.468	51.242	.0803	77.678	65.505	216.146	-14.263	4,620	ID.
	15	.185	.132	132.447	49.014	.0959	92.769	78.231	225.216	-29.217	9,005	WEAR
	16	.175	.125	125.423	46.415	.052	50.302	42.419	175.725	3.996	2,564	ID.
5 I ₂ ≈ .125	17	.129	.099	99.335	36.761	.1181	114.244	96.341	213.579	-60.323	3,749	ID.
	18	.126	.095	95.322	25.275	.1500	145.102	122.363	240.424	-87.088	7,330	WEAR
	19	.123	.092	92.312	34.162	.1352	130.785	110.290	223.097	-76.128	4,017	ID.
	20	.122	.090	90.305	33.419	.091	88.029	74.234	178.334	-40.815	3,264	ID.

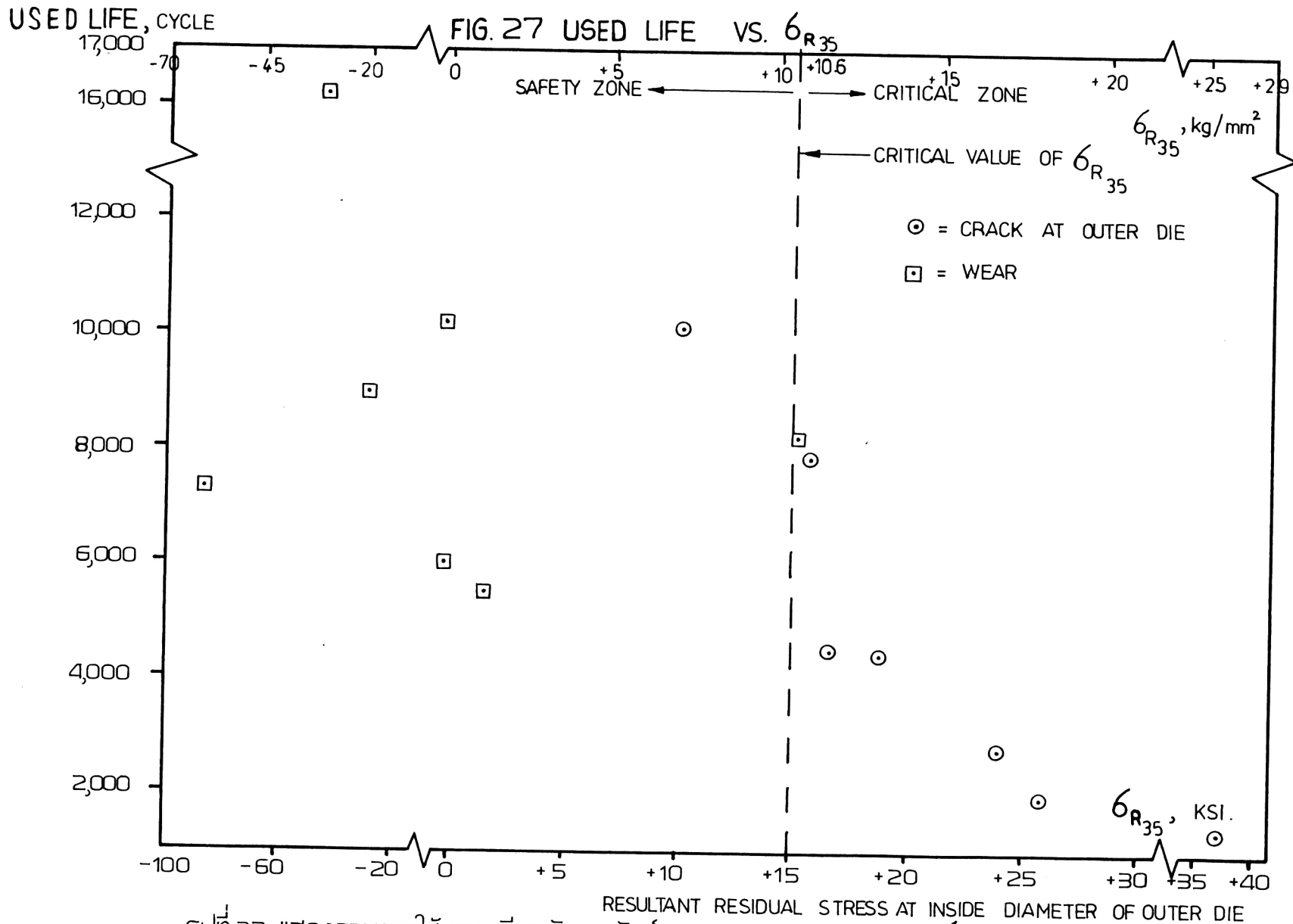
ตารางที่ 11 ความเค้นในครกาทนสองชั้น อันเนื่องมาจากการ Press Fit



รูปที่ 25 แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับ ผลลัพธ์ของ RESIDUAL STRESS (σ_R)



รูปที่ 26 แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับ ผลลัพธ์ของ RESIDUAL STRESS (σ_{R29})
เฉพาะ: ครกฯ ที่ชำรุดเพราะ: เหตุกรกขึ้นในแตกร้า และสึกหรอ



รูปที่ 27 แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับผลลัพธ์ของ RESIDUAL STRESS (σ)
เฉพาะกรณีที่ชำรุดเพราะเหตุครกชั้นนอกแตกร้า และสึกหรอ σ_{R35}

4.3 การพิจารณาค่าเฉลี่ยของ δ_1 และค่าเฉลี่ยของ I_1

จากตารางที่ 11 ค่า σ_1 ได้มาจากการคำนวณพื้นฐานของค่าเฉลี่ยของ δ_1 ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าครกขอันหนึ่ง จะเปลี่ยนการลุ่มกับตัวรองรับหลายอัน จากเหตุผลธรรมชาติในการใช้งาน ซึ่งจะต้องเป็นรอยที่ผิวในของครกขเล่มมอ ครกขอันหนึ่งจึงต้องไ้ค่า I_1 หลายค่า นั่นคือจะได้ค่า δ_1 หลายค่าตามจำนวนของ I_1 ด้วย ซึ่งที่ δ_1 (หรือ I_1) หนึ่ง ๆ ครกขก็จะถูกใช้งานโดยได้อายุการใช้งานหนึ่ง ๆ ด้วย เพราะเนื่องจากว่าครกขยังไม่ชำรุดแตกร้าว เพียงแต่ผิวในเป็นรอยขีดข่วนแล้วได้รับการขัดผิวมันลบรอย จนกระทั่งเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกขโตเกินความเื่อกที่กำหนดเท่านั้น ฉะนั้นอายุการใช้งานจึงยังไม่สิ้นสุด

ดังนั้นในการเฉลี่ยค่า δ_1 จึงต้องคำนึงถึงความถี่ในการใช้งานของ δ_1 ด้วย โดยไ้สูตร

$$av. \delta_1 = \frac{\text{ผลบวกของ (ผลคูณระหว่าง } \delta_1 \text{ กับอายุการใช้งานที่ลุ่มนัยกัน)}}{\text{จำนวนครั้งของ } \delta_1}$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าเฉลี่ยสำหรับ I_1 จะหาได้จากสูตร

$$av. I_1 = \frac{\text{ผลบวกของ (ผลคูณระหว่าง } I_1 \text{ กับอายุการใช้งานที่ลุ่มนัยกัน)}}{\text{จำนวนครั้งของ } I_1}$$

4.4 การพิจารณา เพื่อออกแบบครกฯ ชนิดล่องชั้นที่เหมาะสม

เพื่อให้ครกฯ มีอายุการใช้งานได้มากที่สุด จะพิจารณาดังต่อไปนี้

4.4.1 หลักเกณฑ์ในการพิจารณา

พิจารณาตารางที่ 12 ซึ่งแสดงผลการคำนวณค่า Residual Stress ที่ได้มาจากการคาดคะเน (Trial & Error) โดยการกำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณา (Assumption) รวม 3 ข้อ ดังนี้คือ

ข้อแรก แก้ปัญหาการชำรุดของครกฯ เพราะเหตุสึกหรอ โดยกำหนดให้ใช้ค่า δ_1 (หรือ I_1) เริ่มต้น ให้มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือจะทำให้ครกฯ สามารถมีโอกาส์ใช้งานได้นานที่สุด (เพราะว่าธรรมชาติของครกฯ จะต้องเป็นรอยแผลยืดหยุ่นจากการใช้งานเสมอ และ D_i ของครกฯ จะต้องขยายใหญ่ขึ้นไปเรื่อย ๆ จากการขัดลบรอยแผล ดังนั้นหากเรา เริ่มต้นนำครกฯ ไปใช้งานโดยเริ่มที่ δ_1 ให้มีค่าน้อยที่สุด นั่นก็คือเราจะเริ่มต้นที่ D_i ของครกฯ ที่มีขนาดเล็กที่สุด)

ข้อที่สอง แก้ปัญหาการชำรุดของครกฯ เพราะเหตุครกชั้นในแตกร้าว โดยกำหนดจุดวิกฤตของครกชั้นใน ซึ่งได้ผลจากรูปที่ 26 คือ $\sigma_{R29} = -225 \text{ ksi. } (-158.2 \text{ kg/mm}^2)$ เป็นเกณฑ์ตัดสิน กล่าวคือครกฯ จะชำรุดเพราะการแตกร้าวของครกชั้นใน เมื่อ σ_{R29} มีค่ามากกว่า -225 ksi. (คิดเครื่องหมาย) แสดงว่าหากต้องการป้องกันมิให้ครกชั้นในแตกร้าว เราจะต้องทำให้ σ_{R29} มีค่า $\leq -225.000 \text{ ksi.}$ (คิดเครื่องหมาย) ซึ่งจากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า ครกฯ (ซึ่งประกอบด้วยครกชั้นในลวมกับครกชั้นนอก) ที่มีค่า $I_2 \leq 0.230 \text{ มม.}$ แล้ว ครกชั้นในจะเป็นจุดวิกฤต (Critical) คือ ครกชั้นในพร้อมที่จะแตกร้าวทันที

ข้อที่สาม แก้ปัญหาการชำรุดของครกฯ เพราะเหตุครกชั้นนอกแตกร้าว โดยกำหนดจุดวิกฤตของครกชั้นนอก ซึ่งได้ผลจากรูปที่ 27 คือค่า $\sigma_{R35} = +15 \text{ ksi. } (+10.6 \text{ kg/mm}^2)$ เป็นเกณฑ์ตัดสิน กล่าวคือ ครกฯ จะชำรุดเพราะการแตกร้าวของครกชั้นนอก เมื่อ σ_{R35} มีค่ามากกว่า $+15 \text{ ksi.}$ (คิดเครื่องหมาย) แสดงว่าหากต้องการป้องกันมิให้ครกชั้นนอกแตกร้าว เราจะต้องทำให้ได้ค่า $\sigma_{R35} \leq +15 \text{ ksi.}$ (คิดเครื่องหมาย) ซึ่งจากตารางที่ 12 นี้จะเห็นได้ว่า ครกฯ ที่มีค่า $I_2 \geq 0.230 \text{ มม.}$ แล้ว ครกชั้นนอกจะเป็นจุดวิกฤต คือครกชั้นนอกพร้อมที่จะแตกร้าวทันที

4.4.2 การหาค่า I_2 และ δ_1 ที่เหมาะสม

พิจารณารูปที่ 28 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง δ_1 กับ I_2 รูปนี้ได้มาจากตารางที่ 12 โดยพิจารณาจากค่า δ_1 ที่เริ่มต้นและน้อยที่สุด จากรูปจะเห็นได้ว่า ย่านความปลอดภัยจะอยู่เหนือเส้นกราฟวิกฤต (Critical Line) แสดงว่าต้องพยายามใช้พิกัดตำแหน่งที่อยู่เหนือเส้นกราฟวิกฤตนี้ เพื่อการออกแบบสร้างครกฯให้มีสมรรถนะดีที่ต่ำสุดเสมอ

จากรูปที่ 28 จะพบว่าที่ I_2 มีค่า 0.230 มม. เส้นกราฟวิกฤตจะตกลงมาต่ำที่สุด นั่นคือให้ค่า δ_1 ที่น้อยที่สุด ($\delta_1 \hat{=} 0.0585$ mm., $I_1 \hat{=} 0.545$ $\delta_1 \hat{=} 0.107$ mm.) แสดงว่าที่จุดนี้เป็นพิกัดที่ดีที่สุด (Optimum)

แต่ในทางปฏิบัติของการสร้างครกฯนั้น เราไม่สามารถสร้างให้ครกฯมีค่า I_2 อย่างแม่นยำได้ เราต้องยอมให้มีค่าความเผื่อ (Tolerance) ของ I_2 บ้าง ตามความเหมาะสม ทั้งนี้เพราะเหตุผลความเที่ยงตรงของเครื่องจักรที่ใช้สร้างครกฯ และความเหมาะสมในเชิงวิศวกรรม

ดังนั้นจะเห็นว่า หากเรากำหนดเอาค่า δ_1 ที่ 0.070 มม. ($I_1 \hat{=} 0.128$ mm.) เราจะสามารถสร้างครกฯให้มีค่า I_2 ได้กว้างมากขึ้น คือ $I_2 = 0.230^{+0.035}_{-0.015}$ มม. ซึ่งสามารถจะกระทำได้ในทางปฏิบัติ

อนึ่งหากเรากำหนดเอาค่า δ_1 ที่ 0.080 มม. ($I_1 \hat{=} 0.147$ มม.) เราจะสามารถสร้างครกฯให้มีค่า I_2 ได้กว้างมากยิ่งขึ้น คือ $I_2 = 0.230^{+0.063}_{-0.029}$ มม. ซึ่งในทางปฏิบัติก็ยังจะสะดวกมาก แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้ครกฯมีโอกาสที่จะใช้งานได้นานน้อยลง ดังเหตุผลที่เคยกล่าวมาแล้ว ในเรื่องธรรมชาติในการใช้งานของครกฯ (เพราะว่าเริ่มใช้งานที่ δ_1 สูงมากเกินไป) แสดงว่าที่ $\delta_1 = 0.080$ มม. ซึ่งไม่ค่อยเหมาะสมนัก

สรุป ล้มควรเลือกใช้ค่า $I_2 = 0.230^{+0.035}_{-0.015}$ มม. และสัมพันธ์กันกับค่า δ_1 คือ $0.0585 \leq \delta_1 \leq 0.070$ มม. เพราะว่าเหมาะสม (Optimum) ที่สุด ทั้งในด้านการสร้างและอายุการใช้งานที่นานเพียงพอ

4.4.3 พิจารณาการกระจายของ Residual Stress ในครกฯพร้อมตัวรองรับ

พิจารณารูปที่ 29 ซึ่งแสดงการกระจายของ Residual Stress (ก่อนการใช้งานอัดย่องขนวนท้ายบล็อกกระสุน) โดยตลอดครกฯพร้อมตัวรองรับ ซึ่งเป็นกรณีที่อยู่ในภาวะเหมาะสมที่สุด

รูปที่ 29 นี้ ได้จากผลของการล่วมกัน 3 ชุด คือ ชุดแรกเป็นการล่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก โดยมี $I_2 = 0.230$ มม. ชุดที่สองเป็นการล่วมกันระหว่างตัวรองรับชั้นในกับตัวรองรับชั้นนอก โดยมี $I_3 = 0.100$ มม. ชุดที่สามเป็นการล่วมกันระหว่างครกกับตัวรองรับฯ โดยมี $I_1 = 0.107$ มม. ($I_1 \hat{=} 0.545 \delta_1 = 0.545 \times 0.0585 = 0.107$ มม.) ซึ่งจะเห็นว่าเป็นการเลือกเอาค่า I_2 และ I_1 ที่เหมาะสมและดีที่สุด จากรูปนี้มีประเด็นที่ควรพิจารณา ดังนี้คือ

$$\sigma_{R29} = - 225.982 \text{ ksi.} < (\sigma_{R29} \text{วิกฤต} \hat{=} - 225 \text{ ksi.}) , \text{ จึงมีความ}$$

ปลอดภัยสำหรับครกชั้นใน

$$\sigma_{R35} = + 14.966 \text{ ksi.} < (\sigma_{R35} \text{วิกฤต} \hat{=} + 15 \text{ ksi.}) \text{ จึงมีความปลอดภัย}$$

สำหรับครกชั้นนอก

$$\sigma_{R55} = + 11.413 \text{ ksi.} \text{ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อตัวรองรับชั้นใน ประสพการณ์}$$

จากอดีตที่ผ่านมาหลายปี เคยมีปัญห ตัวรองรับชั้นในชำรุดแตกร้าว น้อยมาก จึงสามารถที่จะละทิ้งปัญหานี้ได้

$$\sigma_{R95} = + 32.408 \text{ ksi.} \text{ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อตัวรองรับชั้นนอก ประสพการณ์จาก}$$

อดีตที่ผ่านมาหลายปี ยังไม่เคยปรากฏว่ามีตัวรองรับชั้นนอกชำรุดแตกร้าวเลย จึงไม่มีปัญหา

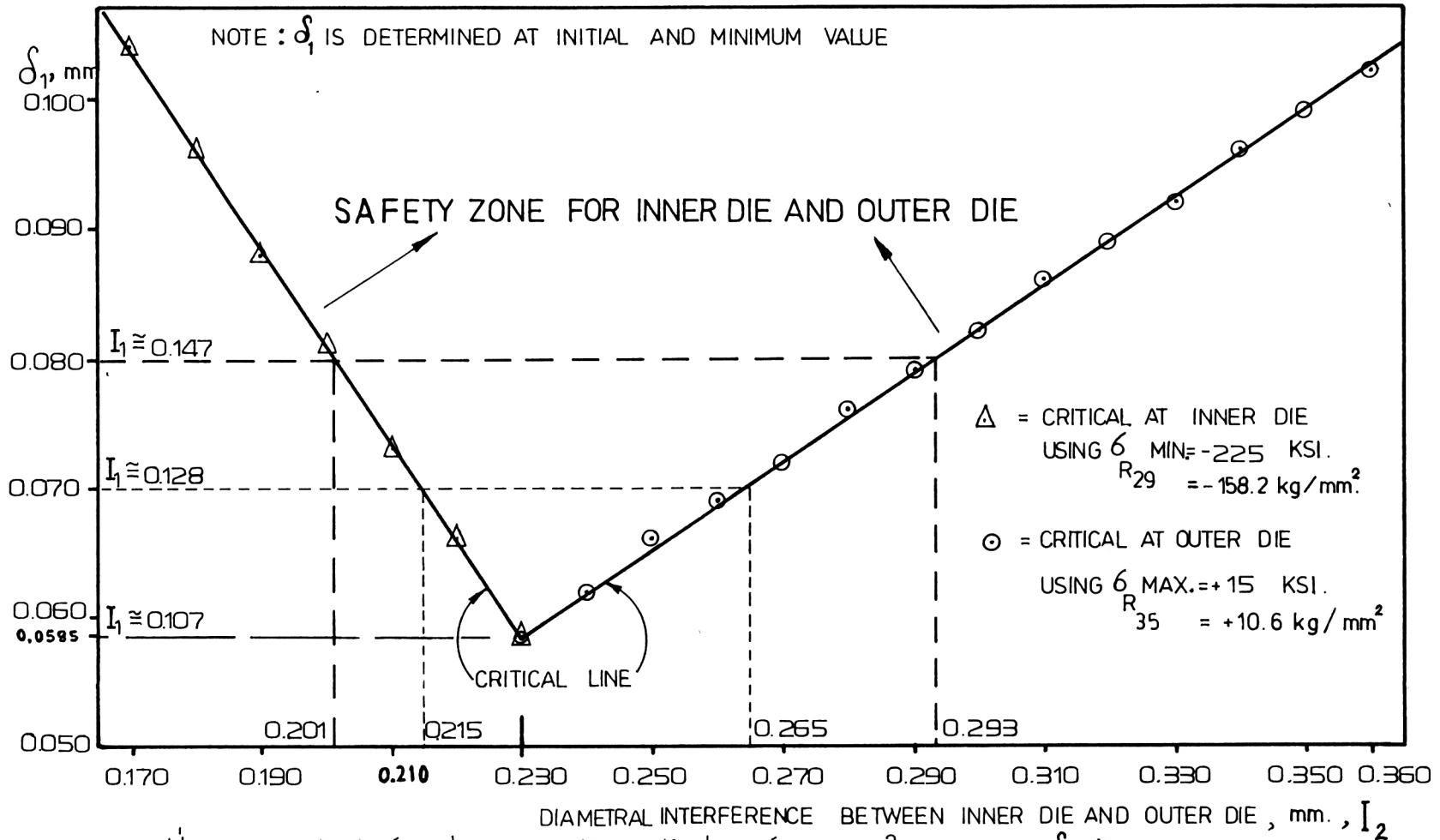
ตารางที่ 12 การคำนวณหาค่า I_2 และ δ_1 ที่เหมาะสม

No.	DUE TO INNER & OUTER DIE				DUE TO DIE & RING				RESULTANT RESIDUAL STRESS		CRITICAL
	I_2	δ_2	σ_{229}	σ_{335}	δ_1	$I_1 =$	σ_{129}	σ_{335}	σ_{R29}	σ_{R35}	
	mm.	$=.734I_2$ mm.	- ksi	+ ksi	mm.	$\delta_1/.545$ mm.	- ksi	- ksi	- ksi	ksi	
1	.170	.1248	125.203	46.333	.104	.191	100.604	84.838	225.807	-38.505	ID.
2	.180	.1321	132.568	49.059	.096	.176	92.865	78.312	225.433	-29.253	ID.
3	.190	.1395	139.932	51.784	.088	.162	85.126	71.786	225.058	-20.002	ID.
4	.200	.1468	147.297	54.510	.081	.149	77.378	60.076	225.652	-5.566	ID.
5	.210	.1541	154.663	57.235	.073	.134	70.616	59.550	225.279	-2.315	ID.
6	.220	.1615	162.027	59.961	.066	.121	63.845	53.840	225.872	6.121	ID.
7	.230	.1688	169.392	62.686	.0585	.107	56.590	47.722	225.982	14.964	OD., ID.
8	.240	.1762	176.757	65.412	.062	.114	59.975	50.577	236.732	14.835	OD.
9	.250	.1835	184.122	68.137	.066	.121	63.845	53.840	247.967	14.297	OD.
10	.260	.1908	191.486	70.863	.069	.127	66.747	56.287	258.233	14.576	OD.
11	.270	.1982	198.851	73.588	.072	.132	69.649	58.734	268.500	14.854	OD.
12	.280	.2055	206.216	76.314	.076	.140	73.518	61.997	279.734	14.317	OD.
13	.290	.2129	213.581	79.039	.079	.145	76.420	64.444	290.001	14.595	OD.
14	.300	.2202	220.946	81.765	.082	.151	79.322	66.892	300.268	14.873	OD.
15	.310	.2275	228.311	84.490	.086	.158	83.192	70.155	311.503	14.335	OD.
16	.320	.2349	235.676	87.216	.089	.163	86.094	72.602	321.770	14.614	OD.
17	.330	.2422	243.040	89.941	.092	.169	88.996	75.049	332.037	14.892	OD.
18	.340	.2496	250.405	92.667	.096	.176	92.865	78.312	343.270	14.355	OD.
19	.350	.2569	257.770	95.392	.099	.182	95.767	80.760	353.537	14.632	OD.
20	.360	.2642	265.135	98.118	.102	.187	98.669	83.207	363.804	14.911	OD.

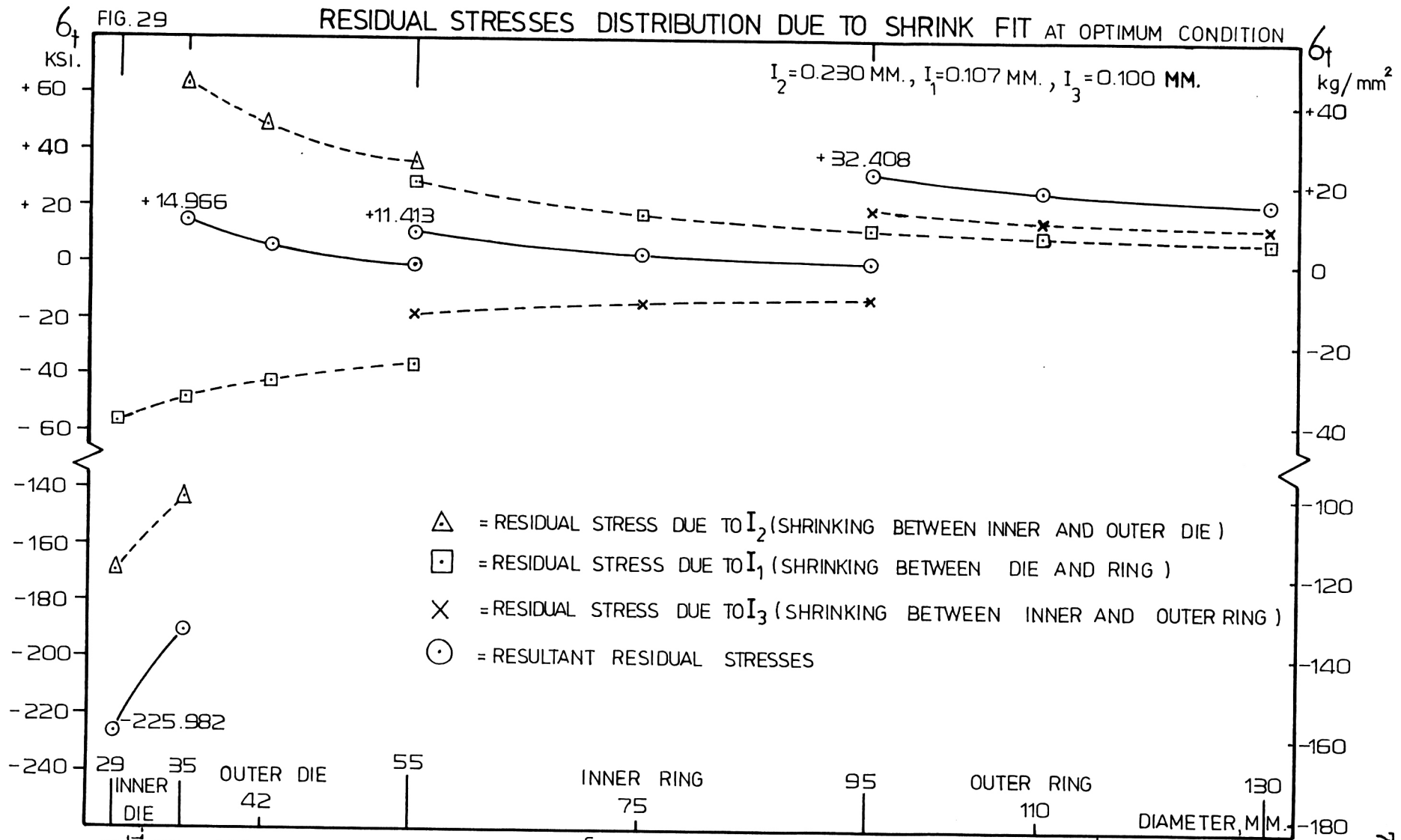
ตารางที่ 12 การคำนวณหาค่า I_2 และ δ_1 ที่เหมาะสม

FIG. 28
 δ_1 VS. I_2

DEFLECTION OF DIE AT INSIDE DIAMETER



รูปที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของครก (δ_1) กับ
 DIAMETRAL INTERFERENCE ระหว่างครกชั้นในและครกชั้นนอก (I_2)



รูปที่ 29 การกระจายของ RESIDUAL STRESS โดยตลอดครกพร้อมตัวรองรับฯ ครกนี้อยู่ในภาวะที่เหมาะสม